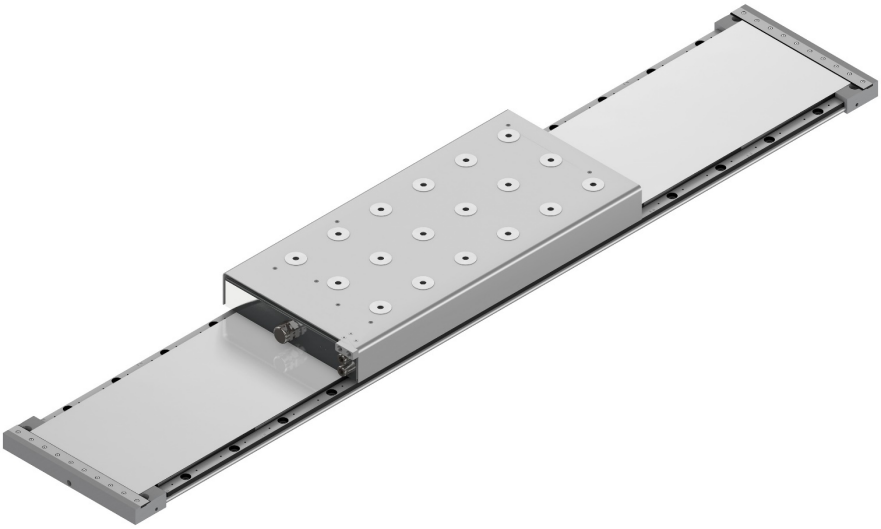


MM01UE01-2103

Instrukcja montażu

Silnik liniowy

LM-Komponenten-03-2-PL-2412-MA

hiwin.de

Imprint

HIWIN GmbH

Brücklesbünd 1

77654 Offenburg

Niemcy

Fon +49 781 93278-0

info@hiwin.de

www.hiwin.de

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Całkowite lub częściowe powielanie bez naszej zgody jest zabronione.

Niniejsza instrukcja montażu jest chroniona prawem autorskim. Powielanie, publikowanie w całości lub w części, zmiany lub skróty wymagają pisemnej zgody firmy HIWIN GmbH.

Spis treści

1 Instrukcja instalacji i bezpieczeństwa . . . 5
1.1 Ogólne środki ostrożności . . . 5
1.2 Wskazówki bezpieczeństwa i symbole bezpieczeństwa . . . 5
1.3 Instrukcje bezpieczeństwa . . . 7
1.4 Wybór zasilacza i sterownika . . . 12
1.5 Stopień ochrony IP silnika . . . 13
1.6 Tabliczka znamionowa . . . 14

2 Wprowadzenie do silników liniowych . . . 15
2.1 Wprowadzenie do silników liniowych . . . 15
2.2 Konstrukcja silnika liniowego . . . 15
2.3 System chłodzenia silnika liniowego wodą . . . 21
2.4 Czujnik temperatury . . . 22

3 Wydajność silnika i układ chłodzenia silnika wodą . . . 25
3.1 Wybór silnika liniowego . . . 25
3.2 Silnik liniowy z rdzeniem żelaznym – siła ciągła/szczytowa, siła przyciągania w zależności od szczeliny powietrznej . . . 26
3.3 Temperatura otoczenia i siła ciągła . . . 41
3.4 Obliczanie ciepła silnika . . . 42
3.5 Obliczenia dla układu chłodzenia . . . 44
3.6 Wybór układu chłodzenia . . . 46

4 Interfejs mechaniczny silnika . . . 51
4.1 Interfejs zespołu silnika liniowego z rdzeniem żelaznym . . . 51
4.2 Interfejs mechaniczny bezrdzeniowego silnika liniowego (LMC) . . . 58
4.3 Interfejs mechaniczny tubowego silnika liniowego (LMT) . . . 59
4.4 Równoległość forcera . . . 62
4.5 Układ przewodów chłodzących w silniku LMFA/LMFP chłodzonym wodą . . . 73
4.6 Silnik LMFA/LMFP chłodzony wodą z układem precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC . 74
4.7 Materiał przewodów chłodzących . . . 77
4.8 Chłodziwo do silników liniowych chłodzonych wodą . . . 77

5 Montaż silnika . . . 78
5.1 Montaż silnika liniowego z rdzeniem żelaznym . . . 78
5.2 Montaż bezrdzeniowego silnika liniowego . . . 90
5.3 Montaż układu chłodzenia silnika liniowego wodą . . . 94

6 Wybór akcesoriów i kabla zasilania silnika . . . 97
6.1 Standardowa specyfikacja kabla zasilania . . . 97
6.2 Zalecany sposób wykonywania uziemienia . . . 97
6.3 Zalecany sposób montażu kabla przedłużającego . . . 99
6.4 Wybór złącza i przypisanie pinów . . . 101
6.5 Konfiguracja zabezpieczenia przed nadmierną temperaturą . . . 106
6.6 Czujnik Halla . . . 107
6.7 Enkoder Halla . . . 114

7 Rozwiązywanie problemów . . . 117

8 Utylizacja odpadów . . . 118

9 Dodatek . . . 119
9.1 Zasady i wskazówki dotyczące wyboru śrub . . . 119

9.2 Kierunek ruchu silnika liniowego 124
9.3 Wyjaśnienie terminów szczegółowych 125

10 Deklaracja zgodności 128

1 Instrukcja instalacji i bezpieczeństwa

1.1 Ogólne środki ostrożności

Przed użyciem produktu należy dokładnie zapoznać się z niniejszym podręcznikiem. Firma HIWIN nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek uszkodzenia, wypadki lub obrażenia spowodowane nieprzestrzeganiem instrukcji montażu i obsługi zawartych w niniejszym podręczniku.

- Przed zainstalowaniem lub użyciem produktu należy upewnić się wzrokowo, że nie jest on uszkodzony. Jeśli po sprawdzeniu zostaną stwierdzone jakiekolwiek uszkodzenia, prosimy o kontakt z firmą HIWIN lub lokalnymi dystrybutorami.
- Nie należy demontować ani modyfikować produktu. Projekt produktu został zweryfikowany przez obliczenia konstrukcyjne, symulację komputerową i testy rzeczywiste. Firma HIWIN nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek uszkodzenia, wypadki lub obrażenia spowodowane demontażem lub modyfikacjami dokonanymi przez użytkowników.
- Nie zezwalać dzieciom na zbliżanie się do produktu.
- Osoby z rozrusznikiem lub kardiowerterem-defibrylatorem (AICD) serca nie mogą obsługiwać tego produktu.
- Produkt może być obsługiwany wyłącznie przez personel posiadający odpowiednie doświadczenie i wiedzę techniczną.

1.2 Wskazówki bezpieczeństwa i symbole bezpieczeństwa

Wskazówki bezpieczeństwa są zawsze oznaczone za pomocą słowa sygnałowego, a czasami także symbolem konkretnego zagrożenia.

Stosowane są następujące słowa sygnałowe i poziomy ryzyka:

⚠ **Niebezpieczeństwo!** Bezpośrednie zagrożenie!

> Nieprzestrzeganie wskazówek bezpieczeństwa prowadzi do odniesienia poważnych obrażeń lub śmierci!

⚠ **Ostrzeżenie!** Potencjalnie niebezpieczna sytuacja!

> Nieprzestrzeganie wskazówek bezpieczeństwa grozi odniesieniem poważnymi obrażeniami ciała lub śmiercią!

Uwaga! Potencjalnie niebezpieczna sytuacja!

> Nieprzestrzeganie wskazówek bezpieczeństwa stwarza ryzyko odniesienia uszkodzenia mienia lub zanieczyszczenia środowiska!

W niniejszym podręczniku użytkownika używane są następujące symbole:

Symbole ostrzegawcze			
	Zakaz dostępu dla osób z aktywnymi wszczepionymi urządzeniami kardiologicznymi.		Substancja niebezpieczna dla środowiska!
	Ostrzeżenie!		Ostrzeżenie przed zmiażdżeniem rąk!
	Ostrzeżenie przed elektrycznością!		Ostrzeżenie przed gorącą powierzchnią!
	Ostrzeżenie przed polem magnetycznym!		

1.3 Instrukcje bezpieczeństwa

⚠ **Niebezpieczeństwo!** Ryzyko śmierci w wyniku działania pola magnesu trwałego

Nawet gdy silnik jest wyłączony, magnesy trwałe mogą stanowić zagrożenie dla przebywających w pobliżu silnika osób z aktywnymi implantami medycznymi.

Zespół statora generuje silne pole magnetyczne; użytkownik musi zachować ostrożność podczas pracy ze statorem. W przeciwnym razie może dojść do obrażeń personelu i uszkodzenia statora.

- Podczas montażu statora do konstrukcji systemu należy trzymać wszelkie materiały magnetyczne z dala od siebie, aby uniknąć ryzyka obrażeń rąk.
- Podczas pracy nie należy dotykać forcera ani statora.
- W razie ryzyka narażenia należy zachować minimalną odległość 500 mm od silników (próg wyzwalania pól magnetostatycznych 0,5 mT zgodnie z dyrektywą 2013/35/UE).

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z montażem silnika liniowego. Niebezpieczeństwo zmiażdżenia przez magnesy trwałe statora

Siły przyciągania statora oddziałują na materiały o właściwościach magnetycznych. W pobliżu statora siły przyciągania znacznie wzrastają.

Podczas przebywania w pobliżu statorów istnieje znaczne ryzyko zmiażdżenia.

W pobliżu statorów siły przyciągania mogą wynosić nawet kilka kN – przykład: siły przyciągania magnetycznego są równoważne sile 100 kg, która jest wystarczająca do uwięzienia części ciała.

- Produkt powinien być montowany i obsługiwany wyłącznie przez wyspecjalizowany personel.
- Podczas montażu należy unikać używania narzędzi i śrub magnetycznych.
- Aby zapobiec obrażeniom personelu, przed zamocowaniem statora należy przykleić – w miejscu, w którym będzie ona łatwo widoczna – etykietę informującą o obecności silnego pola magnetycznego.
- Podczas demontażu statora nie należy dotykać statora bezpośrednio krawędzią pokrywy. W przeciwnym razie może dojść do obrażeń personelu i uszkodzenia statora.
- Nigdy nie rozpakowywać kilku części wtórnych jednocześnie.
- Nigdy nie umieszczać części wtórnych obok siebie bez podjęcia odpowiednich środków ostrożności.

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z pracą silnika liniowego!

W przypadku nieprawidłowej obsługi i usterki silnik może się przegrzać, a w konsekwencji zapalić i dymić. To może spowodować poważne obrażenia ciała lub śmierć. Ponadto zbyt wysokie temperatury niszczą elementy silnika i prowadzą do zwiększonej awaryjności, jak również skracają żywotność silników.

- Silnik należy eksploatować zgodnie z odpowiednimi specyfikacjami.
- Przed przystąpieniem do prac w pobliżu produktu należy odczekać, aż forcer wystarczająco ostygnie (w temperaturze pokojowej 25°C), aby uniknąć poparzeń.
- W przypadku wykrycia nietypowego zapachu, hałasu, dymu lub drgań należy natychmiast wyłączyć zasilanie.

⚠ **Ostrzeżenie!** Oparzenia spowodowane przez gorące powierzchnie

Podczas pracy silnik może osiągać wysokie temperatury, które w przypadku dotknięcia mogą spowodować poparzenia.

- Silnik należy eksploatować zgodnie z odpowiednimi specyfikacjami.
- Przed rozpoczęciem prac należy zaczekać, aż silnik ostygnie.
- Stosować odpowiedni sprzęt ochrony osobistej, np. rękawice.

Uwaga! Uszkodzenia powodowane przez zespół

Pola elektryczne lub wyładowania elektrostatyczne mogą powodować zakłócenia w działaniu w wyniku uszkodzenia poszczególnych komponentów, układów scalonych, modułów lub urządzeń.

- Magnetyczne nośniki danych lub instrumenty precyzyjne przechowywać z dala od produktu, aby uniknąć uszkodzeń spowodowanych przez te pola. (Np. waga magnetyczna, zegarek, karta kredytowa i magnetyczne urządzenie reagujące).
- Podjąć środki ostrożności związane z wyładowaniami elektrostatycznymi (ESD), takie jak noszenie specjalnych rękawic, butów itp.
- Nie przeciągać kabli podczas przenoszenia lub umieszczania zespołów forcera i statora.
- Nie uszkadzać ani zginać kabli, aby uniknąć porażenia prądem.
- Upewnić się, że nie występują zakłócenia w pracy innych komponentów. Upewnić się, że promień gięcia kabli jest wystarczająco duży, aby zapobiec skróceniu okresu użytkowania kabli.

Uwaga! Środki ostrożności dotyczące produktu

Przeprowadzić kontrolę wzrokową. Nieprawidłowy demontaż może spowodować uszkodzenie produktu.

- Oczyścić powierzchnię statora za pomocą jednorazowych bawełnianych szmatek i płynu czyszczącego, takiego jak alkohol izopropanolowy (95% obj.). Zaleca się czyszczenie powierzchni raz na trzy miesiące lub raz na dwa tygodnie w przypadku zakładów o wysokim współczynniku emisji oparów, gdzie pracują takie maszyny jak maszyny do produkcji płytek drukowanych lub wiertarki do płytek drukowanych.
- W przypadku produktów zawierających żywicę epoksydową na powierzchni mogą występować plamy. Jest to zjawisko naturalne.
- Produkt może być naprawiany wyłącznie przez inżynierów firmy HIWIN. W przypadku wystąpienia jakichkolwiek nietypowych zjawisk prosimy o odesłanie produktu do firmy HIWIN.
- Nie wymieniać ani demontować elementów samodzielnie. Firma HIWIN nie ponosi odpowiedzialności za wypadki lub spowodowane przez to uszkodzenia wirnika i statora.
- Na produkt udzielana jest roczna gwarancja liczona od daty dostawy. Gwarancja firmy HIWIN nie obejmuje wymiany ani konserwacji produktu, który był obsługiwany w niewłaściwy sposób (zapoznać się z uwagami i instrukcjami zawartymi w niniejszym podręczniku) lub został uszkodzony w wyniku klęsk żywiołowych.

- Podczas wyjmowania lub umieszczania produktu nie należy ciągnąć za kabel ani przeciągać produktu.
- Nie należy narażać produktu na wstrząsy.
- Upewnić się, że produkt jest używany z obciążeniem znamionowym.
- Zgodnie z normą IEC 60034-5 silnik liniowy HIWIN posiada klasę ochrony (zob. część 1.3.4).
- Silnik liniowy HIWIN posiada klasę termiczną F zgodnie z normą IEC 60085.

Test certyfikacyjny silników liniowych HIWIN został przeprowadzony zgodnie z następującymi normami:

CE	Bezpieczeństwo niskonapięciowe: Norma referencyjna 2014/35/UE	EN 60034-1:2010
	Kompatybilność elektromagnetyczna: Norma referencyjna 2014/30/UE	EN 61000-6-4:2007/A1:2011
		EN 61000-6-2:2005
UL	Norma referencyjna dla silników liniowych 1004-1	

1.3.1 Przeznaczenie

Silniki liniowe są przeznaczone wyłącznie do montażu w maszynach komercyjnych i przemysłowych. Silniki liniowe stanowią część liniowego systemu napędowego służącego do

precyzyjnego pozycjonowania w czasie i miejscu zamontowanych na stałe obciążeń, np. komponentów systemu, w ramach systemu zautomatyzowanego.

Silniki liniowe przeznaczone są do montażu i pracy w dowolnym położeniu. Przemieszczane obciążenia muszą być solidnie zamocowane.

W celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji silników liniowych należy podjąć odpowiednie środki ostrożności chroniące silnik przed przeciążeniem.

Silniki liniowe nie mogą być stosowane na zewnątrz lub w obszarach zagrożonych wybuchem.

Wszystkie silniki liniowe mogą być stosowane wyłącznie zgodnie z ich przeznaczeniem.

- Silniki liniowe muszą być eksploatowane w podanych zakresach wydajności.
- Za użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem uznaje się przestrzeganie instrukcji montażu oraz zasad konserwacji i napraw.
- Każde inne zastosowanie silnika liniowego należy traktować jako sprzeczne z przeznaczeniem.
- Stosować wyłącznie oryginalne części zamienne firmy HIWIN GmbH.
- Silnik musi być chroniony przed brudem i kontaktem z substancjami żrącymi.
- Upewnić się, że warunki montażu są zgodne ze specyfikacjami.

1.3.2 Wymagania dotyczące personelu

Prace przy silnikach liniowych mogą być wykonywane wyłącznie przez przeszkolony personel lub wykwalifikowanych specjalistów! Przed rozpoczęciem pracy muszą oni zapoznać się ze sprzętem i przepisami bezpieczeństwa (zob. Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Wymagania dotyczące personelu

Działanie	Kwalifikacje
Przekazanie do eksploatacji	Przeszkolony personel specjalistyczny operatora lub producenta
Normalny tryb pracy	Przeszkolony personel
Czyszczenie	Przeszkolony personel
Konserwacja	Przeszkolony personel specjalistyczny operatora lub producenta
Naprawy	Przeszkolony personel specjalistyczny operatora lub producenta

1.3.3 Środki ostrożności dotyczące okablowania

- Przed rozpoczęciem korzystania z produktu należy dokładnie zapoznać się ze specyfikacją podaną na etykiecie produktu i upewnić się, że produkt jest używany z zasilaniem określonym w specyfikacjach.
- Sprawdzić, czy okablowanie jest prawidłowe. Nieprawidłowe okablowanie może spowodować nieprawidłową pracę silnika lub nawet jego trwałe uszkodzenie.
- Stosować ekranowane kable przedłużające. Ekran musi być uziemiony.
- Nie podłączać kabla zasilania i kabla czujnika temperatury do tego samego kabla przedłużającego.
- Kabel zasilania i kabel czujnika temperatury zawierają ekran. Ekran musi być uziemiony.

1.3.4 Środki ostrożności przy konserwacji i przechowywaniu

⚠ **Ostrzeżenie!** Środki ostrożności dotyczące produktu

Nieprawidłowa utylizacja napędów bezpośrednich lub ich komponentów (w szczególności komponentów z magnesami trwałymi) może prowadzić do śmierci, ciężkich obrażeń ciała i/lub szkód materialnych.

- ▶ Sposób utylizacji uszkodzonego produktu: poddać recyklingowi zgodnie z lokalnymi przepisami.
- ▶ Metody utylizacji opisano w rozdziale 8.

- Komponenty silnika liniowego należy przechowywać w opakowaniu transportowym.
- Nie przechowywać komponentów silnika liniowego w obszarach zagrożonych wybuchem lub w otoczeniu narażonym na działanie substancji chemicznych.
- Komponenty silnika liniowego należy przechowywać wyłącznie w suchych, zabezpieczonych przed mrozem pomieszczeniach z atmosferą niepowodującą korozji.
- Upewnić się, że podczas składowania silniki nie są narażone na drgania lub uderzenia.
- Używane komponenty silnika liniowego należy oczyścić i zabezpieczyć przed składowaniem.
- Podczas przechowywania komponentów należy umieścić znaki ostrzegające przed polami magnetycznymi.

Środowisko pracy	Temperatura	0 – 40°C
	Wilgotność	5 – 85%
Środowisko przechowywania	Temperatura	-5°C – 40°C
	Wilgotność	5 – 85%
Wysokość nad poziomem morza		Poniżej 1000 m n.p.m.
Prędkość zmian temperatury		Maksymalnie 0,5 K/min
Kondensacja		Niedozwolona
Mróz		Niedozwolony

1.3.5 Środki ostrożności przy transporcie

- Magnesy trwałe są uznawane za towary niebezpieczne (materiał namagnesowany: UN2807) przez Zrzeszenia Międzynarodowego Transportu Lotniczego (IATA).
- W przypadku produktów zawierających magnesy trwałe nie są wymagane żadne dodatkowe opakowania powstrzymujące działanie pola magnetycznego podczas transportu drogą morską lub śródlądową.
- Podczas transportu lotniczego produktów zawierających magnesy trwałe nie wolno przekraczać maksymalnych dopuszczalnych wartości natężenia pola magnetycznego określonych w odpowiedniej instrukcji pakowania IATA. Wysyłka tych produktów może wymagać zastosowania specjalnych środków. Powyżej pewnego natężenia pola magnetycznego przesyłki takie muszą być oznakowane zgodnie z opracowaną przez IATA instrukcją pakowania 953 (zob. informacje poniżej lub najnowsze przepisy IATA).
  - Produkty, których najwyższe natężenie pola przekracza 0,418 A m/(0,525 µT) lub 2° odchylenia kompasu, określone w odległości 4,6 m od produktu, wymagają zezwolenia na wysyłkę od właściwego organu kraju, z którego produkt jest wysyłany (kraj pochodzenia) oraz kraju, w którym znajduje się siedziba firmy przewozowej. Podjąć specjalne środki, aby umożliwić wysyłkę produktu.
  - W przypadku wysyłki produktów, których najwyższe natężenie pola jest równe lub większe niż 0,418 A m/(0,525 µT) lub 2° odchylenia kompasu, określone w odległości

2,1 m od produktu, wysyłka odbywa się zgodnie z przepisami dotyczącymi transportu towarów niebezpiecznych.

– W przypadku wysyłki produktów, których najwyższe natężenie pola jest mniejsze niż 0,418 A m/(0,525 µT), określone w odległości 2,1 m od produktu, nie trzeba powiadamiać odpowiednich władz i nie trzeba etykietować produktu.

- Wysyłka oryginalnie zapakowanych komponentów silnika nie musi być ani ujawniona, ani oznaczona.
- Warunki transportu muszą być zgodne z normą EN 60721-3-2 (zob. Tab. 1.2).

Tab. 1.2: Warunki transportu

Parametr otoczenia	Jednostka	Wartość
Temperatura powietrza	(°C)	−5 – 40
Wilgotność względna	(%)	5 – 85
Szybkość zmian temperatury	(°C/min)	0,5
Kondensacja		Niedozwolona
Formowanie się lodu		Niedozwolone
Warunek transportu		Klasa 2K2
Silnik transportować w środowisku zabezpieczonym przed wpływem czynników atmosferycznych (wewnętrznie/fabrycznie)		
Warunki biologiczne	Klasa 2B1	
Substancje chemicznie czynne	Klasa 2C1	
Substancje mechanicznie czynne	Klasa 2S2	
Warunki mechaniczne	Klasa 2M2	

1.4 Wybór zasilacza i sterownika

Przy wyborze zasilacza należy wziąć pod uwagę prąd ciągły, prąd szczytowy i napięcie magistrali. Ponadto należy wziąć pod uwagę efekt rezonansu, który może być indukowany w silnikach przez niektóre systemy napędowe. Silniki są zbudowane z kilku pojedynczych cewek połączonych szeregowo. Każda z tych cewek posiada indukcyjność szeregową oraz pojemność pasożytniczą względem ziemi. Uzyskana sieć LC posiada częstotliwość rezonansową, więc gdy na wejścia fazowe nałożone są oscylacje elektryczne (w szczególności częstotliwości PWM), punkt neutralny silnika może oscylować z bardzo dużymi amplitudami w stosunku do ziemi, na skutek czego może dość do uszkodzenia izolacji. Zjawisko to jest bardziej widoczne w silnikach o dużej liczbie biegunów (np. silnikach liniowych).

W idealnych warunkach, napięcie międzyzwojowe 600 VDC generowane przez zasilacz powinno wynosić ±300 VDC względem ziemi. Jednak w niektórych konfiguracjach napięcie między magistralą a ziemią będzie miało charakter oscylacyjny, a szczyt wysokiego napięcia będzie przenoszony na silnik. Oscylacja pomiędzy napięciem a ziemią zależy od charakterystyki systemu. Z doświadczenia wynika, że system z kilkoma osiami podłączonymi do magistrali jest mniej podatny na występowanie zakłócających oscylacji na magistrali, ale np. w dużej obrabiarce z wieloma osiami i kilkoma wrzecionami oscylacje mogą osiągać duże amplitudy. Jeżeli częstotliwość tych oscylacji jest zbliżona do częstotliwości rezonansowej silnika, może to prowadzić do awarii przepięciowych w punkcie neutralnym.

Przykładem jest przypadek, w którym częstotliwość PWM sterownika odpowiada częstotliwości rezonansowej silnika. W tym przypadku podstawowa harmoniczna częstotliwości PWM wzbudza bezpośrednio częstotliwość rezonansową silnika i w ten sposób w punkcie neutralnym powstają bardzo wysokie napięcia. Ponadto, ponieważ napięcie PWM jest falą prostokątną, zawiera ono nieparzyste harmoniczne (1, 3, 5, 7 itd.), które również mogą wzbudzić rezonans silnika. Na szczęście te harmoniczne mają mniejszą amplitudę niż składowa podstawowa.

W innym przypadku może to również prowadzić do awarii przepięciowej. W tym przypadku podstawowa harmoniczna częstotliwości PWM wzbudza bezpośrednio częstotliwość rezonansową silnika i w ten sposób w punkcie neutralnym powstają bardzo wysokie napięcia. Dodatkowo, ponieważ napięcie PWM jest falą prostokątną, zawiera ono nieparzyste harmoniczne (1, 3, 5, 7 itd.), które również mogą wzbudzić rezonans silnika.

Podsumowując, aby zapobiec wystąpieniu jakiejkolwiek awarii, należy wziąć pod uwagę dwa elementy: oscylacje pomiędzy napięciem magistrali a ziemią oraz częstotliwość PWM. Jeżeli oba powyższe elementy nie wejdą w rezonans z silnikiem, to nie ma zagrożenia dla silnika.

Przy wyborze zasilacza należy sprawdzić następujące warunki:

- Sterownik 300 VDC: 750 V_p (faza-ziemia), gradient napięcia: 8 kV/µs.
- Sterownik 600 lub 750 VDC: maks. 1000 V_p (przy częstotliwości PWM) i skoki do 1400 V (od napięcia uziemienia do wartości szczytowej, przez kilka µs) oraz gradient napięcia: 11 kV/µs.

Kabel między sterownikiem a silnikiem wygeneruje falę odbitą z powodu niedopasowania impedancji między kablem a silnikiem, a odbite napięcie zostanie nałożone na kolejne napięcie wejściowe, powodując wzrost napięcia. Im dłuższy kabel silnika, tym zjawisko to jest bardziej widoczne. Jeżeli długość kabla pomiędzy sterownikiem a silnikiem jest większa niż 10 m, należy zmierzyć napięcia na zaciskach silnika, aby upewnić się, że są one niższe od podanych powyżej. Jeżeli zmierzona wartość jest wyższa, w celu zapewnienia ochrony pomiędzy sterownikiem a silnikiem należy umieścić filtr dV/dt.

1.5 Stopień ochrony IP silnika

Stopień ochrony silnika liniowego definiowany jest zgodnie z normami IEC. Pierwsza cyfra oznaczenia IP□□ oznacza stopień ochrony przed wnikaniem pyłu. Stopień 6 to pełna ochrona pyłoszczelna. Druga cyfra oznacza stopień ochrony przed wnikaniem wody. Stopień 0 to brak ochrony. Stopień 5 to ochrona przed strugą wody pod niskim ciśnieniem laną z dowolnej strony. Stopień 6 to ochrona przed strugą wody pod wysokim ciśnieniem laną z dowolnej strony.

○ Stopień ochrony IP dla różnych typów silników.

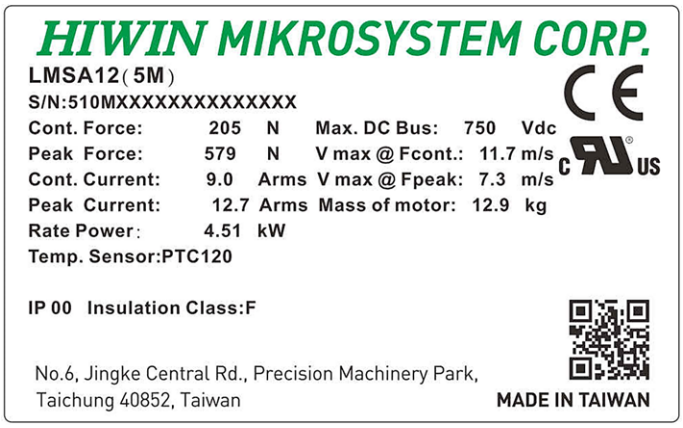
Silnik liniowy	Stopień ochrony
LMSA	IP60
LMFA	IP60
LMFP	IP65
LMSC	IP60
LMC	IP60
LMSS	IP60
LMT	IP66

Dzięki swojej konstrukcji mechanicznej statory są w znacznym stopniu zabezpieczone przed korozją. Należy jednak podjąć odpowiednie działania konstrukcyjne, aby zapobiec gromadzeniu się cząstek ferromagnetycznych (np. wiórów żelaznych) na statorze.

Nie dopuścić do kontaktu z cieczami oraz ogólnego kontaktu ze środkami korozyjnymi poprzez zastosowanie odpowiednich środków ochronnych (hermetyzacja, mieszki, lakier ochronny).

1.6 Tabliczka znamionowa

- Informacje o tabliczkach znamionowych dla różnych typów silników (przykład tabliczki znamionowej)



2 Wprowadzenie do silników liniowych

2.1 Wprowadzenie do silników liniowych

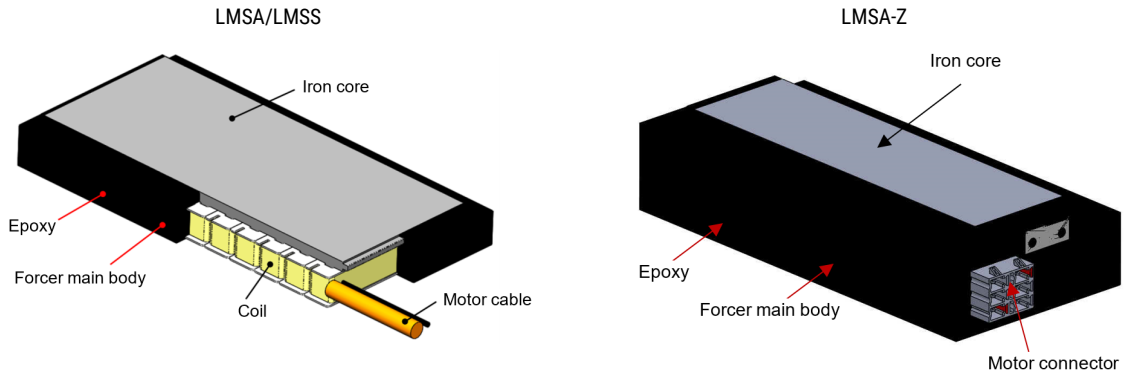
Silniki liniowe podzielą się na silniki z rdzeniem żelaznym i bezrdzeniowe. Silnik liniowy z rdzeniem żelaznym posiada względnie większą siłę ciągu, a silnik liniowy bezrdzeniowy jest relatywnie bardziej kompaktowy i posiada lepszą charakterystykę dynamiczną. Ponieważ pomiędzy silnikiem a obciążeniem nie ma mechanizmu przeniesienia napędu, obciążenie może być napędzane bezpośrednio. W związku z tym mechanizm jest stosunkowo prosty, co pozwala można uzyskać niezwykle dynamiczną reakcję. Ponadto silniki liniowe mają konstrukcję bezstykową, dzięki czemu nie zużywają się i zapewniają wyższą precyzję przy jednoczesnych mniejszych wymaganiach w zakresie konserwacji i pielęgnacji. Stator silnika liniowego jest modułowy, a liczba dopuszczalnych zespołów jest nieograniczona, co pozwala uzyskać dowolną długość skoku.

2.2 Konstrukcja silnika liniowego

2.2.1 Budowa silnika liniowego z rdzeniem żelaznym (LMSA/LMSA-Z/LMSS)

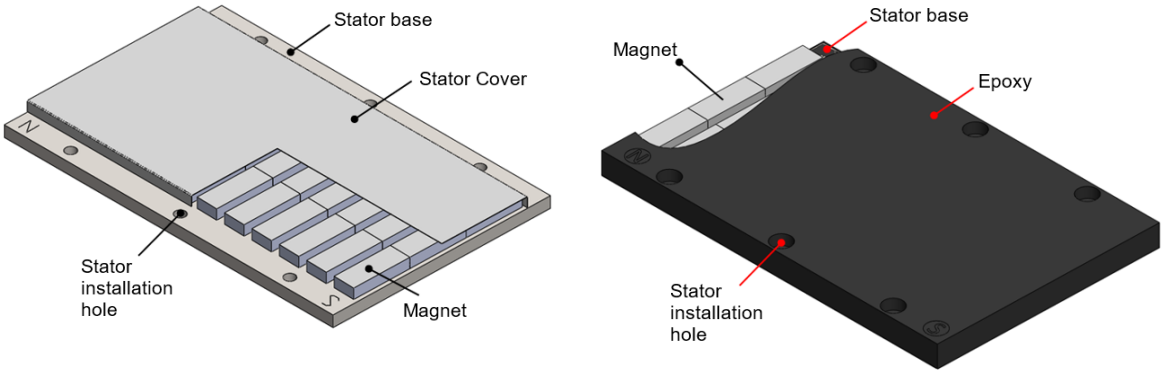
LMSA/LMSA-Z/LMSS to silniki, których forcer składa się z rdzenia żelaznego i cewki złączonych żywicą epoksydową. Ponieważ rdzeń żelazny oddziałuje z magnesem, na tę serię silników wpływają siła zaczepowa oraz siła przyciągania pomiędzy forcerem a statorem. W związku z tym podczas projektowania podstawy montażowej forcera konieczne jest uwzględnienie tych czynników. Produkt jest odpowiedni do stosowania w aplikacjach o dużym przyspieszeniu i spowolnieniu, takich jak przenośniki/urządzenia transportowe, drukarki cyfrowe, drukarki 3D, wiertarki do płytek drukowanych, lekkie maszyny przetwórcze itp.

Rys. 2.1: Budowa forcera



Stator silników LMSA//LMSA-Z/LMSS, widziany z góry, ma kształt prostokąta. W zależności od zastosowania przemysłowego klient może wybrać stator w wersji z osłoną lub epoksydowanej. Ponadto stator może być również wykorzystywany jako część ruchoma.

Rys. 2.2: Budowa statora

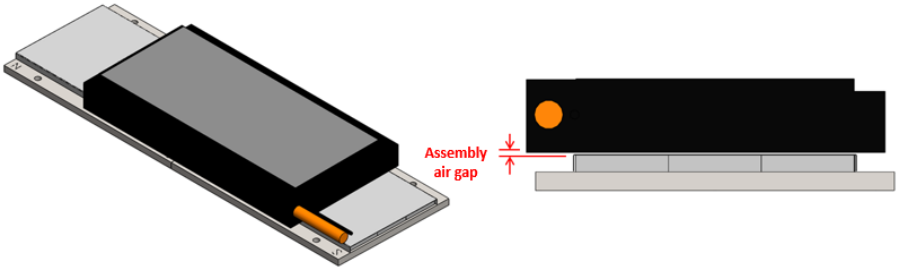


Podczas montażu silnika należy zwrócić uwagę na szczelinę powietrzną pomiędzy forcerem a statorem. Zależność pomiędzy szczeliną powietrzną silnika liniowego z rdzeniem żelaznym a osiągami silnika opisano w części 3.2 niniejszego podręcznika.

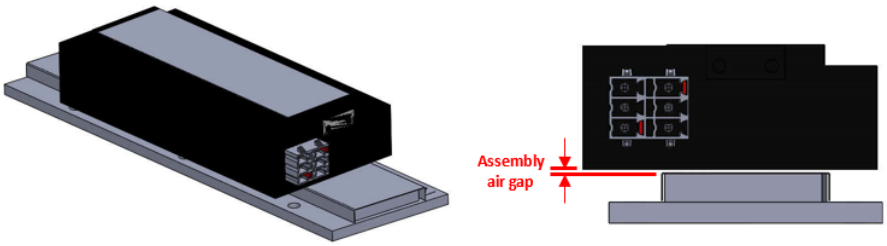
Wytyczne dotyczące montażu forcera i statora silnika znajdują się w części 5.1 niniejszego podręcznika. Ze względu na występowanie dużej siły przyciągania pomiędzy forcerem a statorem nie demontować samowolnie statora i nie używać materiałów magnetycznych przy urządzeniu, aby zapobiec niebezpieczeństwu. Ponadto długość zespołu statora musi być większa niż długość forcera; w przeciwnym razie może wystąpić nieoczekiwane zagrożenie.

Rys. 2.3: Budowa forcera i statora

LMSA/LMSS



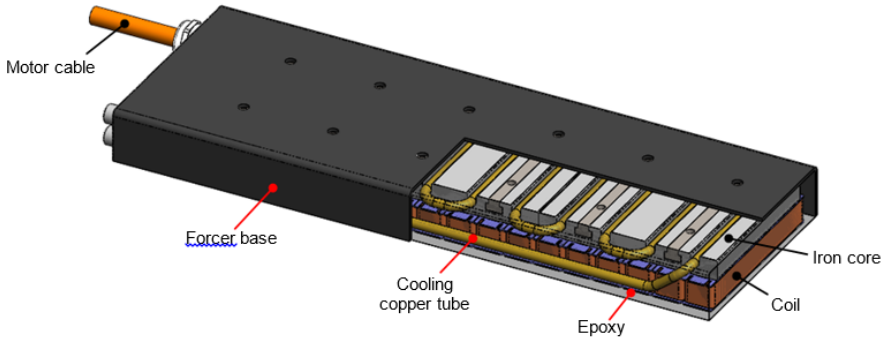
LMSA-Z



2.2.2 Budowa silnika liniowego chłodzonego wodą (LMFA/LMFP)

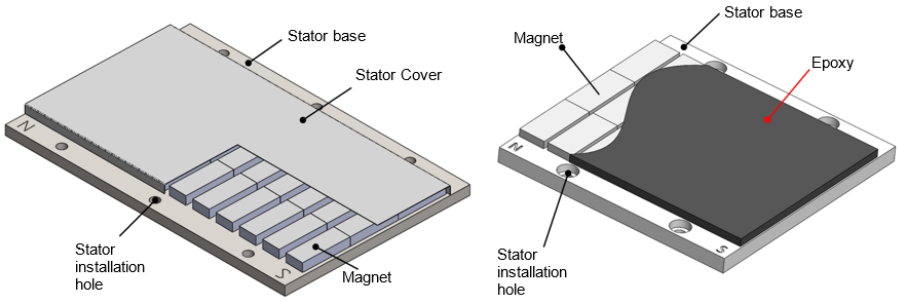
LMFA/LMFP to chłodzone wodą silniki, których forcer składa się z rdzenia żelaznego, podstawa forcera, cewki, miedzianej rurki chłodzącej złączonych żywicą epoksydową. Ponieważ rdzeń żelazny oddziałuje z magnesem, na tę serię silników wpływają siła zaczepowa oraz siła przyciągania pomiędzy forcerem a statorem. W związku z tym podczas projektowania podstawy montażowej forcera konieczne jest uwzględnienie tych czynników. Silnik ten posiada system chłodzenia zwiększający jego wydajność, dzięki czemu jest odpowiedni do stosowania w aplikacjach o dużych obciążeniach, takich jak przenośniki/urządzenia transportowe, wiertarki do płytek drukowanych, szlifierki itp.

Rys. 2.4: Budowa forcera



Stator silników LMFA/LMFP, widziany z góry, ma kształt prostokąta. W zależności od zastosowania przemysłowego klient może wybrać stator w wersji z osłoną lub epoksydowanej.

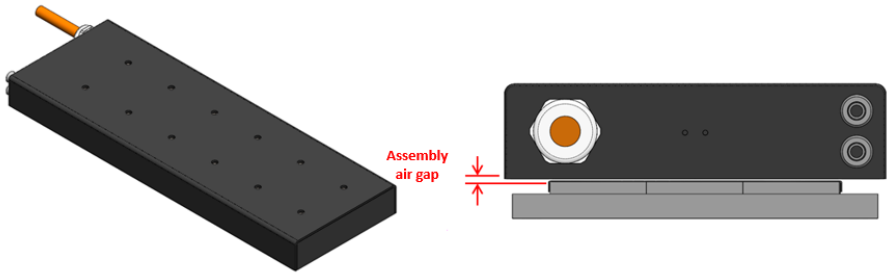
Rys. 2.5: Budowa statora



Podczas montażu silnika należy zwrócić uwagę na szczelinę powietrzną pomiędzy forcerem a statorem.
Zależność pomiędzy szczeliną powietrzną silnika liniowego z rdzeniem żelaznym a osiągami silnika opisano w części 3.2 niniejszego podręcznika.

Wytyczne dotyczące montażu forcera i statora silnika znajdują się w części 5.1 niniejszego podręcznika. Ze względu na występowanie dużej siły przyciągania magnetycznego pomiędzy forcerem a statorem nie demontować samowolnie statora i nie używać materiałów magnetycznych przy urządzeniu, aby zapobiec niebezpieczeństwu. Ponadto długość zespołu statora musi być większa niż długość forcera; w przeciwnym razie może wystąpić nieoczekiwane zagrożenie.

Rys. 2.6: Budowa forcera i statora

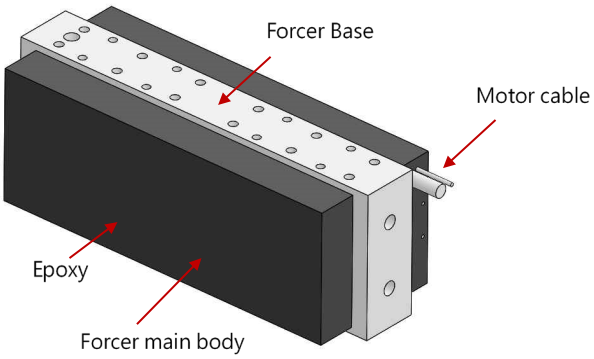


2.2.3 Budowa silnika liniowego z rdzeniem żelaznym (LMSC)

LMSC to silnik, których forcer składa się z rdzenia żelaznego, podstawy forcera i cewki złączonych żywicą epoksydową. Ponieważ rdzenie żelazne są ułożone naprzeciwlegle, siła przyciągania między forcerem a statorem jest zrównoważona, obciążenie prowadnicy jest znacznie zmniejszone, a jej żywotność – przedłużona.

Produkt jest odpowiedni do stosowania w aplikacjach o dużym przyspieszeniu, takich jak przenośniki/urządzenia transportowe, zautomatyzowane linie produkcyjne czy lekkie maszyny przetwórcze.

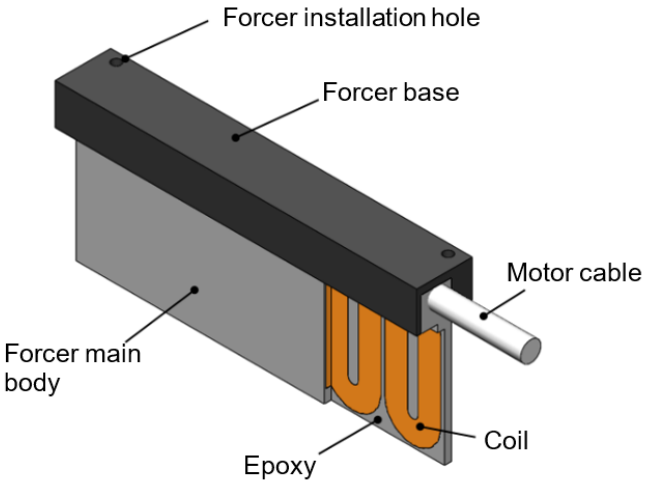
Rys. 2.7: Budowa forcera



2.2.4 Budowa bezrdzeniowego silnika liniowego (LMC)

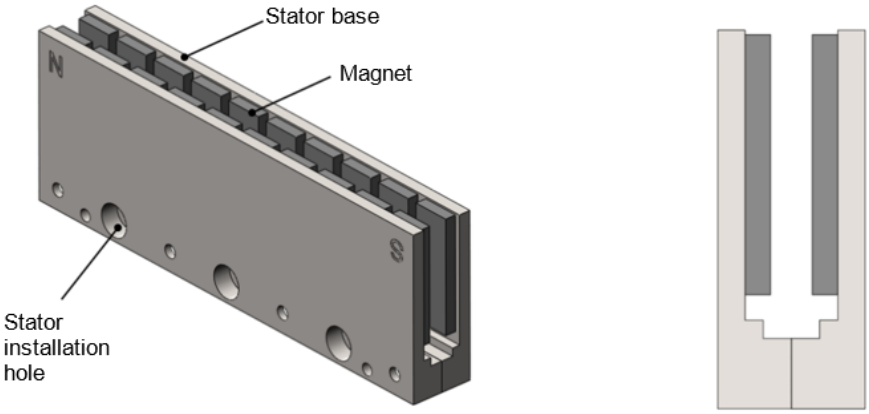
LMC to silnik bezrdzeniowy. Jak wynika z rysunku montażowego forcera Rys. 2.8, we wnętrzu forcera nie ma żelaznego rdzenia, tylko sama cewka zalana żywicą epoksydową i w ten sposób połączona z podstawą forcera. Ponieważ jest to konstrukcja bez rdzenia żelaznego, siła zaczepowa ani siła przyciągania między forcerem a statorem nie występują, zaś silnik charakteryzuje się niską bezwładnością. Produkt jest odpowiedni do stosowania w aplikacjach o wysokiej prędkości i lekkim obciążeniu oraz aplikacji wymagających bardzo niskiego tętnienia prędkości tętnienia i niskiego rozpraszania pola magnetycznego, takich jak optyczny sprzęt kontrolny, elektroniczne mikroskopy skanujące itp.

Rys. 2.8: Budowa forcera



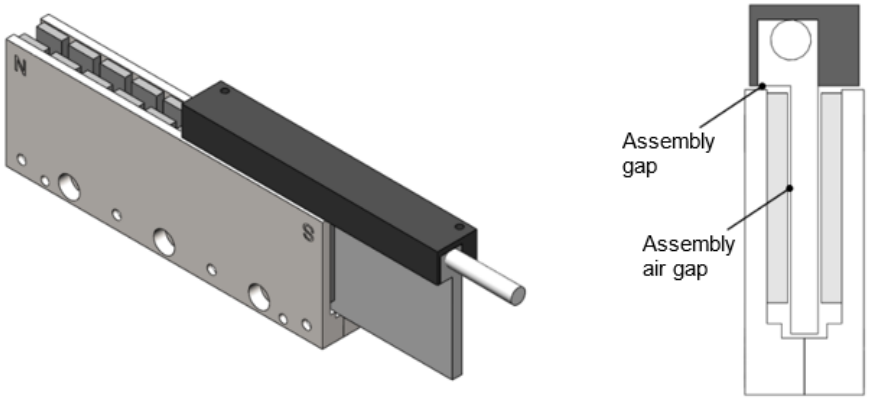
Stator LMC, widziany z boku, ma kształt litery U i składa się z podstawy oraz dwóch rzędów magnesów połączonych razem w sposób pokazany na Rys. 2.9. Ponieważ liczba magnesów jest większa niż w przypadku silnika liniowego z rdzeniem żelaznym, jego całkowita masa jest większa niż masa forcera. W związku z tym stator nie powinien być używany jako część ruchoma.

Rys. 2.9: Budowa statora



Wycięta część U-kształtnej konstrukcji statora LMC umożliwia poruszanie się forcera w statorze. Podczas montażu silnika należy zwrócić uwagę na szczelinę montażową między statorami, zob. Rys. 2.10. Wytyczne dotyczące montażu forcera i statora silnika znajdują się w części 5.2 niniejszego podręcznika. Ponieważ magnesy zastosowane w statorze generują dużą siłę przyciągania magnetycznego, nie należy samowolnie demontować statora ani używać materiałów magnetycznych przy statorze, aby zapobiec niebezpieczeństwu.

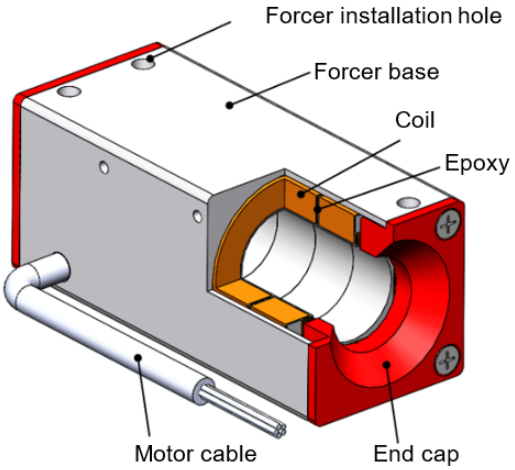
Rys. 2.10: Budowa forcera i statora



2.2.5 Budowa tubowego silnika liniowego (LMT)

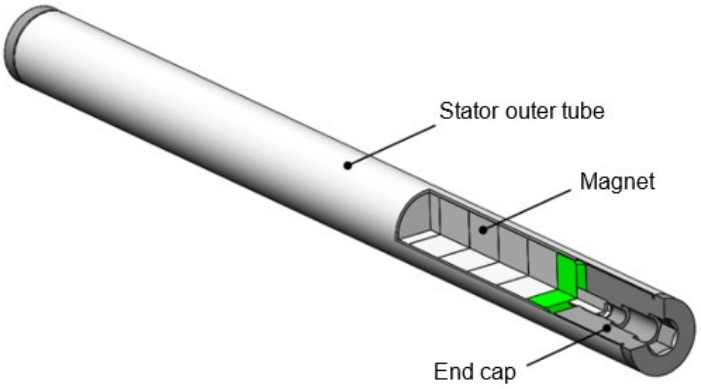
LMT to bezrdzeniowy silnik tubowy. Ze względu na brak rdzenia żelaznego charakterystyka silnika jest zgodna z charakterystyką silników LMC – siła zaczepowa ani siła przyciągania nie występują, zaś silnik charakteryzuje się niską bezwładnością. Zespół forcera pokazano na Rys. 2.11, a jego wewnętrzna konstrukcja nie zawiera żelaza. W odróżnieniu od silników LMC silnik LMT ma stosunkowo bardziej zwartą i prostą konstrukcję o wyglądzie zewnętrznym przypominającym mechanizm śrubowo-toczny, dzięki czemu jest łatwy w konserwacji i pozwala zwiększyć współczynnik wykorzystania przestrzeni. Dla klientów zmieniających mechanizm śrubowo-toczny na mechanizm liniowy z napędem bezpośrednim jest to najbardziej optymalne rozwiązanie. Jego powszechne zastosowania obejmują optyczny sprzęt kontrolny, wycinarki drutowe, elektroniczne mikroskopy skanujące, zautomatyzowane linie produkcji żywności, automatykę medyczną itp.

Rys. 2.11: Budowa forcera

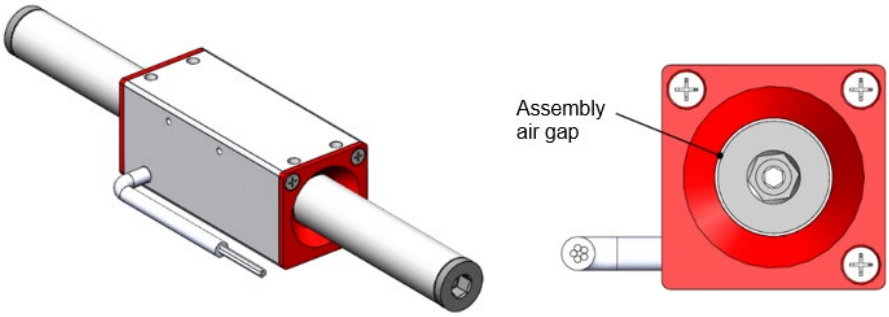


Z zewnątrz stator LMT wygląda jak zamknięty okrągły pręt składający się z zewnętrznej rury i magnesów, jak pokazano na Rys. 2.12. Podczas montażu silnika należy zwrócić uwagę na szczelinę montażową między forcerem a statorem, zob. Rys. 2.13. Wytyczne dotyczące montażu forcera i statora silnika znajdują się w części 5.2 niniejszego podręcznika. Ponieważ magnesy zastosowane w statorze generują dużą siłę przyciągania magnetycznego, nie należy samowolnie demontować statora ani używać materiałów magnetycznych przy statorze, aby zapobiec niebezpieczeństwu.

Rys. 2.12: Budowa statora



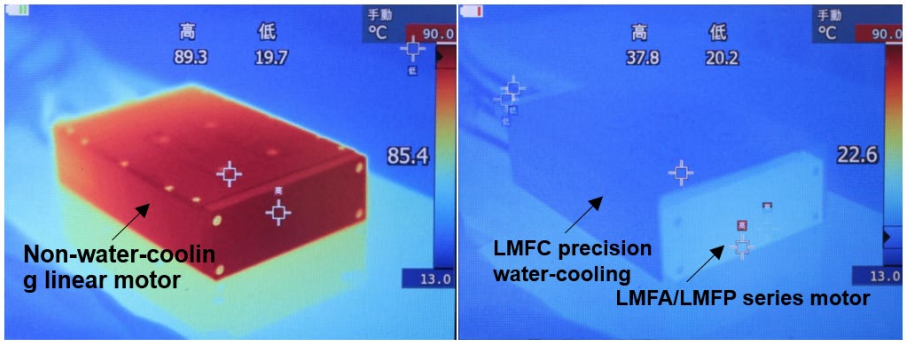
Rys. 2.13: Budowa forcera i statora



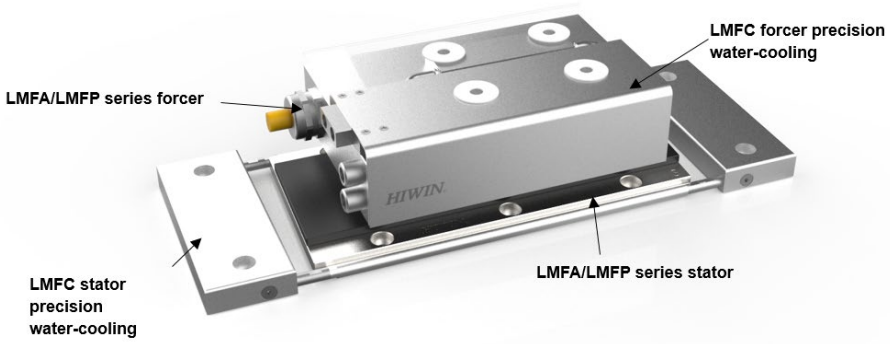
2.3 System chłodzenia silnika liniowego wodą

W silnikach HIWIN serii LMFA/LMFP zastosowano metodę wewnętrznego chłodzenia wodą, aby uzyskać najbardziej optymalną wydajność silnika. Oprócz wewnętrznego chłodzenia wodą silnik serii LMFA/LMFP może być również wyposażony w opcjonalny układ precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC, pozwalający zwiększyć obszar wymiany ciepła i odizolować proces wymiany ciepła od silnika, co znacząco obniżenia temperaturę maszyn. Porównanie rozkładu temperatury pokazane na Rys. 2.14 dowodzi, że silnik może z powodzeniem być wykorzystywany w zastosowaniach wymagających wysokiej precyzji. Jego budowę przedstawiono na Rys. 2.15.

Rys. 2.14: Porównanie rozkładu temperatury



Rys. 2.15: Podstawowa budowa silnika LMFA/LMFP z układem precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC



2.3.1 Układ LMFC precyzyjnego chłodzenia forcera wodą

Silnik LMFA/LMFP jest wyposażony w wewnętrzne kanały, do których chłodziwo doprowadzane jest z wlotowego złącza chłodzenia wodą. Po przejściu przez uszczelnione kanały odprowadzające ciepło, chłodziwo powraca do układu chłodzenia wodą przez wylotowe złącze chłodzenia wodą. W przypadku silnika wyposażonego w układ LMFC precyzyjnego chłodzenia forcera wodą układ ten umieszczony jest na oryginalnym forcerze LMFA/LMFP. Materiał izolacyjny przewidziany dla układu precyzyjnego chłodzenia wodą służy do izolacji wymiany ciepła. Chłodziwo jest doprowadzane do silnika przez wlotowe złącze chłodzenia wodą, a po przejściu przez uszczelnione kanały odprowadzające ciepło powraca do układu chłodzenia wodą przez wylotowe złącze chłodzenia wodą.

2.3.2 Układ LMFC precyzyjnego chłodzenia statora wodą

Stator może być chłodzony tylko przez układ LMFC precyzyjnego chłodzenia wodą. Układ LMFC jest montowany pod statorem LMFA/LMFP. Chłodziwo jest doprowadzane do silnika przez wlotowe złącze chłodzenia wodą, a po przejściu przez uszczelnione kanały odprowadzające ciepło powraca do układu chłodzenia wodą przez wylotowe złącze chłodzenia wodą, co przyspiesza odprowadzanie ciepła.

2.4 Czujnik temperatury

Silniki liniowe posiadają wbudowany czujnik temperatury, który przekazuje sygnał do układu sterowania w celu ochrony silnika przed nadmierną temperaturą.

Ochrona silnika poprzez sam monitoring temperatury z wykorzystaniem czujników PTC może być niewystarczająca. Jest tak np. w przypadku pracy silnika z prądem przekraczającym prąd ciągły.

HIWIN zaleca zastosowanie dodatkowego algorytmu ochronnego po stronie układu sterowania. Obliczenie maksymalnego czasu pracy przy prądach o natężeniu przekraczającym natężenie prądu ciągłego można znaleźć w części 3.4.3.

Do powszechnie stosowanych czujników temperatury należą czujniki PTC, Pt1000 itp. Typ czujnika temperatury, w jaki wyposażony jest silnik, można znaleźć w katalogu lub na rysunkach odbiorczych, a działanie czujników temperatury opisane jest w dalszej części niniejszego podręcznika.

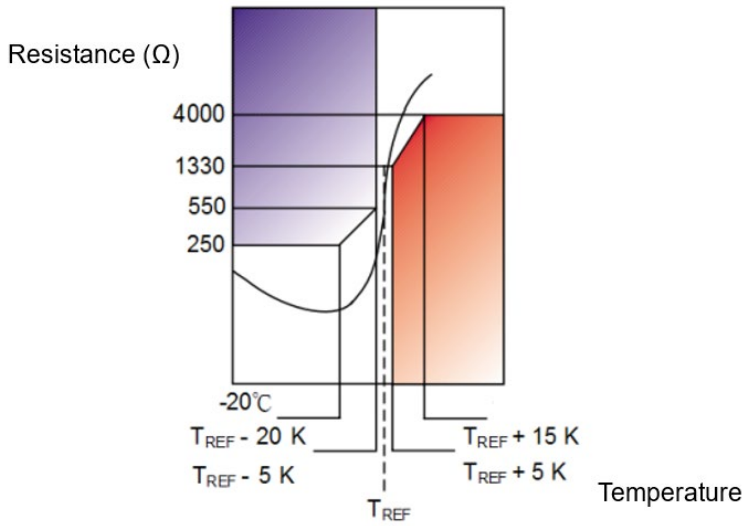
2.4.1 Czujnik temperatury PTC

PTC 100 i PTC 120 to termistory, których opór wyjściowy zmienia się wraz z temperaturą cewki. Opór PTC 100 znacznie wzrasta, gdy T_REF = 100°C, a opór PTC 120 znacznie wzrasta, gdy T_REF = 120°C. Ich charakterystyki są następujące:

Tab. 2.1: Charakterystyka czujnika temperatury PTC

Temperatura	Rezystor
$20°C < T < T_{REF} - 20K$	20 Ω – 250 Ω
$T = T_{REF} - 20K$	≤ 550 Ω
$T = T_{REF} + 5K$	≥ 1330 Ω
$T = T_{REF} + 15K$	≥ 4000 Ω

Rys. 2.16: Wykres zależności temperatury PTC od oporu



2.4.2 Czujnik temperatury Pt1000

Pt1000 to platynowy rezystancyjny czujnik temperatury (RTD), a jego cechą charakterystyczną jest wartość oporu 1000 Ω przy temperaturze wynosi 0°C. Rzeczywistą temperaturę uzyskuje się poprzez pomiar oporu wyjściowego. Zależność pomiędzy oporem a temperaturą jest przedstawiona na Rys. 2.17, a standardowe równanie tej zależności wygląda następująco:

Przy zakresie temperatury -200°C – 0°C

$$R_\theta = R_0[1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3]$$

Przy zakresie temperatury 0°C – 850°C

$$R_\theta = R_0(1 + A\theta + B\theta^2)$$

$R_0 = 1000\ [\Omega]$

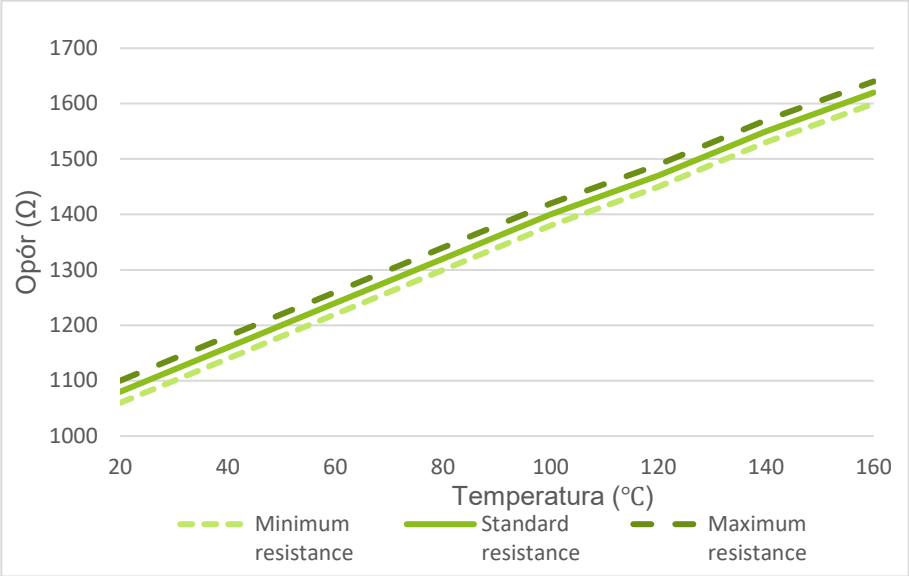
θ =Temperatura pracy [°C]

$A = 3{,}9083 \times 10^{-3}\ [°C^{-1}]$

$B = -5{,}7750 \times 10^{-7}\ [°C^{-2}]$

$C = -4{,}1830 \times 10^{-12}\ [°C^{-4}]$

Rys. 2.17: Wykres zależności oporu Pt1000 od temperatury



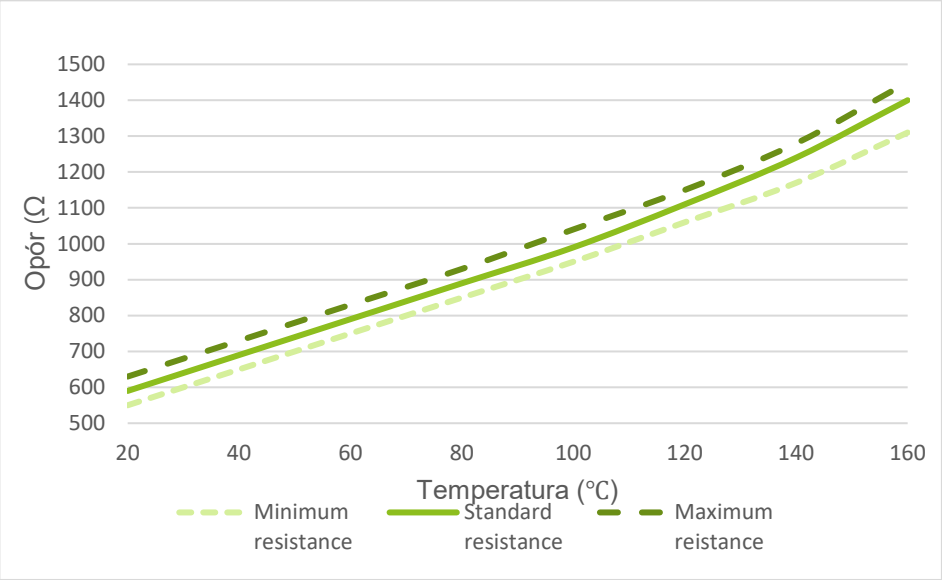
2.4.3 Czujnik temperatury KTY84

KTY84-130 to krzemowy czujnik temperatury; rzeczywistą temperaturę uzyskuje się poprzez pomiar oporu wyjściowego. Jego charakterystyka jest przedstawiona na Rys. 2.18, a zależność oporu od temperatury – na Rys. 2.18.

Tab. 2.2: Charakterystyka czujnika temperatury KTY84-130

Symbol	Parametr	Kryterium	Wartość minimalna	Wartość standardowa	Wartość maksymalna	Jednostka
R_{100}	Opór przy temperaturze poniżej 100°C	$I_{(wyj.)} = 2\ mA$	970	-	1030	Ω
R_{250} / R_{100}	Współczynnik oporu	T = 250°C i 100°C	2111	2166	2221	Ω
R_{25} / R_{100}	Współczynnik oporu	T = 25°C i 100°C	0,595	0,603	0,611	Ω

Rys. 2.18: Wykres zależności oporu KTY84-130 od temperatury



2.4.4 Podłączenie do wzmacniacza napędu

Obwody monitorowania temperatury mogą być z reguły podłączone bezpośrednio do układu sterowania napędem. Aby spełnione zostały wymagania dotyczące separacji ochronnej zgodnie z normą EN 61800-5-1, czujniki muszą być podłączone do modułów odsprzęgających dostarczonych przez producenta napędu.

3 Wydajność silnika i układ chłodzenia silnika wodą

3.1 Wybór silnika liniowego

Zastosowania przemysłowe tych silników dzielą się na sterowanie ruchem od punktu do punktu oraz skanowanie. Silniki liniowe z rdzeniem żelaznym nadają się do ruchu od punktu do punktu, zaś silniki liniowe bezrdzeniowe – do zastosowań w skanowaniu, jak pokazano na Rys. 3.1.

Rys. 3.1: Zastosowanie silników liniowych

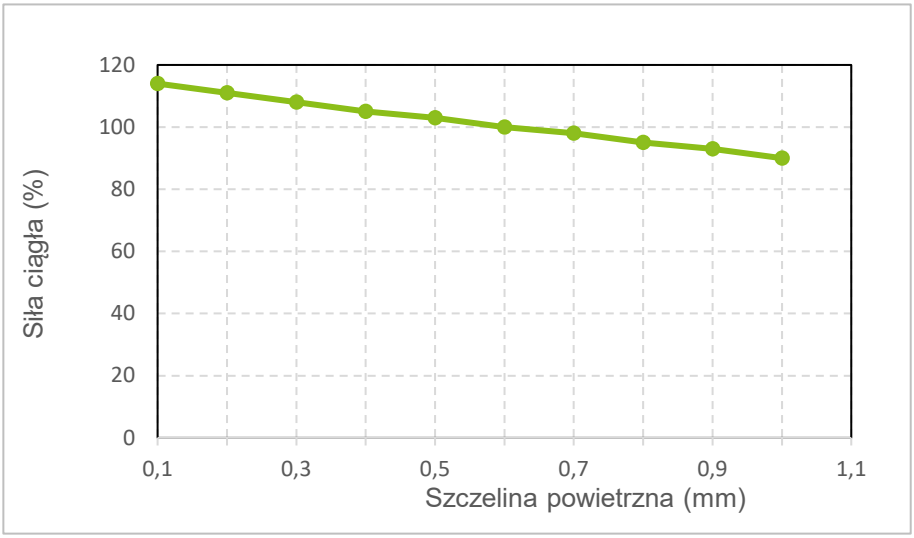
3.2 Silnik liniowy z rdzeniem żelaznym – siła ciągła/szczytowa, siła przyciągania w zależności od szczeliny powietrznej

Siła ciągła/szczytowa silnika liniowego oraz siła przyciągania między forcerem a statorem zmienia się zależnie od wielkości szczeliny powietrznej między forcerem a statorem. W tej części, w celu dostarczenia informacji pomagających w wyborze silnika i konstrukcji mechanicznej, opisano zależność pomiędzy siłą ciągłą/szczytową, siłą przyciągania i szczeliną powietrzną każdej serii silników.

3.2.1 Seria LMSA

- Siła ciągła/szczytowa i szczelina powietrzna

Rys. 3.2: LMSA – wykres zależności siły ciągłej/szczytowej od szczeliny powietrznej

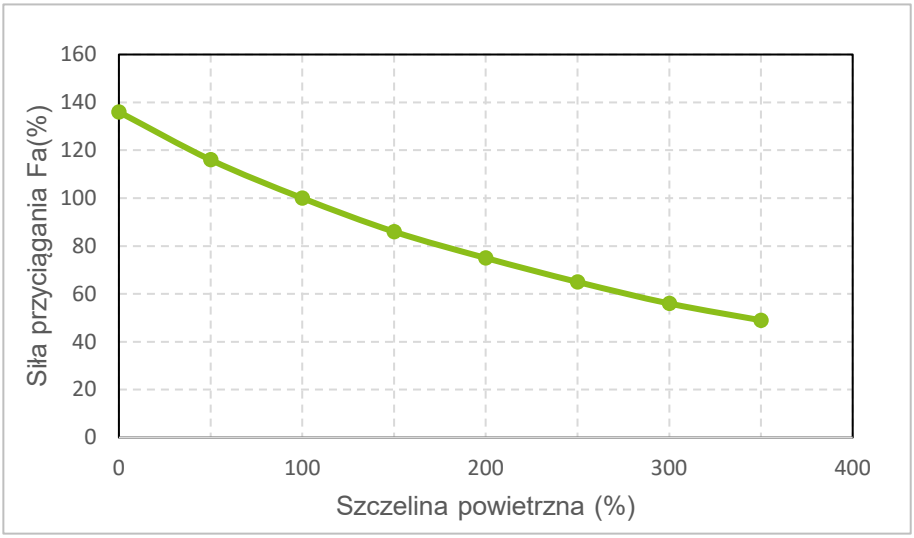


Tab. 3.1: LMSA – tabela porównawcza siły ciągłej/szczytowej i szczeliny powietrznej

Seria	LMSA1□ – LMSAC□ / LMSA□□-Z									
Szczelina powietrzna (mm)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Siła (%)	114	111	108	105	103	100	98	95	93	90

- Siła przyciągania i szczelina powietrzna

Rys. 3.3: LMSA – tabela porównawcza siły ciągłej/szczytowej i szczeliny powietrznej



Tab. 3.2: LMSA – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

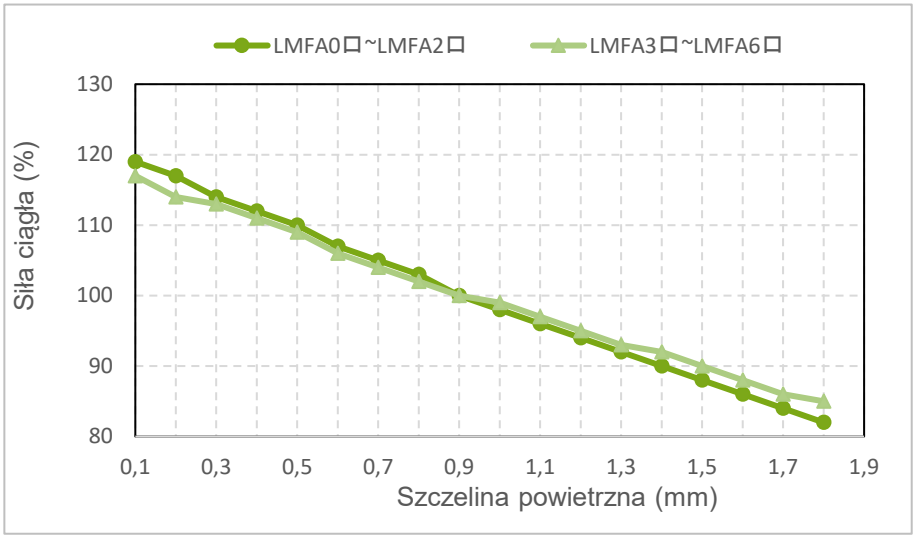
Siła przyciągania dla serii LMSA1□(-Z) –LMSA2□(-Z). Jednostka: N							
Szczelina powietrzna (mm)	**LMSA11 LMSA11-Z**	**LMSA12 LMSA12-Z**	**LMSA13 LMSA13-Z**	**LMSA21 LMSA21-Z**	**LMSA22 LMSA22-Z**	**LMSA23 LMSA23-Z**	**LMSA24**
0	653	1306	1959	1306	2612	3918	5224
0,3	560	1120	1680	1120	2240	3360	4480
0,6	481	963	1444	963	1926	2888	3851
0,9	415	830	1245	830	1660	2490	3320
1,2	359	718	1077	718	1436	2154	2872
1,5	312	624	936	624	1248	1872	2496
1,8	271	542	813	542	1084	1626	2168
2,1	236	472	708	472	944	1416	1888
5	66	132	198	132	264	396	528
10	8	16	24	16	32	48	64
15	1	2	3	2	4	6	8

Siła przyciągania dla serii LMSA3□(-Z) –LMSAC□. Jednostka: N							
Szczelina powietrzna (mm)	**LMSA31 LMSA31-Z**	**LMSA32 LMSA32-Z**	**LMSA33 LMSA33-Z**	**LMSA34**	**LMSAC3**	**LMSAC5**	
0	1959	3918	5877	7836	6367	10 611	
0,3	1680	3360	5040	6720	5460	9100	
0,6	1444	2888	4333	5777	4694	7823	
0,9	1245	2490	3735	4980	4046	6744	
1,2	1077	2154	3231	4308	3500	5834	
1,5	936	1872	2808	3744	3042	5070	
1,8	813	1626	2439	3252	2642	4404	
2,1	708	1416	2124	2832	2301	3835	
5	198	396	594	792	644	1073	
10	24	48	72	96	78	130	
15	3	6	9	12	10	16	

3.2.2 Seria LMFA

○ Siła ciągła/szczytowa i szczelina powietrzna: stator z osłoną

Rys. 3.4: LMFA z osłoną – wykres zależności siły ciągłej/szczytowej od szczeliny powietrznej

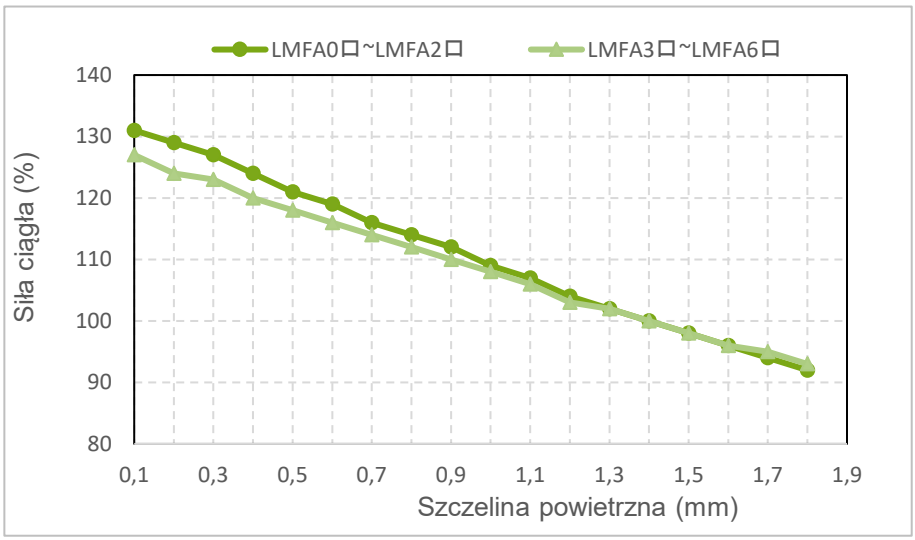


Tab. 3.3: LMFA z osłoną – tabela porównawcza siły ciągłej/szczytowej i szczeliny powietrznej

Siła ciągła/szczytowa dla silników LMFA (z osłoną). Jednostka: %		
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA0□–LMFA2□**	**LMFA3□–LMFA6□**
0,1	119	117
0,2	117	114
0,3	114	113
0,4	112	111
0,5	110	109
0,6	107	106
0,7	105	104
0,8	103	102
0,9	100	100
1,0	98	99
1,1	96	97
1,2	94	95
1,3	92	93
1,4	90	92
1,5	88	90
1,6	86	88
1,7	84	86
1,8	82	85

○ Siła ciągła i szczelina powietrzna: stator epoksydowany

Rys. 3.5: LMFA ze statorem epoksydowanym – wykres zależności siły ciągłej/szczytowej od szczeliny powietrznej

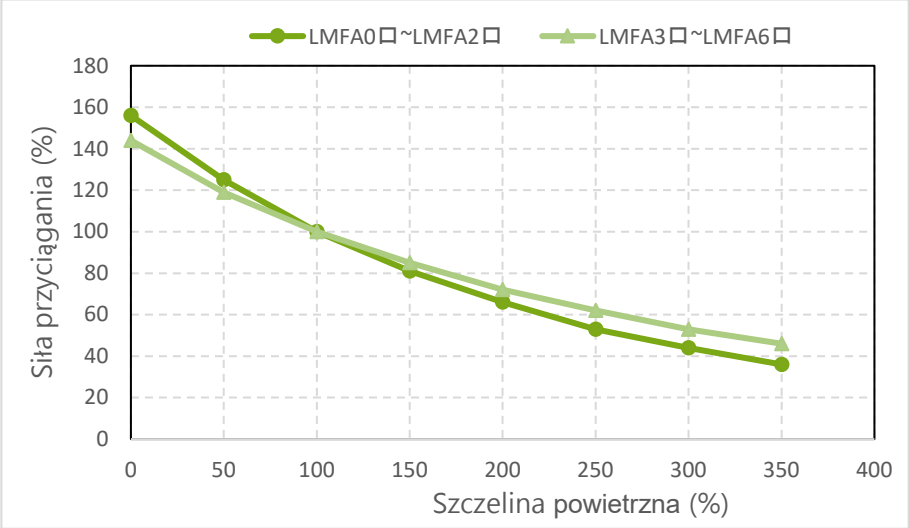


Tab. 3.4: LMFA ze statorem epoksydowanym – tabela porównawcza siły ciągłej i szczeliny powietrznej

Siła ciągła/szczytowa dla silników LMFA (ze statorem epoksydowanym). Jednostka: %		
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA0□–LMFA2□**	**LMFA3□–LMFA6□**
0,1	131	127
0,2	129	124
0,3	127	123
0,4	124	120
0,5	121	118
0,6	119	116
0,7	116	114
0,8	114	112
0,9	112	110
1,0	109	108
1,1	107	106
1,2	104	103
1,3	102	102
1,4	100	100
1,5	98	98
1,6	96	96
1,7	94	95
1,8	92	93

○ Siła przyciągania i szczelina powietrzna: stator z osłoną

Rys. 3.6: LMFA ze statorem z osłoną – wykres zależności siły przyciągania od szczeliny powietrznej



Tab. 3.5: LMFA0–2 ze statorem z osłoną – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

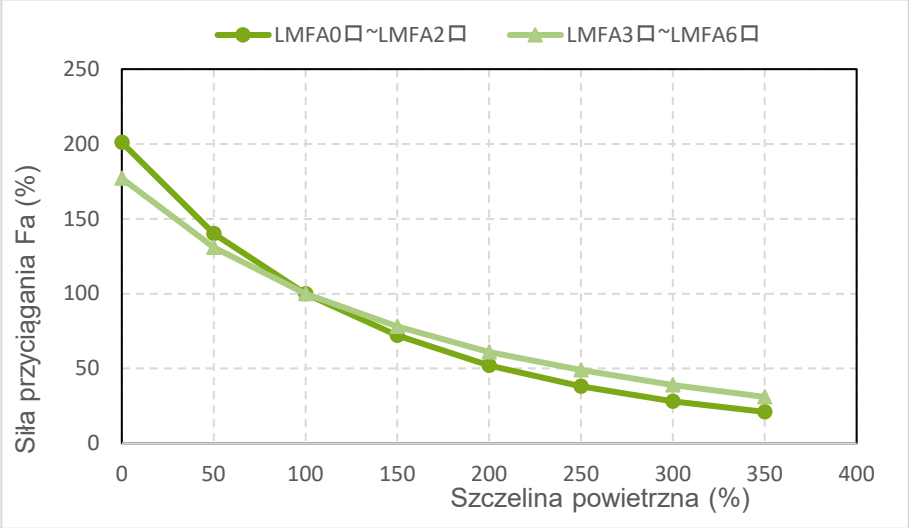
Siła przyciągania dla serii LMFA0□–LMFA2□ (z osłoną). Jednostka: N											
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA01**	**LMFA02**	**LMFA03**	**LMFA11**	**LMFA12**	**LMFA13**	**LMFA14**	**LMFA21**	**LMFA22**	**LMFA23**	**LMFA24**
0	713	1426	2141	1306	2612	3919	5225	1965	3930	5894	7859
0,45	569	1138	1709	1042	2085	3127	4169	1568	3136	4704	6271
0,90	457	914	1372	837	1674	2511	3348	1259	2518	3777	5036
1,35	369	738	1108	676	1352	2029	2705	1017	2034	3051	4068
1,80	299	599	899	548	1097	1645	2194	825	1650	2475	3299
2,25	244	487	731	446	892	1338	1785	671	1342	2013	2684
2,70	199	398	597	364	729	1093	1458	548	1097	1645	2193
3,15	163	325	488	298	595	893	1191	448	896	1343	1791
5	72	145	218	133	266	398	531	200	399	599	799
10	9	17	26	16	32	48	64	24	48	72	96
15	1	3	4	2	5	7	10	4	7	11	15
20	0	0	1	0	1	1	2	1	1	2	2

Tab. 3.6: LMFA3 – 6 z osłoną – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

Siła przyciągania dla serii LMFA3□–LMFA4□ (z osłoną). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA31**	**LMFA32**	**LMFA33**	**LMFA34**	**LMFA41**	**LMFA42**	**LMFA43**	**LMFA44**
0	4926	9851	14 777	19 703	7388	14 777	22 165	29 554
0,45	4089	8179	12 268	16 357	6134	12 268	18 402	24 536
0,90	3430	6860	10 290	13 720	5145	10 290	15 435	20 580
1,35	2902	5805	8707	11 609	4354	8707	13 061	17 414
1,80	2471	4942	7413	9884	3707	7413	11 120	14 826
2,25	2117	4234	6351	8468	3176	6351	9527	12 703
2,70	1821	3642	5462	7283	2731	5462	8193	10 925
3,15	1572	3144	4717	6289	2358	4717	7075	9433
5	885	1770	2655	3539	1327	2655	3982	5309
10	208	417	625	833	312	625	937	1250
15	52	104	156	207	78	156	233	311
20	13	26	40	53	20	40	59	79
Siła przyciągania dla serii LMFA3□–LMFA4□ (z osłoną). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA52**	**LMFA53**	**LMFA54**	**LMFA62**	**LMFA63**	**LMFA64**		
0	19 674	29 511	39 348	29 554	44 331	59 108		
0,45	16 333	24 500	32 667	24 536	36 804	49 072		
0,90	13 700	20 550	27 400	20 580	30 870	41 160		
1,35	11 593	17 389	23 185	17 414	26 121	34 828		
1,80	9870	14 805	19 740	14 826	22 239	29 653		
2,25	8456	12 684	16 912	12 703	19 054	25 405		
2,70	7272	10 909	14 545	10 925	16 387	21 849		
3,15	6280	9419	12 559	9433	14 150	18 866		
5	3534	5301	7069	5309	7964	10 618		
10	832	1248	1664	1250	1874	2499		
15	207	311	414	311	467	622		
20	53	79	105	79	119	158		

○ Siła przyciągania i szczelina powietrzna: stator epoksydowany

Rys. 3.7: LMFA ze statorem epoksydowanym – wykres zależności siły przyciągania od szczeliny powietrznej



Tab. 3.7: LMFA0–2 ze statorem epoksydowanym – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

Siła przyciągania dla serii LMFA3□–LMFA4□ (stator epoksydowany). Jednostka: N											
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA01**	**LMFA02**	**LMFA03**	**LMFA11**	**LMFA12**	**LMFA13**	**LMFA14**	**LMFA21**	**LMFA22**	**LMFA23**	**LMFA24**
0	919	1839	2760	1684	3368	5052	6736	2533	5066	7599	10 132
0,7	641	1282	1925	1174	2349	3523	4697	1766	3533	5299	7066
1,4	457	914	1372	837	1674	2511	3348	1259	2518	3777	5036
2,1	329	659	988	603	1206	1809	2412	907	1814	2721	3628
2,8	239	478	718	438	876	1314	1752	659	1318	1976	2635
3,5	175	350	525	320	640	960	1280	482	963	1445	1926
4,2	129	257	386	236	472	707	943	355	709	1064	1419
4,9	95	189	284	173	346	520	693	261	521	782	1042
10	11	22	33	20	40	60	79	30	60	90	119
15	1	3	4	3	5	8	11	4	8	12	16
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

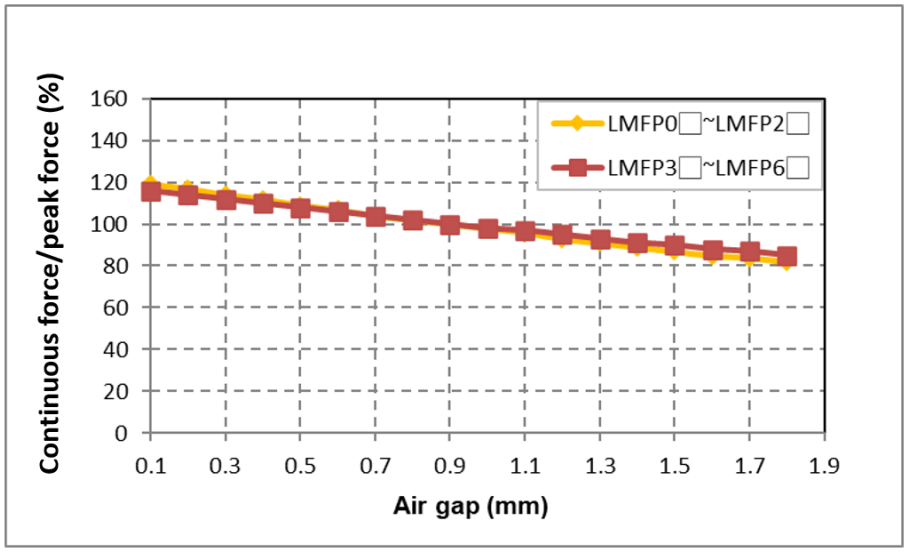
Tab. 3.8: LMFA3 – 6 ze statorem epoksydowanym – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

Siła przyciągania dla serii LMFA3□–LMFA4□ (z osłoną). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA31**	**LMFA32**	**LMFA33**	**LMFA34**	**LMFA41**	**LMFA42**	**LMFA43**	**LMFA44**
0	6069	12 138	18 206	24 275	9103	18 206	27 310	36 413
0,7	4494	8989	13 483	17 978	6742	13 483	20 225	26 966
1,4	3430	6860	10 290	13 720	5145	10 290	15 435	20 580
2,1	2663	5326	7988	10 651	3994	7988	11 982	15 977
2,8	2098	4195	6293	8391	3147	6293	9440	12 586
3,5	1665	3330	4995	6660	2497	4995	7492	9989
4,2	1335	2670	4005	5340	2002	4005	6007	8010
4,9	1076	2152	3228	4304	1614	3228	4842	6456
10	245	490	734	979	367	734	1102	1469
15	61	122	184	245	92	184	275	367
20	15	31	46	62	23	46	69	93
30	0	0	0	0	0	0	0	0
Siła przyciągania dla serii LMFA5□–LMFA6□ (stator epoksydowany). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFA52**	**LMFA53**	**LMFA54**	**LMFA62**	**LMFA63**	**LMFA64**		
0	24 240	36 360	48 480	36 413	54 619	72 826		
0,7	17 951	26 927	35 903	26 966	40 450	53 933		
1,4	13 700	20 550	27 400	20 580	30 870	41 160		
2,1	10 635	15 953	21 271	15 977	23 965	31 953		
2,8	8379	12 568	16 757	12 586	18 880	25 173		
3,5	6650	9975	13 300	9989	14 984	19 979		
4,2	5332	7998	10 664	8010	12 014	16 019		
4,9	4297	6446	8595	6456	9683	12 911		
10	978	1467	1956	1469	2203	2938		
15	244	367	489	367	551	734		
20	62	92	123	93	139	185		
30	0	0	0	0	0	0		

3.2.3 Seria LMFP

- Siła ciągła/szczytowa i szczelina powietrzna: stator z osłoną

Rys. 3.8: LMFP ze statorem z osłoną – wykres zależności siły ciągłej od szczeliny powietrznej

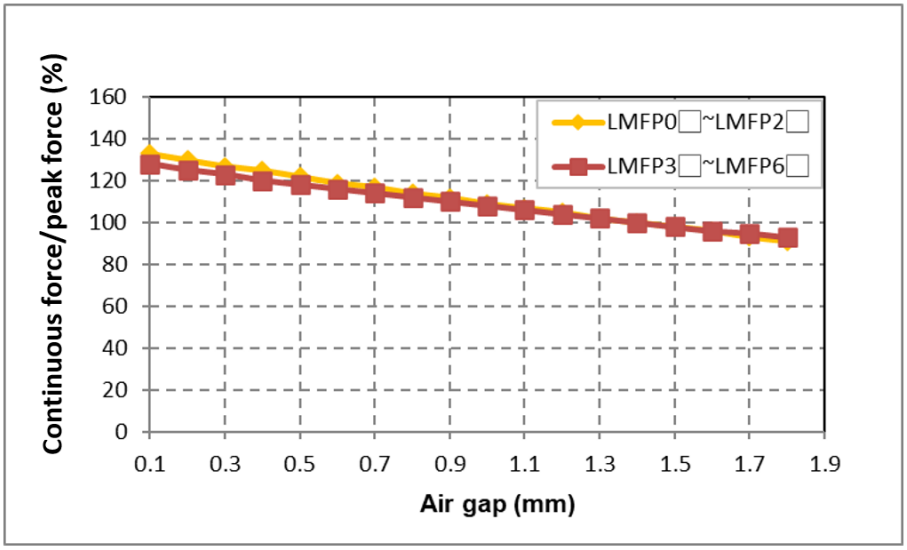


Tab. 3.9: LMFP ze statorem z osłoną – tabela porównawcza siły ciągłej i szczeliny powietrznej

Siła ciągła/szczytowa dla silników LMFP (z osłoną). Jednostka: %		
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP0□–LMFP2□**	**LMFP3□–LMFP6□**
0,1	119	116
0,2	117	114
0,3	114	112
0,4	112	110
0,5	109	108
0,6	107	106
0,7	104	104
0,8	102	102
0,9	100	100
1,0	98	98
1,1	96	97
1,2	93	95
1,3	91	93
1,4	89	91
1,5	87	90
1,6	85	88
1,7	84	87
1,8	82	85

○ Siła ciągła i szczelina powietrzna: stator epoksydowany

Rys. 3.9: LMFP ze statorem epoksydowanym – wykres zależności siły ciągłej/szczytowej od szczeliny powietrznej

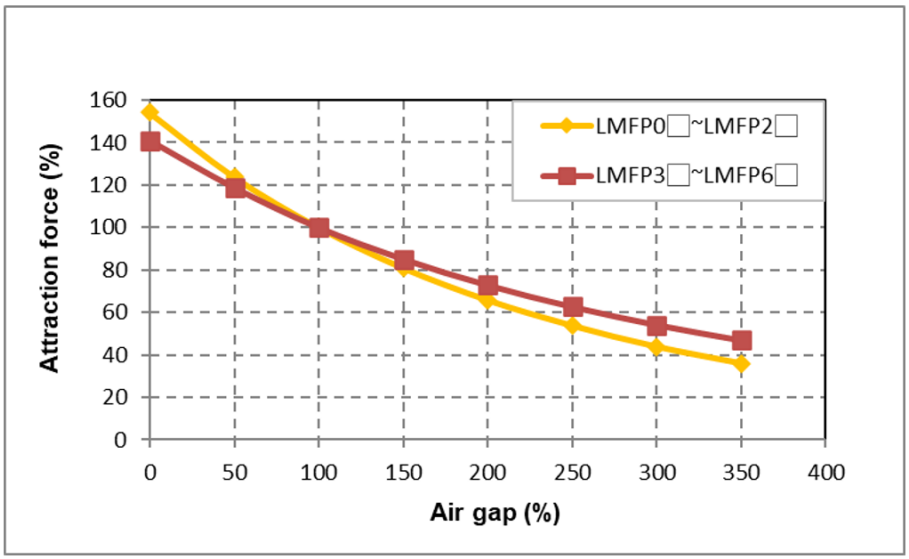


Tab. 3.10: LMFP ze statorem epoksydowanym – tabela porównawcza siły ciągłej i szczeliny powietrznej

Siła ciągła/szczytowa dla silników LMFP (ze statorem epoksydowanym). Jednostka: %		
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP0□–LMFP2□**	**LMFP3□–LMFP6□**
0,1	133	128
0,2	130	125
0,3	127	123
0,4	125	120
0,5	122	118
0,6	119	116
0,7	117	114
0,8	114	112
0,9	112	110
1,0	109	108
1,1	107	106
1,2	105	104
1,3	102	102
1,4	100	100
1,5	98	98
1,6	96	96
1,7	93	95
1,8	91	93

○ Siła przyciągania i szczelina powietrzna: stator z osłoną

Rys. 3.10: LMFP ze statorem z osłoną – wykres zależności siły przyciągania od szczeliny powietrznej



Tab. 3.11: LMFP0–2 ze statorem z osłoną – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

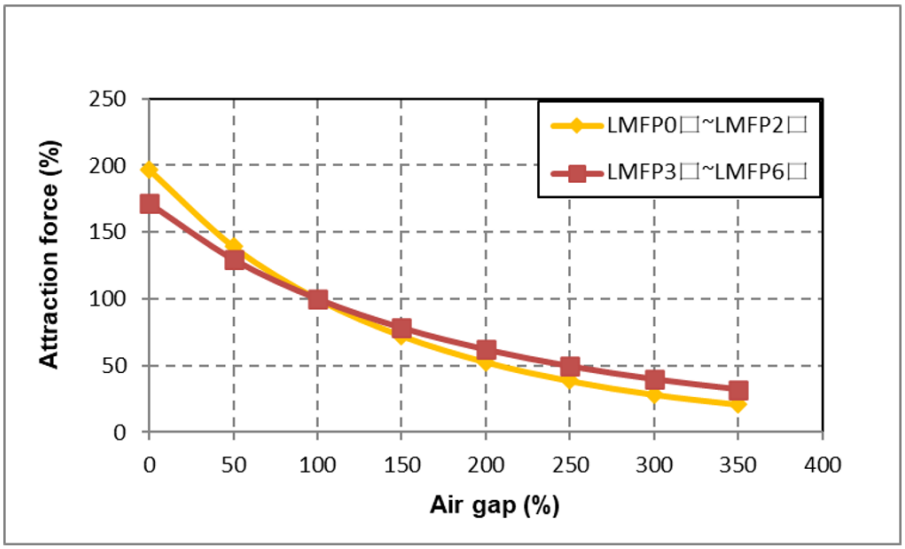
Siła przyciągania dla serii LMFP0□–LMFP2□ (z osłoną). Jednostka: N											
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP01**	**LMFP02**	**LMFP03**	**LMFP11**	**LMFP12**	**LMFP13**	**LMFP14**	**LMFP21**	**LMFP22**	**LMFP23**	**LMFP24**
0	641	1282	1925	1174	2348	3523	4697	1766	3533	5299	7065
0,45	515	1030	1546	943	1886	2829	3772	1418	2837	4255	5674
0,90	416	832	1249	762	1523	2285	3047	1146	2291	3437	4583
1,35	337	673	1011	617	1233	1850	2466	927	1855	2782	3710
1,80	274	548	822	501	1003	1504	2006	754	1508	2263	3017
2,25	224	448	672	410	820	1230	1639	616	1233	1849	2466
2,70	183	365	548	335	669	1004	1338	503	1007	1510	2013
3,15	150	300	450	275	549	824	1099	413	827	1240	1653
5	67	134	201	122	245	367	490	184	368	552	737
10	8	16	24	15	29	44	58	22	44	65	87
15	1	2	3	2	4	5	7	3	5	8	11
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 3.12: LMFP3–6 ze statorem z osłoną – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

Siła przyciągania dla serii LMFP3□–LMFP4□ (z osłoną). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP31**	**LMFP32**	**LMFP33**	**LMFP34**	**LMFP41**	**LMFP42**	**LMFP43**	**LMFP44**
0	4404	8808	13 213	17 617	6606	13 213	19 819	26 425
0,45	3710	7419	11 129	14 839	5565	11 129	16 694	22 258
0,90	3121	6243	9364	12 485	4682	9364	14 046	18 728
1,35	2656	5313	7969	10 625	3984	7969	11 953	15 938
1,80	2273	4546	6819	9092	3409	6819	10 228	13 638
2,25	1955	3910	5864	7819	2932	5864	8797	11 729
2,70	1687	3374	5061	6748	2531	5061	7592	10 123
3,15	1461	2922	4383	5845	2192	4383	6575	8767
5	828	1657	2485	3313	1243	2485	3728	4970
10	196	393	589	786	295	589	884	1179
15	50	99	149	198	74	149	223	297
20	12	24	37	49	18	37	55	73
Siła przyciągania dla serii LMFP5□–LMFP6□ (z osłoną). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP52**	**LMFP53**	**LMFP54**	**LMFP62**	**LMFP63**	**LMFP64**		
0	17 591	26 387	35 183	26 425	39 638	52 851		
0,45	14 814	22 226	29 635	22 258	33 388	44 517		
0,90	12 467	18 701	24 934	18 728	28 092	37 456		
1,35	10 610	15 914	21 219	15 938	23 906	31 875		
1,80	9079	13 618	18 157	13 638	20 457	27 276		
2,25	7808	11 712	15 616	11 729	17 593	23 458		
2,70	6739	10 108	13 477	10 123	15 184	20 245		
3,15	5836	8754	11 672	8767	13 150	17 534		
5	3309	4963	6617	4970	7455	9940		
10	785	1177	1569	1179	1768	2357		
15	198	297	396	297	446	595		
20	49	73	97	73	110	146		

○ Siła przyciągania i szczelina powietrzna: stator epoksydowany

Rys. 3.11: LMFP ze statorem epoksydowanym – wykres zależności siły przyciągania od szczeliny powietrznej



Tab. 3.13: LMFP0–2 ze statorem epoksydowanym – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

Siła przyciągania dla serii LMFP0□–LMFP2□ (stator epoksydowany). Jednostka: N											
Szczelina powietrzna (mm)	LMFP01	LMFP02	LMFP03	LMFP11	LMFP12	LMFP13	LMFP14	LMFP21	LMFP22	LMFP23	LMFP24
0	818	1637	2457	1499	2996	4495	5994	2255	4507	6762	9016
0,7	579	1158	1739	1061	2120	3181	4242	1595	3189	4785	6380
1,4	416	832	1249	762	1523	2285	3047	1146	2291	3437	4583
2,1	301	603	905	552	1103	1655	2207	830	1659	2489	3319
2,8	220	439	660	402	804	1207	1609	605	1210	1815	2420
3,5	161	322	483	295	589	884	1179	443	886	1330	1773
4,2	119	237	356	217	434	651	868	327	653	979	1306
4,9	88	175	263	160	321	481	641	241	482	723	965
10	10	21	31	19	38	57	76	28	57	85	114
15	2	3	5	3	6	9	12	4	9	13	18
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

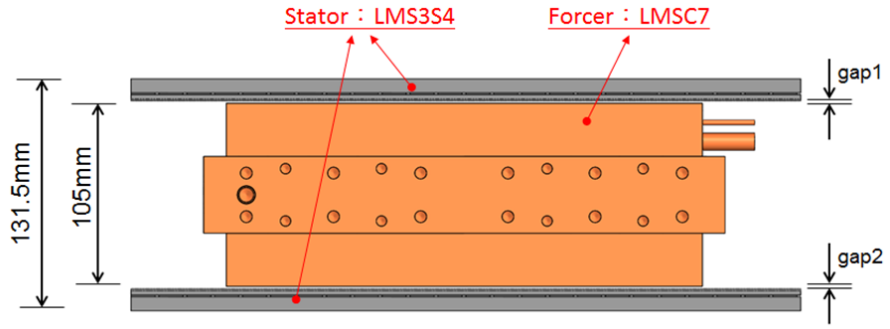
Tab. 3.14: LMFP3 – 6 ze statorem epoksydowanym – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

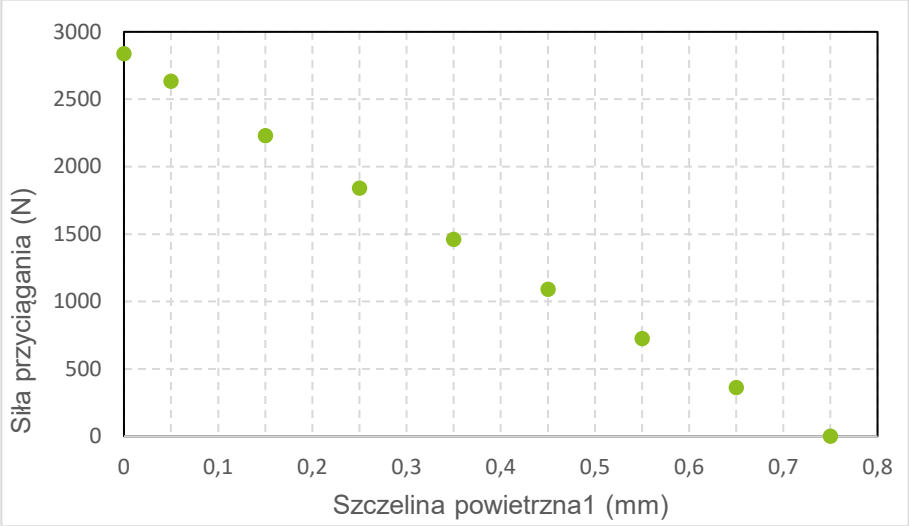
Siła przyciągania dla serii LMFP3□–LMFP4□ (stator epoksydowany). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP31**	**LMFP32**	**LMFP33**	**LMFP34**	**LMFP41**	**LMFP42**	**LMFP43**	**LMFP44**
0	5355	10 713	16 068	21 424	8034	16 068	24 102	32 136
0,7	4044	8089	12 133	16 177	6067	12 133	18 200	24 266
1,4	3121	6243	9364	12 485	4682	9364	14 046	18 728
2,1	2444	4888	7332	9776	3666	7332	10 998	14 664
2,8	1936	3872	5807	7743	2904	5807	8711	11 615
3,5	1545	3091	4636	6181	2318	4636	6954	9272
4,2	1241	2483	3725	4966	1862	3725	5587	7450
4,9	1004	2009	3013	4017	1506	3013	4519	6026
10	974	1949	2923	3898	1462	2923	4385	5847
15	230	460	689	919	345	689	1034	1379
20	57	114	171	228	85	171	256	342
30	15	30	45	60	22	45	67	90
Siła przyciągania dla serii LMFP5□–LMFP6□ (stator epoksydowany). Jednostka: N								
Szczelina powietrzna (mm)	**LMFP52**	**LMFP53**	**LMFP54**	**LMFP62**	**LMFP63**	**LMFP64**		
0	21 393	32 090	42 786	32 136	448 205	64 273		
0,7	16 154	24 231	32 307	24 266	36 399	48 532		
1,4	12 467	18 701	24 934	18 728	28 092	37 456		
2,1	9762	14 643	19 523	14 664	21 996	29 328		
2,8	7732	11 598	15 463	11 615	17 422	23 229		
3,5	6172	9258	12 344	9272	13 907	18 543		
4,2	4959	7439	9918	7450	11 175	14 899		
4,9	4011	6017	8023	6026	9039	12 052		
10	3892	5838	7784	5847	8770	11 693		
15	918	1377	1836	1379	2068	2758		
20	228	341	455	342	513	684		
30	60	90	119	90	135	179		

3.2.4 Seria LMSC

- Siła przyciągania i szczelina powietrzna

Rys. 3.12: LMSC – wykres zależności siły przyciągania od szczeliny powietrznej





Tab. 3.15: LMSC – tabela porównawcza siły przyciągania i szczeliny powietrznej

Seria	LMSC7(L) (WC)								
Szczelina powietrzna 1 (mm)	0	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75
Szczelina powietrzna 2 (mm)	1,5	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85	0,75
Siła przyciągania (N)	2838	2633	2230	1840	1464	1090	724	361	0

3.3 Temperatura otoczenia i siła ciągła

Siła ciągła silnika liniowego HIWIN określana jest na podstawie maksymalnej temperatury uzwojenia silników tej serii osiąganej w temperaturze otoczenia 25°C. Przy temperaturze otoczenia powyżej 25°C siła ciągła osiągana przez silnik zmniejsza się. W różnych temperaturach otoczenia siłę ciągłą, jaką można osiągnąć bez przekroczenia przez silnik maksymalnej temperatury uzwojenia w różnych temperaturach otoczenia, można obliczyć z następującego wzoru.

$$\frac{T_{maks.} - T_{otocz.}}{T_{maks.} - T_0} = \frac{{F_x}^2}{{F_C}^2}$$

$T_{maks.}$: Maksymalna temperatura uzwojenia (wartość katalogowa) [°C]

$T_{otocz.}$: Temperatura otoczenia [°C]

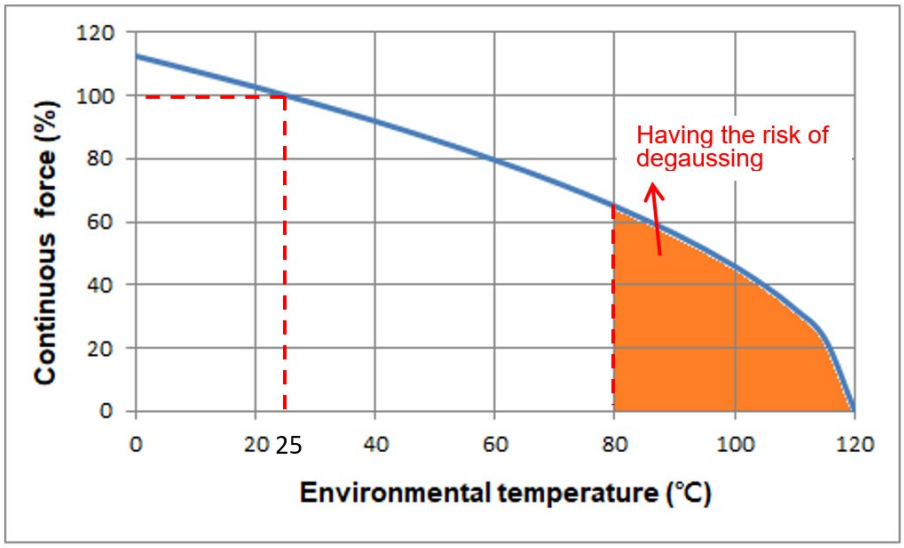
T_0 : Temperatura początkowa silnika [°C], chłodzenie wodą T_0 = 20°C, chłodzenie naturalne T_0 = 25°C

F_C : Siła ciągła (wartość katalogowa) [N]

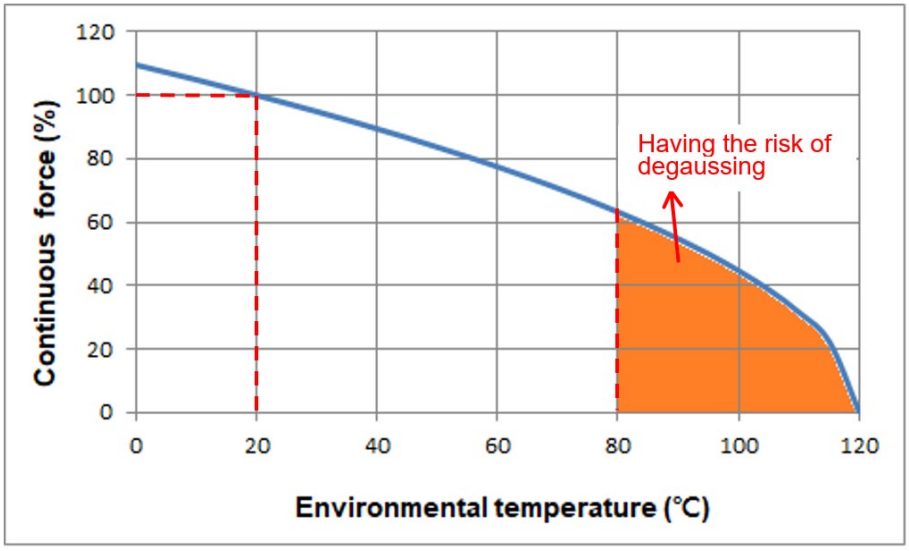
F_x : Osiągalna siła ciągła w różnych temperaturach otoczenia [N]

Zależność pomiędzy różnymi temperaturami otoczenia a osiągalną siłą ciągłą przedstawiono na Rys. 3.13 i Rys. 3.14.

Rys. 3.13: Wykres zależności siły ciągłej silnika z chłodzeniem naturalnym od temperatury otoczenia



Rys. 3.14: Wykres zależności siły ciągłej silnika z chłodzeniem wodą od temperatury otoczenia



3.4 Obliczanie ciepła silnika

3.4.1 Straty ciepła silnika

Podczas procesu przekształcania energii elektrycznej w energię kinetyczną nieuniknione są straty w miedzi, w żelazie i mechaniczne, gdzie straty w miedzi odnoszą się do strat spowodowanych oporem, gdy prąd przechodzi przez cewkę silnika; straty w żelazie są spowodowane przekształceniem pola magnetycznego pomiędzy magnesami cewki silnika i statora. Straty mechaniczne są, ogólnie rzecz biorąc, znacznie mniejsze niż straty miedzi i żelaza, tak że można je pominąć.

Metoda obliczania strat w miedzi pod wpływem siły ciągłej:

$$P_C = \frac{3}{2} \times R_{25} \times \{1 + [0{,}00393 \times (T_{maks.} - 25)]\} \times {I_C}^2$$

P_C: Straty w miedzi przy temperaturze cewki $T_{maks.}$ [W]

R_{25}: Opór przy temperaturze cewki 25°C [Ω]

I_c: Prąd ciągły przy temperaturze cewki $T_{maks.}$ A_{rms}

$T_{maks.}$: Maksymalna temperatura uzwojenia [°C] (zob. katalog danej serii silników)

Ciepło z cewki jest odprowadzane na powierzchnię silnika głównie metodą przewodnictwa cieplnego. Przy naturalnym chłodzeniu powietrzem ciepło to jest następnie przekazywane do otoczenia poprzez konwekcję powietrza na powierzchni silnika, skąd jest dalej odprowadzane poprzez promieniowanie cieplne i przewodzenie ciepła z powierzchni instalacji. Przy chłodzeniu wodą ciepło jest przekazywane, poprzez przewodnictwo cieplne, ze źródła ciepła do wody chłodzącej. Ponieważ woda chłodząca ma współczynnik przenikania ciepła znacznie wyższy niż powietrze, efekt przekazywania ciepła ze źródła do powietrza przez konwekcję można pominąć. Silniki serii LMFA mogą być chłodzone wodą lub powietrzem. Należy upewnić się, że użyte parametry są takie same jak te podane w specyfikacji, a także należy pamiętać, że maksymalna temperatura uzwojenia nie może przekraczać 120°C.

3.4.2 Stała temperatura pracy

Temperatura cewki silnika w stanie ustalonym jest określana na podstawie stosunku strat w miedzi i w żelazie. W przypadku zastosowania silnika liniowego można pominąć straty w żelazie. Straty całkowite silnika i znamionowa siła ciągła (F_e) są określone dla maksymalnej temperatury uzwojenia podanej w katalogu. Gdy równoważna siła ciągu (F_c) jest mniejsza niż znamionowa siła ciągła (F_c), temperatury cewki silnika w stanie ustalonym w różnych warunkach pracy można uzyskać z następującego wzoru:

Gdy prąd roboczy jest mniejszy od prądu znamionowego ($I_e \leq I_c$), zależność między temperaturą a siłą ciągu wynosi:

$$T_e = T_{otocz.} + \left(\frac{F_e}{F_C}\right)^2 \times (T_{maks.} - 25)$$

T_e: Temperatura cewki w stanie ustalonym przy równoważnej sile ciągu [°C]

$T_{otocz.}$: Temperatura otoczenia [°C]

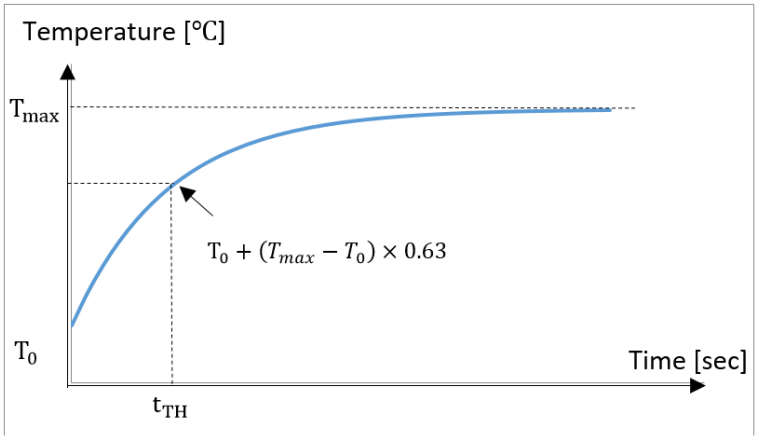
F_e: Równoważna siła ciągu dla rzeczywistej pracy [N] (przy temperaturze cewki T_e)

F_c: Znamionowa siła ciągła [N] (przy temperaturze cewki $T_{maks.}$)

3.4.3 Termiczna stała czasowa

Podczas pracy silnika temperatura jego cewki jest zależna od termicznej stałej czasowej. Termiczną stałą czasową definiuje się jako czas (jak pokazano na Rys. 3.15), w którym różnica temperatur pomiędzy temperaturą początkową cewki T_0 a osiągniętą maksymalną temperaturą uzwojenia $T_{maks.}$ wynosi 63%. Czas osiągnięcia przez silnik stanu ustalonego jest około 5 razy dłuższy od termicznej stałej czasowej t_{Th}.

Rys. 3.15: Wykres krzywej wzrostu temperatury silnika



Równanie zależności między termiczną stałą czasową a temperaturą:

$$T(t) = T_0 + (T_{maks.} - T_0) \times \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_{TH}}\right)}\right)$$

$T(t)$: Temperatura cewki [°C] (przy czasie pracy t)

T_0: Temperatura początkowa cewki [°C]

$T_{maks.}$: Maksymalna temperatura uzwojenia [°C]

t_{TH}: Termiczna stała czasowa [s] (zob. katalog danej serii silników)

t: Czas pracy [s]

Gdy wartość prądu roboczego mieści się pomiędzy prądem znamionowym a prądem szczytowym ($I_c < I_e < I_p$), konieczne jest ustawienie czasu bezczynności, przy którym zasilanie jest wyłączone, aby umożliwić schłodzenie silnika. Dodatkowo wspomniana wcześniej termiczna stała czasowa może być wykorzystana do obliczania czasu wymaganego dla cyklu obciążenia. Zgodnie z częścią 3.4.3, równoważna siła ciągu dla rzeczywistej pracy (F_e) jest używana do obliczenia wartości temperatury cewki w stanie ustalonym (T_e) przy równoważnej sile ciągu. Następnie do uzyskania względnego maksymalnego czasu pracy wykorzystywane jest następujące równanie:

Równanie na temperaturę cewki w stanie ustalonym (T_e) przy równoważnej sile ciągu i maksymalnym czasie pracy

$$t = -t_{TH} \times \ln\left(1 - \frac{T_e - T_0}{T_{maks.} - T_0}\right)$$

t: Maksymalny czas pracy [s]

Uwaga:

Temperatura cewki (T_e) przy opisanym tu prądzie równoważnym nie powinna przekraczać maksymalnej temperatury uzwojenia ($T_{maks.}$) podanej w katalogu.

3.5 Obliczenia dla układu chłodzenia

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z temperaturą roboczą.

W przypadku nieprawidłowej obsługi i usterki silnik może się przegrzać, a w konsekwencji zapalić i dymić. To może spowodować poważne obrażenia ciała lub śmierć. Ponadto zbyt wysokie temperatury niszczą elementy silnika i prowadzą do zwiększonej awaryjności, jak również skracają żywotność silników.

- Silnik należy eksploatować zgodnie z odpowiednimi specyfikacjami.
- Przed przystąpieniem do prac w pobliżu produktu należy odczekać, aż forcer wystarczająco ostygnie (w temperaturze pokojowej 25°C), aby uniknąć poparzeń.
- W przypadku wykrycia nietypowego zapachu, hałasu, dymu lub drgań należy natychmiast wyłączyć zasilanie.

System chłodzenia silnika wykorzystuje do obliczeń głównie maksymalną odprowadzaną moc cieplną silnika, minimalne natężenie przepływu chłodziwa, różnicę ciśnień między wlotem a wylotem chłodziwa oraz różnicę temperatur między wlotem a wylotem chłodziwa. Prawidłowe zaprojektowanie i wybór układu chłodzenia zgodnie z wartością katalogową umożliwia osiągnięcie optymalnych parametrów pracy silnika. Jeżeli równoważna siła ciągu silnika podczas rzeczywistej pracy jest niższa niż siła ciągła podana w katalogu, w warunkach, gdy silnik może pracować w wyższej temperaturze (ale nie przekraczając maksymalnej temperatury uzwojenia 120°C), natężenie przepływu chłodziwa może zostać zmniejszone, aby uniknąć zbyt dużego poboru przez pompę. Warunki chłodzenia można odpowiednio dostosować zgodnie z poniższym wzorem.

Poniższy wzór może zostać użyty do dostosowania warunków brzegowych układu chłodzenia wodą do różnych strat mocy silnika: W warunkach eksploatacyjnych, w których równoważna siła ciągu jest mniejsza niż siła ciągła (Fe<Fc), w celu określenia wymaganego natężenia przepływu chłodziwa można użyć następującego równania określającego zależność natężenia przepływu od równoważnej siły ciągu:

$$Q_{P,H,e} = \frac{Q_{P,H,MAKS.}}{(F_c/F_e)^2}$$

$$Q_{P,H,e} = 69{,}7 \times q_e \times \Delta T$$

gdzie

$Q_{P,H,e}$: Całkowite straty silnika przy równoważnej sile ciągu [W]

$Q_{P,H,MAKS.}$: Maksymalna odprowadzana moc cieplna [W]

ΔT: Różnica temperatur pomiędzy wlotem a wylotem [°C]

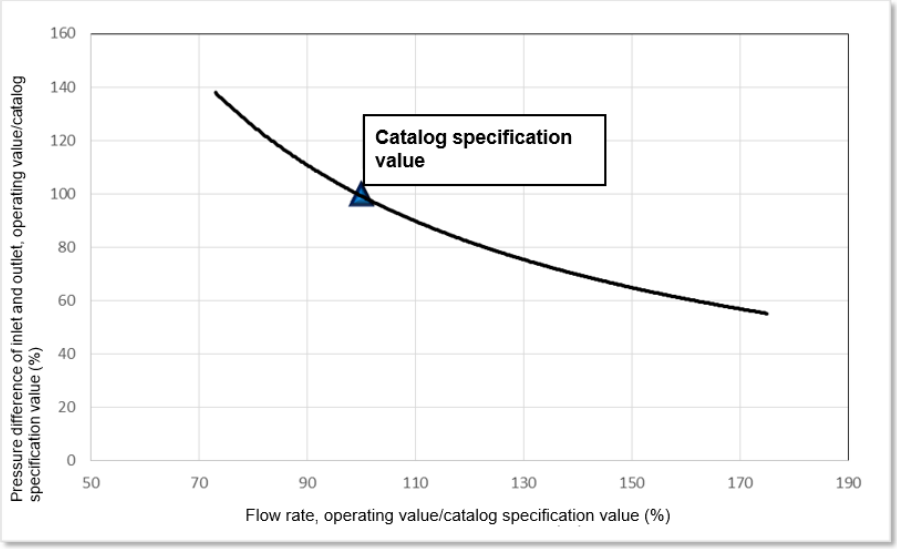
q_e: Natężenie przepływu chłodziwa przy równoważnej sile ciągu [l/min]

F_c : Siła ciągła (wartość katalogowa) [N]

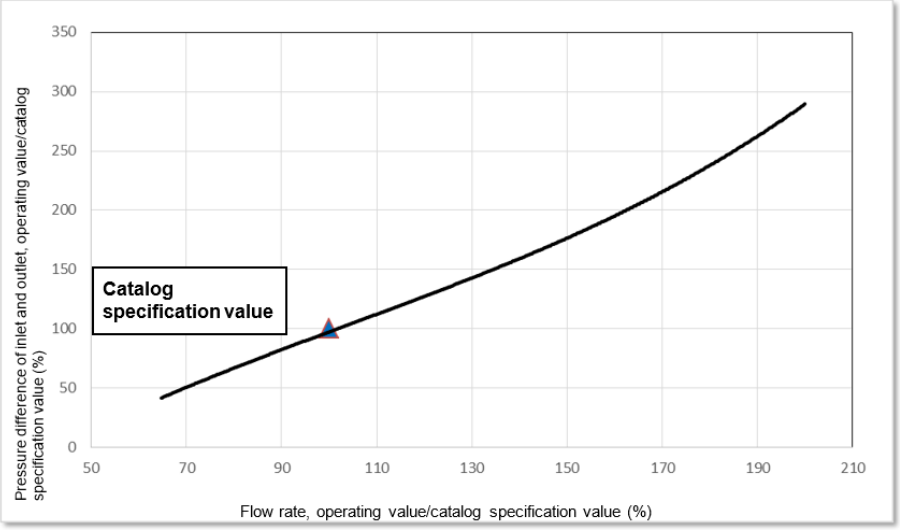
F_e : Równoważna siła ciągu dla rzeczywistej pracy [N]

Zależność między natężeniem przepływu chłodziwa a różnicą temperatur na wlocie i wylocie jest przedstawiona na Rys. 3.16, natomiast zależność między różnicą ciśnień na wlocie i wylocie a natężeniem przepływu – na Rys. 3.17.

Rys. 3.16: Wykres zależności natężenia przepływu chłodziwa i różnicy temperatur na wlocie i wylocie



Rys. 3.17: Wykres zależności różnicy ciśnień na wlocie i wylocie i natężenia przepływu



3.6 Wybór układu chłodzenia

Przy wyborze układu chłodzenia, oprócz zakresu zastosowania źródła zasilania i chłodziwa należy również zwrócić uwagę na moc chłodzenia i natężenie przepływu. Zaleca się wybranie takiego układu chłodzenia, który pozwoli silnikowi osiągnąć maksymalne osiągi zgodne z wartościami katalogowymi. Alternatywnie jako odniesienia przy wyborze można użyć obliczeń dla układu chłodzenia opisanych w części 3.5.

3.6.1 Wybór mocy chłodzenia

Przedstawione poniżej informacje stanowią jedynie przykład. Jeżeli zastosowane zostaną dwa silniki liniowe LMFA31, a **maksymalna odprowadzana moc cieplna** podana w katalogu wynosi 324 (W), wówczas suma maksymalnej mocy cieplnej odprowadzanej przez oba silniki wynosi 2 × 324 = 648 (W). W przypadku korzystania z układu chłodzenia o maksymalnej odprowadzanej mocy cieplnej 648 (W), przy częstotliwości 50Hz wydajność chłodzenia wynosi 980 (W), co jest wartością większą.

Wydajność chłodzenia	KCAL/H 50/60 Hz	450/500	840/1000	1400/1500	1700/2100	2600/3000	3200/3800
	W 50/60 Hz	525/580	980/1170	1630/1750	1980/2450	2900/3500	3700/4400
	BTU/H 50/60 Hz	1800/2000	3360/4000	5600/6000	6800/8400	10 000/12 000	12 800/15 200
Regulacja temperatury	A	Stała (zakres nastaw 10 – 40°C)					
	B	Różnica temperatur (śledzenie temperatury otoczenia/korpusu maszyny, zakres nastaw –10 – +10°C)					
Zakres stosowania	Temperatura pokojowa	10 – 40°C					
	Temperatura oleju	10 – 30°C					
Zasilanie		3φ200 – 230 V 50/60 Hz					
Silnik (W)	Sprężarka	460			740	1135	1450
	Wentylator	56	50	95		180	
	Pompa	120	750				
Przepływ pompy (l/min)	50 Hz	2	40				
	60 Hz	3,5	50				

Specyfikacja silnika serii LMFA3	Symbol	Jednostka	LMFA31	LMFA31L
Siła ciągła	F_c	N	380	380
Prąd ciągły	I_c	A (rms)	3,1	4,6
Siła ciągła (WC)	F_c (wc)	N	759	759
Prąd ciągły (WC)	I_c (wc)	A (rms)	6,2	9,1
Siła szczytowa (1 s)	F_p	N	1750	1750
Prąd szczytowy (1 s)	Ip	A (rms)	19,2	28,3
Stała siłowa	Kf	N/A(rms)	122,7	83,1
Siła przyciągania	Fa	N	3430	3430
Maksymalna temperatura uzwojenia	$T_{maks.}$	°C		
Elektryczna stała czasowa	K_e	ms	11,3	11,4
Opór (międzyprzewodowy, 25°C)	R_{25}	Ω	4,3	1,9
Opór (międzyprzewodowy, 120°C)	R_{120}	Ω	5,6	2,6
Indukcyjność (międzyprzewodowa)	L	mH	48,3	22,2
Odległość między parami biegunów	2τ	mm		
Stała napięciowa silnika (międzyprzewodowa)	K_v	Vrms (m/s)	70,9	48,0
Stała silnika (25°C)	K_m	N/√W	48,4	48,7
Opór termiczny	R_{th}	°C/W	1,17	1,19
Opór termiczny (WC)	R_{th} (wc)	°C/W	0,29	0,30
Minimalne natężenie przepływu	-	l/min	4,0	4,0
Temperatura wody chłodzącej	-	°C		
Czujnik temperatury	-			
Maksymalna prędkość przy sile szczytowej	Vmaks., Fmaks.	m/s	4,08	6,19
Maksymalna moc wyjściowa	PEL,MAKS.	W	10 255	13 910
Maksymalna odprowadzana moc cieplna	$Q_{P, H, MAKS.}$	W	324	320
Początkowy moment rozruchowy (chłodzenie wodą)	Fe	N	531	531
Prąd trzymania (chłodzenie wodą)	I0	A (rms)	4,3	6,4

Tab. 3.16: Wybór mocy układu chłodzenia

Wydajność chłodzenia	KCAL/H 50/60 Hz	450/500	840/1000	1400/1500	1700/2100	2600/3000	3200/3800
	W 50/60 Hz	525/580	980/1170	1630/1750	1980/2450	2900/3500	3700/4400
	BTU/H 50/60 Hz	1800/2000	3360/4000	5600/6000	6800/8400	10 000/12 000	12 800/15 200
Regulacja temperatury	A	Stała (zakres nastaw 10 – 40°C)					
	B	Różnica temperatur (śledzenie temperatury otoczenia/korpusu maszyny, zakres nastaw –10 – +10°C)					
Zakres stosowania	Temperatura pokojowa	10 – 40°C					
	Temperatura oleju	10 – 30°C					
Zasilanie		3φ200 – 230 V 50/60 Hz					
Silnik (W)	Sprężarka	460			740	1135	1450
	Wentylator	56	50	95		180	
	Pompa	120	750				
Przepływ pompy (l/min)	50 Hz	2	40				
	60 Hz	3,5	50				

3.6.2 Wybór natężenia przepływu

Gdy układ chłodzenia pracuje z wybraną częstotliwością (50/60 Hz), natężenie przepływu pompy powinno być większe niż suma minimalnego natężenia przepływu przez silnik, a ciśnienie wytworzone przez przepływ przez pompę powinno być większe niż suma spadków ciśnienia wewnętrznej pętli chłodzącej silnika. Jeśli pętla chłodząca dużych urządzeń jest dłuższa, należy wziąć pod uwagę spadek ciśnienia spowodowany oporem przewodów rurowych w pętli.

Przedstawione poniżej informacje stanowią jedynie przykład. Jeżeli zastosowane zostaną dwa silniki liniowe LMFA31, a **minimalne natężenie przepływu** podane w katalogu wynosi 4,0 (l/min), wówczas suma minimalnych natężeń przepływu dla dwóch silników wynosi 2 × 4,0 = 8,0 (l/min). Na przykładzie układu chłodzenia z Tab. 3.16, natężenie przepływu pompy przy 50 Hz wynosi 40 (l/min), co jest większe niż minimalne natężenie przepływu silnika wynoszące 8,0 (l/min).

Specyfikacja silnika serii LMFA3	Symbol	Jednostka	LMFA31	LMFA31L
Siła ciągła	F_c	N	380	380
Prąd ciągły	I_c	A (rms)	3,1	4,6
Siła ciągła (WC)	F_c (wc)	N	759	759
Prąd ciągły (WC)	I_c (wc)	A (rms)	6,2	9,1
Siła szczytowa (1 s)	F_p	N	1750	1750
Prąd szczytowy (1 s)	Ip	A (rms)	19,2	28,3
Stała siłowa	Kf	N/A(rms)	122,7	83,1
Siła przyciągania	Fa	N	3430	3430
Maksymalna temperatura uzwojenia	$T_{maks.}$	°C		
Elektryczna stała czasowa	K_e	ms	11,3	11,4
Opór (międzyprzewodowy, 25)	R_{25}	Ω	4,3	1,9
Opór (międzyprzewodowy, 120°C)	R_{120}	Ω	5,6	2,6
Indukcyjność (międzyprzewodowa)	L	mH	48,3	22,2
Odległość między parami biegunów	2τ	mm		
Stała napięciowa silnika (międzyprzewodowa)	K_v	Vrms (m/s)/	70,9	48,0
Stała silnika (25°C)	K_m	N/√W	48,4	48,7
Opór termiczny	R_{th}	°C/W	1,17	1,19
Opór termiczny (WC)	R_{th} (wc)	°C/W	0,29	0,30
Minimalne natężenie przepływu	-	l/min	4,0	4,0
Temperatura wody chłodzącej	-	°C		
Czujnik temperatury	-			
Maksymalna prędkość przy sile szczytowej	Vmaks., Fmaks.	m/s	4,08	6,19
Maksymalna moc wyjściowa	PEL, MAKS.	W	10 255	13 910
Maksymalna odprowadzana moc cieplna	$Q_{P, H, MAKS.}$	W	324	320
Początkowy moment rozruchowy (chłodzenie wodą)	Fe	N	531	531
Prąd trzymania (chłodzenie wodą)	I0	A (rms)	4,3	6,4

Tab. 3.16: Wybór natężenia przepływu układu chłodzenia

Wydajność chłodzenia	KCAL/H 50/60 Hz	450/500	840/1000	1400/1500	1700/2100	2600/3000	3200/3800
	W 50/60 Hz	525/580	980/1170	1630/1750	1980/2450	2900/3500	3700/4400
	BTU/H 50/60 Hz	1800/2000	3360/4000	5600/6000	6800/8400	10 000/12 000	12 800/15 200
Regulacja temperatury	A	Stała (zakres nastaw 10 – 40°C)					
	B	Różnica temperatur (śledzenie temperatury otoczenia/korpusu maszyny, zakres nastaw –10 – +10°C)					
Zakres stosowania	Temperatura pokojowa	10 – 40°C					
	Temperatura oleju	10 – 30°C					
Zasilanie		3φ200 – 230 V 50/60 Hz					
Silnik (W)	Sprężarka	460			740	1135	1450
	Wentylator	56	50	95		180	
	Pompa	120	750				
Przepływ pompy (l/min)	50 Hz	2	40				
	60 Hz	3,5	50				

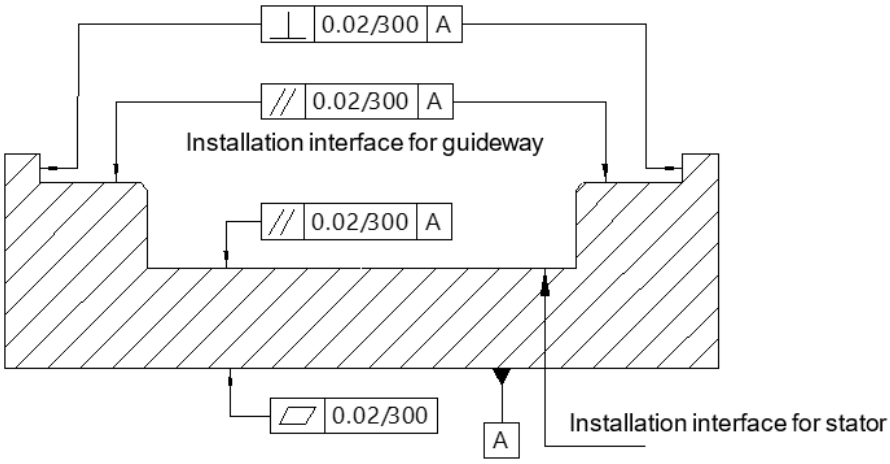
Powyżej w skrócie opisano wybór układu chłodzenia. W przypadku pytań dotyczących wyboru układu chłodzenia zaleca się przekazanie powyższych informacji producentowi tego układu w celu ich dalszego omówienia.

4 Interfejs mechaniczny silnika

4.1 Interfejs zespołu silnika liniowego z rdzeniem żelaznym

Przy montażu należy przestrzegać wymiarów szczeliny pomiędzy forcerem a statorem. Wielkość szczeliny wpływa na wydajność i niezawodność silnika liniowego. Prawidłowo zaprojektowany stół pozycjonujący i właściwa wartość tolerancji poprawią stabilność produktów. Widok przekrojowy typowej podstawy stołu silnika liniowego oraz sugerowana wartość tolerancji przedstawione są poniżej. Płaskość powierzchni styku ze statorem powinna wynosić 0,02 mm na 300 mm (jak pokazano na Rys. 4.1).

Rys. 4.1: Widok przekrojowy podstawy

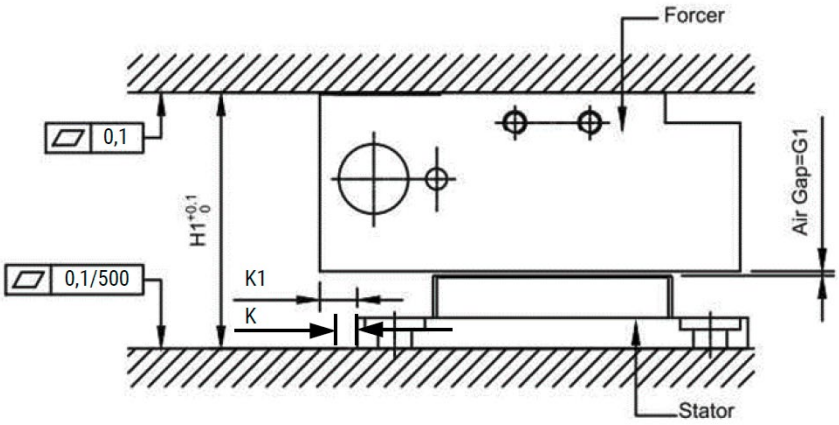


Podczas montażu przestrzegać całkowitej wysokości montażowej H oraz wymiarów szczeliny powietrznej G pomiędzy forcerem a statorem, ponieważ mają one wpływ na wydajność i niezawodność silnika liniowego (zapoznać się ze specyfikacją szczeliny powietrznej dla danej serii silników). Dostępne są dwa rodzaje statorów: z osłoną ze stali nierdzewnej i epoksydowane.

Forcer i stator silnika liniowego z rdzeniem żelaznym generują silnie przyciąganie magnetyczne (wartość siły przyciągania Fa podano w katalogu danej serii silników liniowych). Z tego powodu podczas projektowania interfejsów montażowych zarówno forcera, jak i statora, należy uwzględnić i skompensować odkształcenia powodowane przyciąganiem, aby zapewnić utrzymanie wysokości całkowitej H i szczeliny powietrznej G między forcerem a statorem. W przypadku nieprawidłowej szczeliny powietrznej G spowodowanej odkształceniem konstrukcji lub uszkodzeniem forcera i statora firma HIWIN może odmówić bezpłatnej naprawy lub regulacji w ramach gwarancji.

4.1.1 Silniki liniowe LMSA z rdzeniem żelaznym

Rys. 4.2: Zespół silnika liniowego LMSA z rdzeniem żelaznym



Tab. 4.1: Wymiary zespołu silnika liniowego LMSA z rdzeniem żelaznym

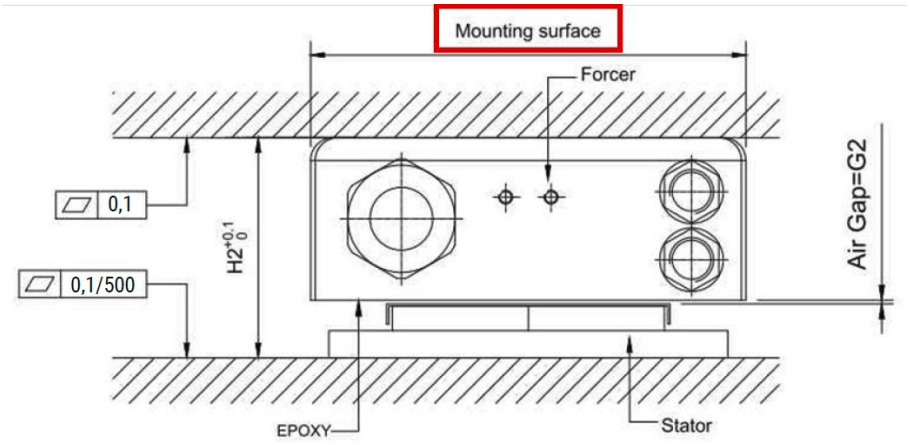
Model	Wymiary (mm)				
	H1	K	K1	G1	
		LMSAxSxEA Epoxy wersja	LMSAxSx Cover wersja	Stator z osłoną nierdzewną	Stator epoksydowany
LMSA1□ LMSA1□-Z	34	5	5,7	0,6 +0,35/-0,25	0,6 ±0,25
LMSA2□ LMSA2□-Z	34	3	3,7		
LMSA3□ LMSA3□-Z	36	3	3,7		
LMSAC□	36	1,75	4,25		

4.1.2 Silniki liniowe LMFA z układem chłodzenia wodą

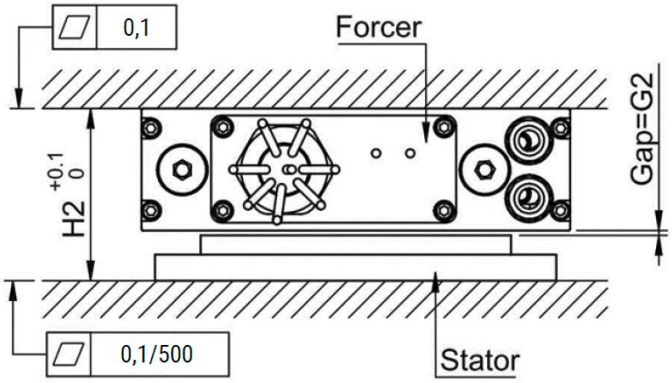
Uwaga:

- Wymiary układu precyzyjnego chłodzenia wodą nie zostały uwzględnione.
- Podczas pomiaru szerokości forcera, ponieważ żywica epoksydowa może rozszerzać się lub kurczyć na skutek zmian temperatury, jak na Rys. 4.3, zaleca się, aby mierzoną powierzchnią była powierzchnia montażowa forcera LMFA.

Rys. 4.3: Zespół silnika liniowego LMFA z układem chłodzenia wodą



Rys. 4.4: Zespół silnika liniowego LMFP z układem chłodzenia wodą

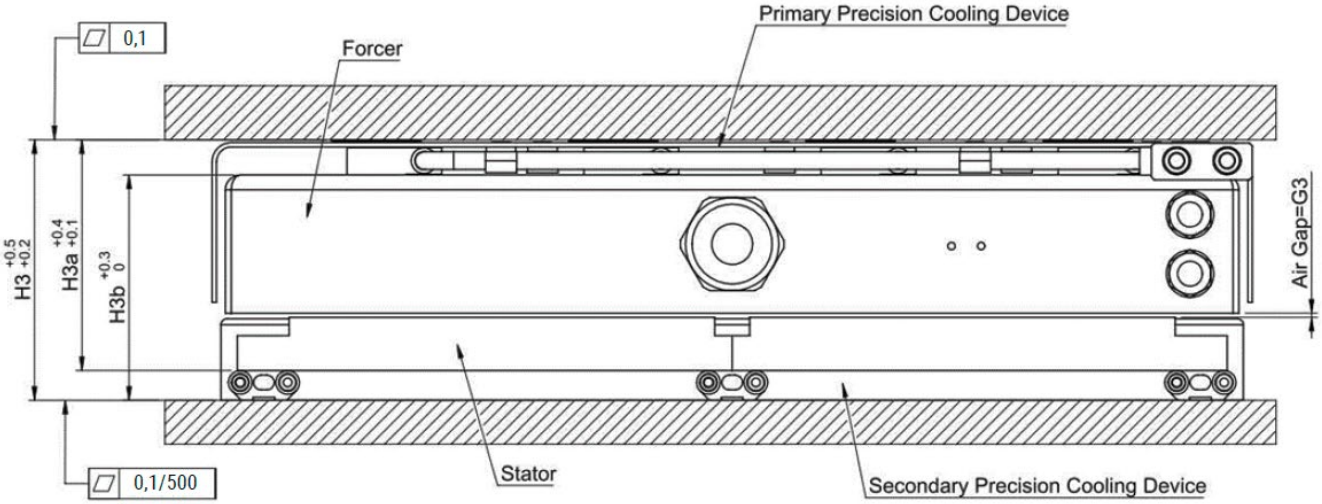


Tab. 4.2: Wymiary zespołu silnika liniowego LMFA/LMFP z układem chłodzenia wodą

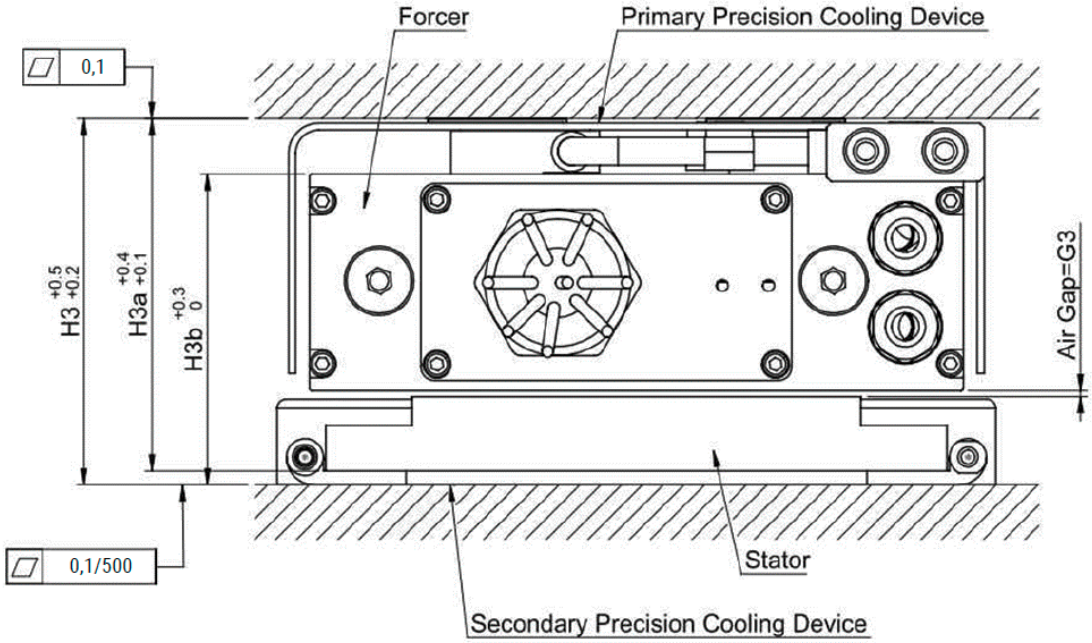
Model	Wymiary (mm)		
	H2	G2	
		Stator z osłoną nierdzewną	Stator epoksydowany
LMFA0□	48,5	0,9 ±0,2	1,4 ±0,2
LMFA1□	48,5		
LMFA2□/LMFP2□	50,5		
LMFA3□/LMFP3□	64,1		
LMFA4□/LMFP4□	66,1		
LMFA5□/LMFP5□	64,1		
LMFA6□/LMFP6□	66,1		

Uwaga:
Z uwzględnieniem wymiarów układu precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC.

Rys. 4.5: Zespół silnika liniowego LMFA z układem precyzyjnego chłodzenia wodą



Rys. 4.6: Zespół silnika liniowego LMFP z układem precyzyjnego chłodzenia wodą



Tab. 4.3: Wymiary zespołu silnika liniowego LMFA/LMFP z układem precyzyjnego chłodzenia wodą

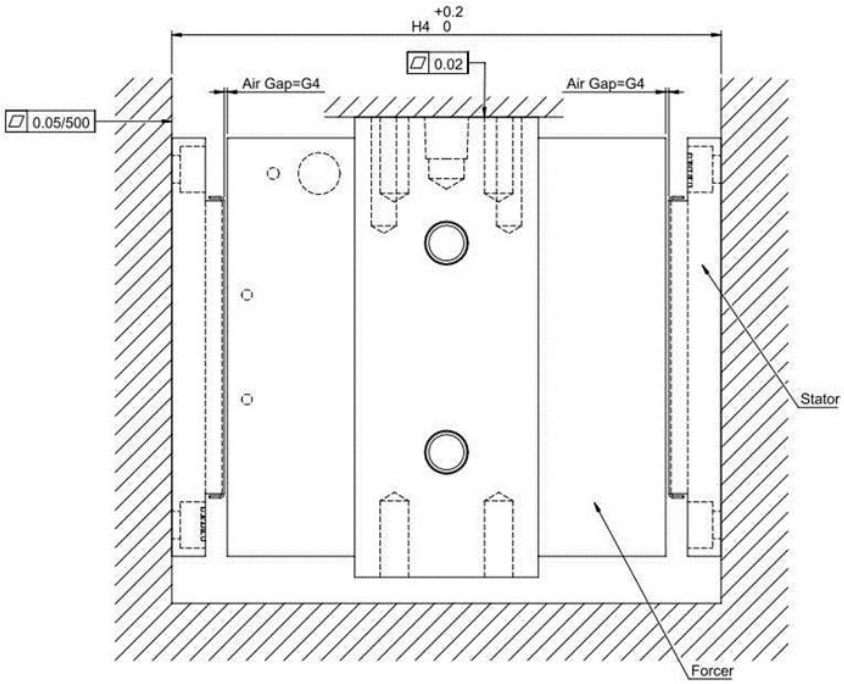
Model	Wymiary (mm)				
	H3	H3a	H3b	G3	
				Stator z osłoną nierdzewną	Stator epoksydowany
LMFA0□	-				
LMFA1□					
LMFA2□					
LMFA3□/LMFP3□	79,0	76	67,1	0,9 ±0,5	1,4 ±0,5
LMFA4□/LMFP4□	81,0	78	69,1		
LMFA5□/LMFP5□	86,0	76	74,1		
LMFA6□/LMFP6□	88,0	78	76,1		

Uwaga:

- H3: Z forcerem, statorem, układem precyzyjnego chłodzenia forcera i statora.
- H3a: Z forcerem, statorem, układem precyzyjnego chłodzenia forcera.
- H3b: Z forcerem, statorem, układem precyzyjnego chłodzenia statora.

4.1.3 Dwustronne silniki liniowe LMSC

Rys. 4.7: Zespół dwustronnego silnika liniowego LMSC

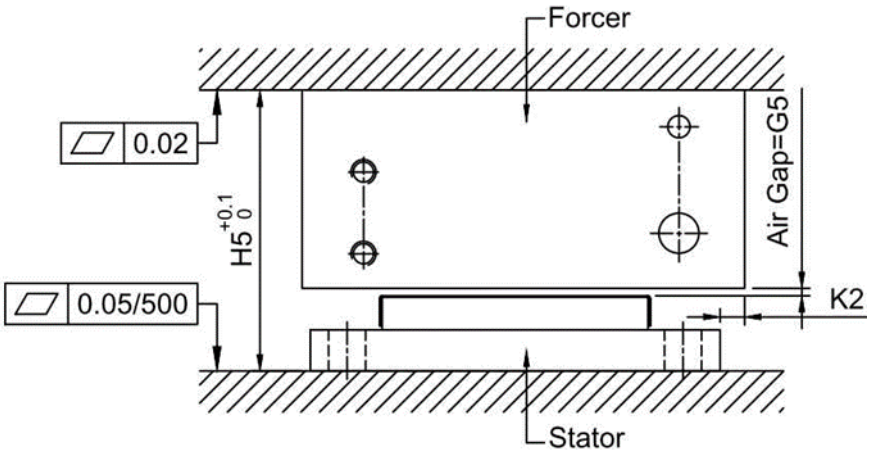


Tab. 4.4: Wymiary zespołu dwustronnego silnika liniowego LMSC

Model	Wymiary (mm)	
	H4	G4
LMSC7	131,5	0,75 $_{+0,35/-0,2}$

4.1.4 Silniki liniowe LMSS z rdzeniem żelaznym

Rys. 4.8: Zespół silnika liniowego LMSS z rdzeniem żelaznym



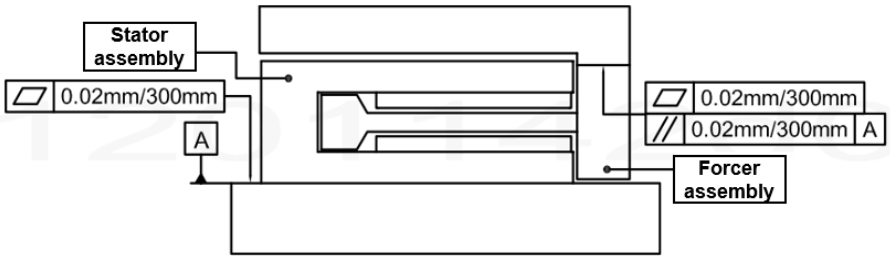
Tab. 4.5: Wymiary zespołu silnika liniowego LMSS z rdzeniem żelaznym

Model	Wymiary (mm)		
	H5	K2	G5
LMSS11	34,3	3	0,9 $_{+0,3/-0,35}$

4.2 Interfejs mechaniczny bezrdzeniowego silnika liniowego (LMC)

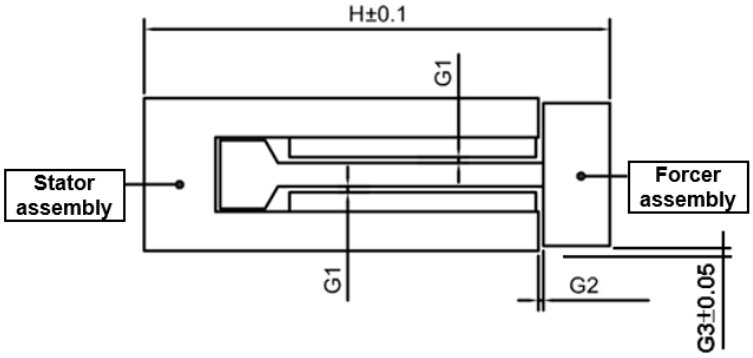
W przypadku powierzchni montażowej (płaszczyzna odniesienia A) bezrdzeniowego silnika liniowego, zalecana dokładność płaszczyzny montażu zespołu statora wynosi 0,02 mm/300 mm, a w przypadku zespołu forcera – 0,02 mm/300 mm, przy czym równoległość względem płaszczyzny odniesienia A również musi wynosić 0,02 mm/300 mm.

Rys. 4.9: Precyzja montażu bezrdzeniowego silnika liniowego



Gdy bezrdzeniowy silnik liniowy jest zainstalowany z zespołem forcera i statora, należy zwrócić szczególną uwagę na wymiary (H, G1, G2 i G3) pomiędzy forcerem i statorem, ponieważ mogą one mieć wpływ na wydajność i niezawodność silnika liniowego. (Wartości H, G1, G2 i G3 – zob. Tab. 4.6.)

Rys. 4.10: Wymiary montażowe bezrdzeniowego silnika liniowego



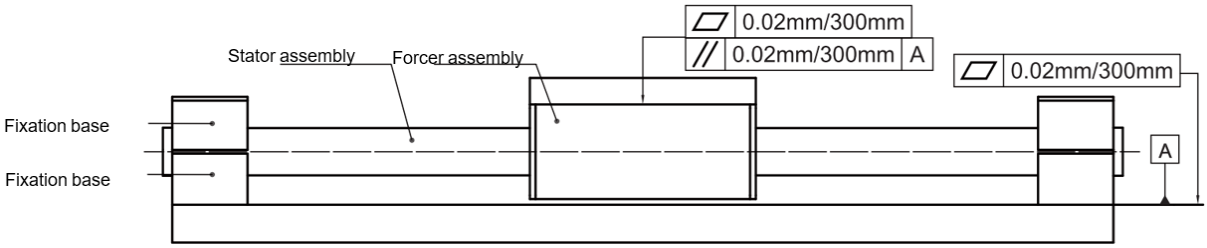
Tab. 4.6: Tabela wymiarów montażowych bezrdzeniowych silników liniowych

Model	Wymiar (mm)			
	H	G1	G2	G3
LMCA	74,5	≥ 0,4	1,0	1,0
LMCB	94,5	≥ 0,4	1,0	1,0
LMCC	117,5	≥ 0,4	1,0	3,0
LMCD	105,0	≥ 0,4	1,2	1,0
LMCE	125,0	≥ 0,4	1,2	1,0
LMCF	172,0	≥ 0,4	1,2	2,3
LMC-EFC	68,5	≥ 0,4	1,3	0,35
LMC-EFE	93,0	≥ 0,4	1,3	0,35
LMC-EFF	122,0	≥ 0,4	1,4	0,50
LMC-HUB	53,0	≥ 0,4	0,5	0,65

4.3 Interfejs mechaniczny tubowego silnika liniowego (LMT)

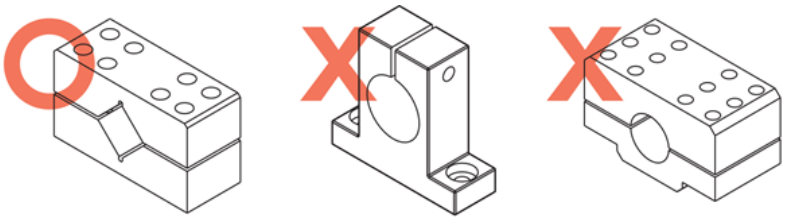
W przypadku powierzchni montażowej (płaszczyzna odniesienia A) znajdującej się pod zespołem statora, zalecana dokładność płaszczyzny montażu zespołu statora wynosi 0,02 mm/300 mm, a w przypadku zespołu forcera – 0,02 mm/300 mm, przy czym równoległość względem płaszczyzny odniesienia A również musi wynosić 0,02 mm/300 mm.

Rys. 4.11: Precyzja geometryczna montażu tubowego silnika liniowego



Zalecanym rozwiązaniem konstrukcyjnym dla podstawy montażowej statora jest zastosowanie bloku z wycięciem w kształcie litery V.

Rys. 4.12: Konstrukcja podstawy mocującej



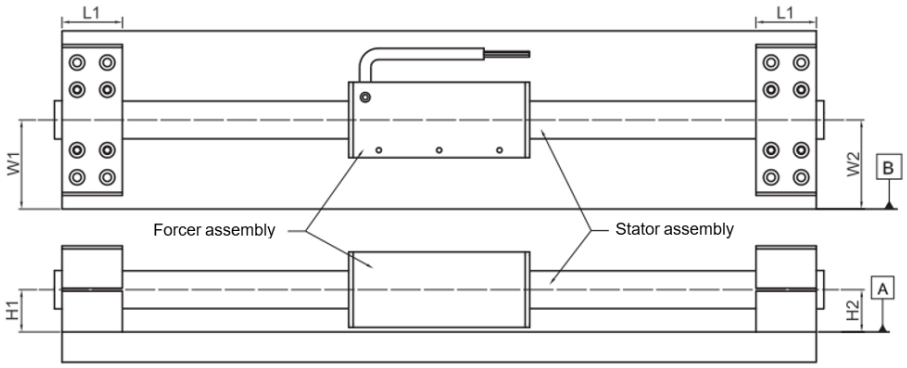
Długość podstawy mocującej (L1) do montażu statora może być różna dla różnych skoków.

Tab. 4.7: Długość podstawy mocującej

Model	LMT2D/LMT2T/LMT2Q		
Skok S (mm)	50 – 350	400 – 800	850 – 1050
L1 (mm)	25	40	60
Model	**LMT6D/LMT6T/LMT6Q**		
Skok S (mm)	100 – 350	400 – 800	850 – 1050
L1 (mm)	25	40	60
Model	**LMTA2/LMTA3/LMTA4**		
Skok S (mm)	100 – 300	350 – 700	750 – 1550
L1 (mm)	25	40	60
Model	**LMTB2/LMTB3/LMTB4**		
Skok S (mm)	100 – 700	750 – 1300	1350 – 1550
L1 (mm)	50	70	100
Model	**LMTC2/LMTC3/LMTC4**		
Skok S (mm)	100 – 750	800 – 1500	1550 – 2000
L1 (mm)	50	70	100

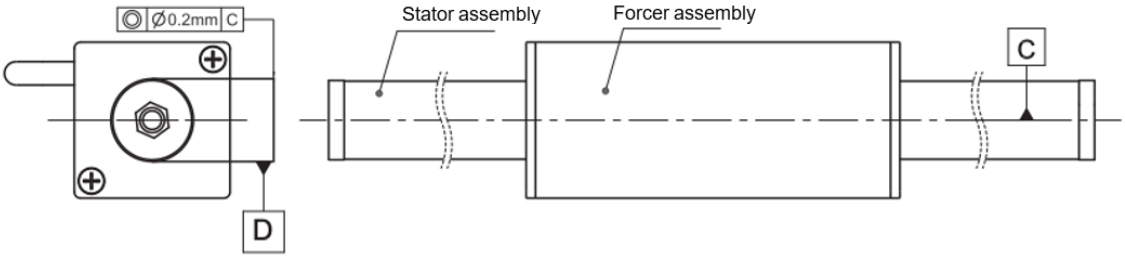
Wymiary H1 i H2 odnoszą się do odległości od płaszczyzny odniesienia A do środka zespołu statora. Zaleca się, aby po zamontowaniu zespołu statora różnica wysokości nie przekraczała 0,2 mm. Wymiary W1 i W2 odnoszą się do odległości od płaszczyzny odniesienia B do środka zespołu statora. Zaleca się, aby po zamontowaniu zespołu statora różnica wysokości nie przekraczała 0,2 mm; $|H1-H2| \leq 0{,}2$ mm; $|W1-W2| \leq 0{,}2$ mm (jak pokazano na Rys. 4.13).

Rys. 4.13: Wymiary montażowe zespołu statora



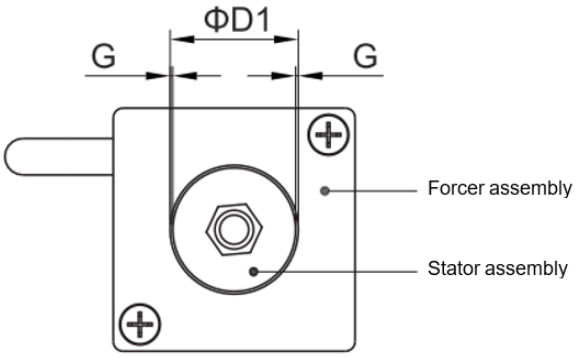
Punkt odniesienia C odnosi się do środka zespołu statora, a punkt odniesienia D – do osi środkowej zespołu forcera. Zaleca się, aby po zamontowaniu zespołów forcera i statora współosiowość punktów odniesienia C i D nie była większa niż 0,2 mm (jak pokazano na Rys. 4.14).

Rys. 4.14: Tolerancja geometryczna wysokości montażowej zespołów forcera i statora



Podczas montażu zespołu forcera i statora należy zwrócić szczególną uwagę na wymiar (G) pomiędzy forcerem i statorem, ponieważ może on mieć wpływ na działanie i niezawodność silnika liniowego (jak pokazano na Rys. 4.15). (Wartości G, ΦD1są takie jak pokazano w Tab. 4.8).

Rys. 4.15: Dokładność wymiarów montażowych forcera i statora

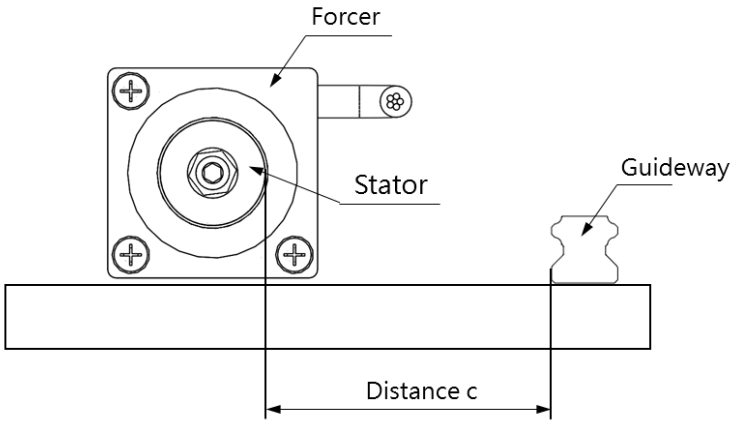


Tab. 4.8: Wymiary montażowe

Model	Wymiary (mm)	
	ø D1	G
LMT2	13	0,25 – 0,50
LMT6	16	0,25 – 0,50
LMTA	21,5	0 375 – 0,75
LMTB	26,5	0 375 – 0,75
LMTC	37	0,50 – 1,00

Prowadnica jest elementem magnetycznym, który może łatwo generować siłę przyciągania względem statora. Aby uniknąć odkształcenia statora przez siłę przyciągania i problemów z montażem, należy zachować odległość montażową (c) jak pokazano na Rys. 4.16 i w Tab. 4.9.

Rys. 4.16: Odległość montażowa przy montażu prowadnicy

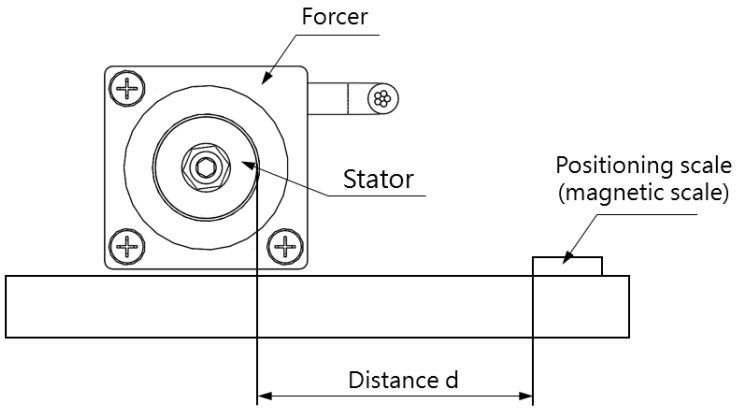


Tab. 4.9: Odstęp montażowy

Seria	LMT2	LMT6	LMTA	LMTB	LMTC
c (mm)	≥ 30	≥ 30	≥ 40	≥ 50	≥ 80

Podczas montażu przetwornika magnetycznego należy zachować odległość montażową (d) pokazaną na Rys. 4.17 i w Tab. 4.10, w przeciwnym razie zbyt silne pole magnetyczne łatwo spowoduje zakłócenia pozycjonowania.

Rys. 4.17: Odległość montażowa przy montażu przetwornika magnetycznego



Tab. 4.10: Odstęp montażowy

Seria	LMT2	LMT6	LMTA	LMTB	LMTC
d (mm)	≥ 40	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 100

4.4 Równoległość forcera

Silniki liniowe mogą być zamontowane współosiowo z wieloma zestawami ustawionych równolegle forcerów. W przypadku montażu równoległego wielu zestawów forcerów należy potwierdzić, że modele silników są identyczne. Ponadto montaż powinien być wykonany z zachowaniem kierunku wyjściowego i odległości (ΔX), aby zapewnić, że fazy silnika liniowego są takie same. Zależność odległości od kierunku wyjść dla każdego silnika montowanego szeregowo zostanie wyjaśniona bardziej szczegółowo w dalszej części rozdziału. Obliczenia parametrów dla równoległego układu silników znajdują się w Tab. 4.10.

Tab. 4.11: Obliczanie parametrów dla równoległego układu silników

	Pojedyncza jednostka	2 jednostki równoległe	3 jednostki równoległe	4 jednostki równoległe
Opór (Ω)	A	A/2	A/3	A/4
Indukcyjność (mH)	B	B/2	B/3	B/4
Stała siłowa (N/Arms)	C	C	C	C
Stała napięciowa silnika (Vrms/(m/s))	D	D	D	D
Prąd ciągły (Arms)	E	E*2	E*3	E*4
Prąd szczytowy (Arms)	F	F*2	F*3	F*4
Siła ciągła (N)	G	G*2	G*3	G*4
Siła szczytowa (N)	H	H*2	H*3	H*4

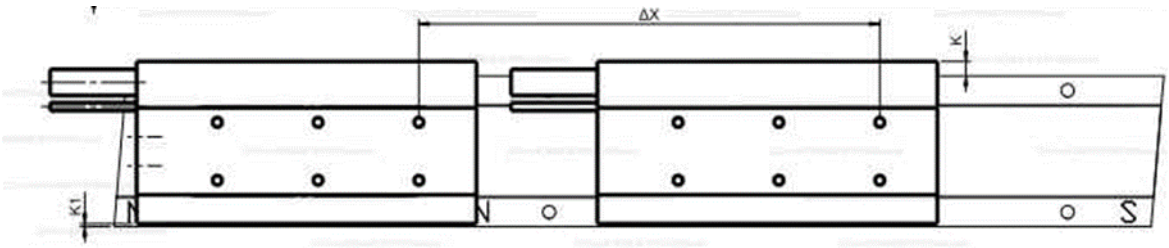
4.4.1 Kierunek ruchu silnika liniowego

Definicja kierunku dodatniego silnika liniowego jest następująca:
Przy kolejności faz U/V/W początkowym kierunkiem ruchu jest kierunek dodatni.
Zob. część 9.2, „Kierunek ruchu silnika liniowego”.

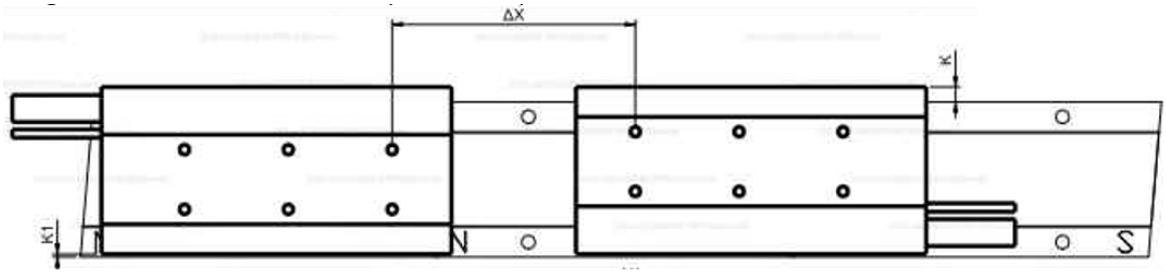
4.4.2 Silniki liniowe LMSA

Rys. 4.18: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMSA/LMSA-Z

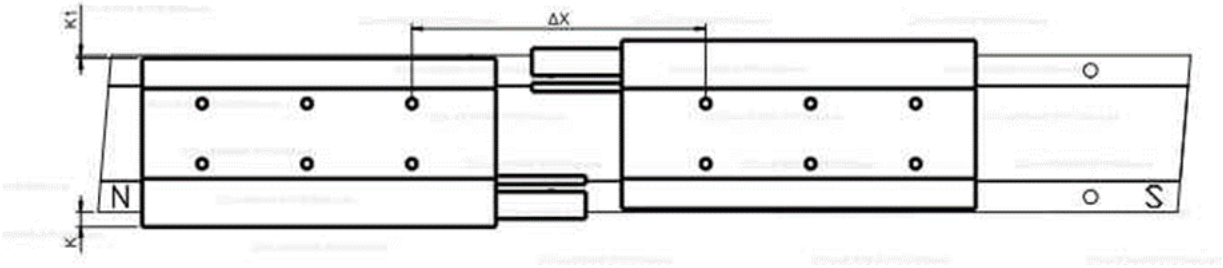
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



Tab. 4.12: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMSA/LMSA

LMSA/LMSA-Z	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik 1	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik 2	U	V	W	W	V	U	W	V	U
ΔX (2P = 30 mm)	n × 2P (n jest liczbą całkowitą)			65 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)			65 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)		

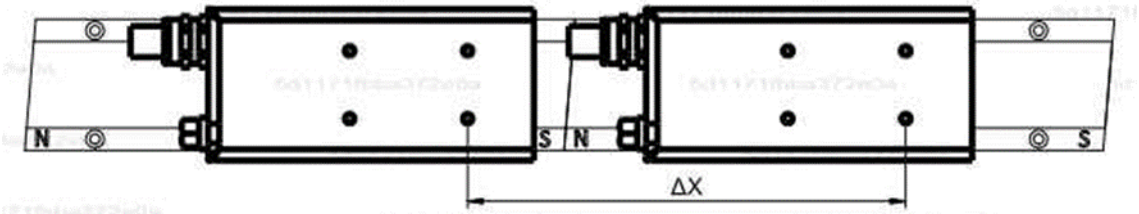
Tab. 4.13: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMSA-G

LMSA-G	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik 1	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik 2	U	V	W	W	V	U	W	V	U
ΔX (2P = 30 mm)	n × 2P (n jest liczbą całkowitą)			82 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)			83 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)		

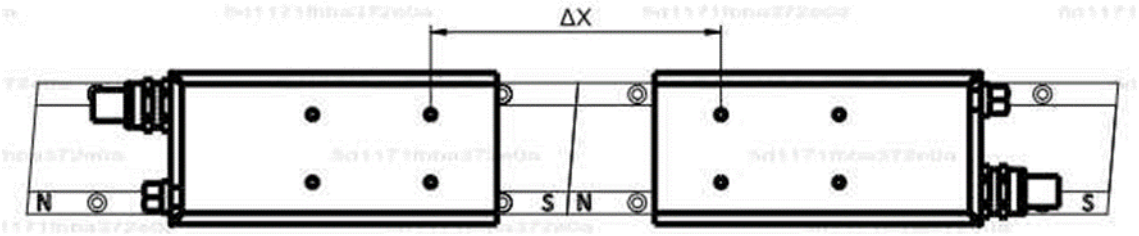
4.4.3 Silniki liniowe LMFA/LMFP z układem chłodzenia wodą

Rys. 4.19: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMFA/LMFP

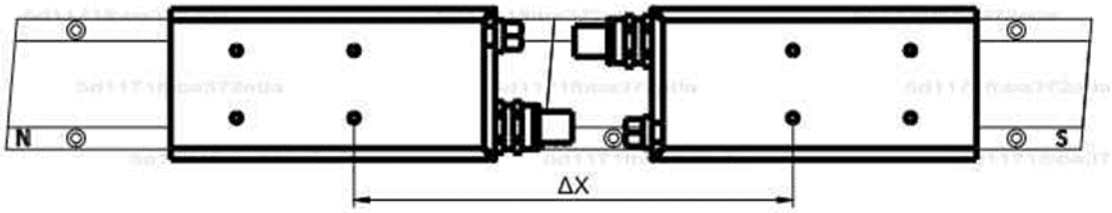
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



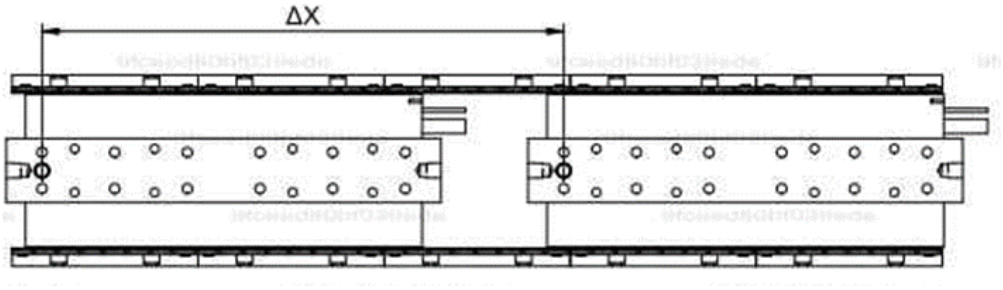
Tab. 4.1: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMFA/LMFP

LMFA/LMFP	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz			Model
Silnik 1	U	V	W	U	V	W	U	V	W	
Silnik 2	U	V	W	W	V	U	W	V	U	
ΔX (2P = 30 mm)	n × 2P (n jest liczbą całkowitą)			82,5 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)			322,5 + n × 2P (n = 0, 1, 2… itd.)			Seria LMFA0–2 Seria LMFP24
ΔX (2P = 46 mm)	n × 2P (n jest liczbą całkowitą)			127 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)			402 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)			Seria LMFA3–6 Seria LMFP3–6

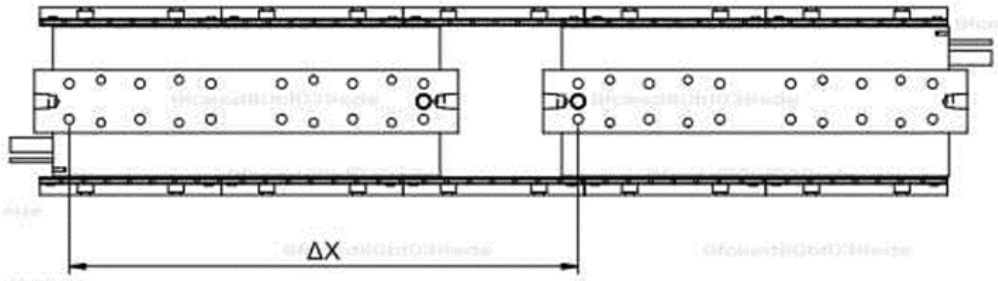
4.4.4 Silniki liniowe LMSC z hamulcem magnetycznym

Rys. 4.20: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMSC

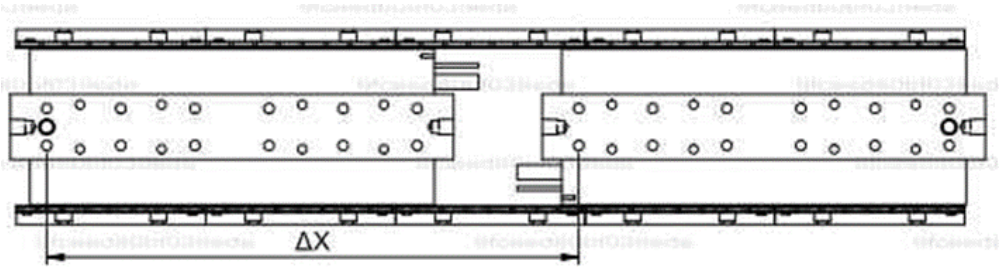
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



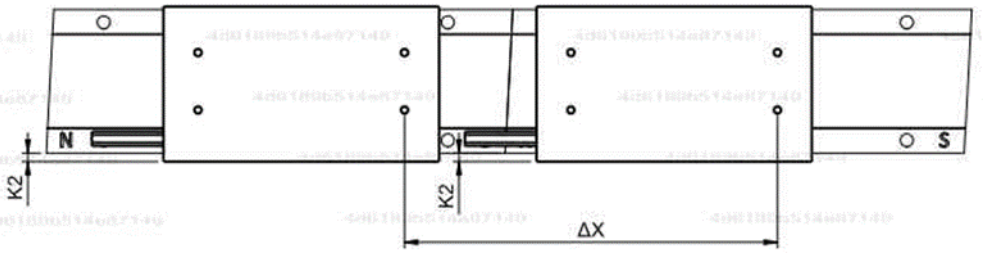
Tab. 4.14: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMSC

LMSC	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik 1	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik 2	U	V	W	W	V	U	W	V	U
ΔX (2P = 32 mm)	320 + n × 2P (n = 1, 2, 3... itd.)								

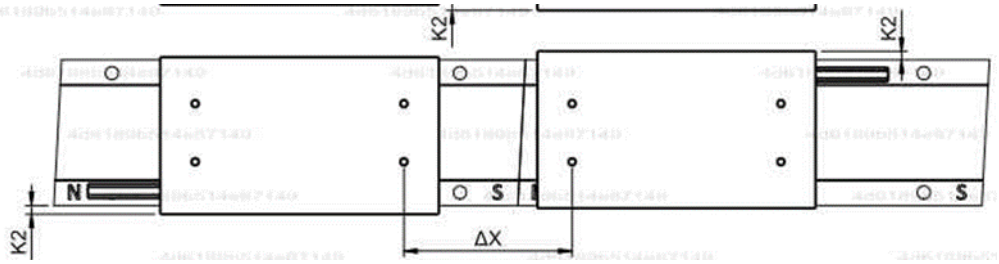
4.4.5 Silniki liniowe LMSS

Rys. 4.21: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMSS

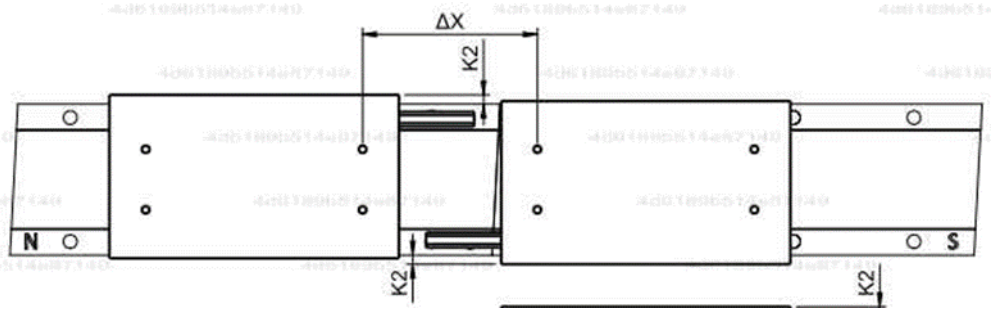
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



Tab. 4.15: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMSS

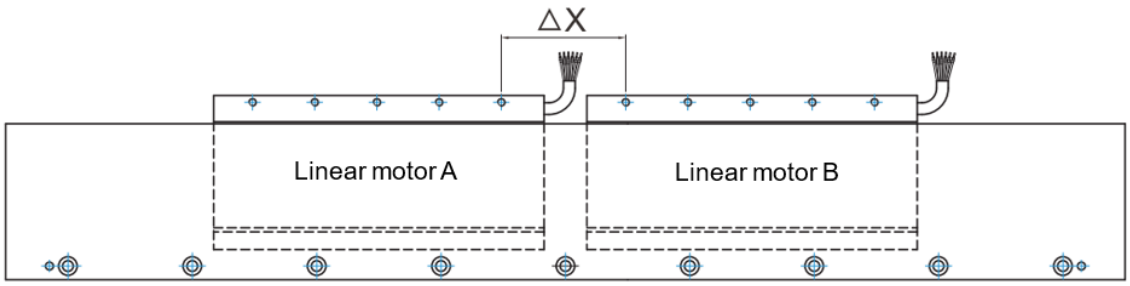
LMSS	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik 1	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik 2	U	V	W	W	V	U	W	V	U
ΔX (2P = 20 mm)	n × 2P (n jest liczbą całkowitą)			35 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)			81 + n × 2P (n = 0, 1, 2... itd.)		

4.4.6 Bezrdzeniowe silniki liniowe LMC

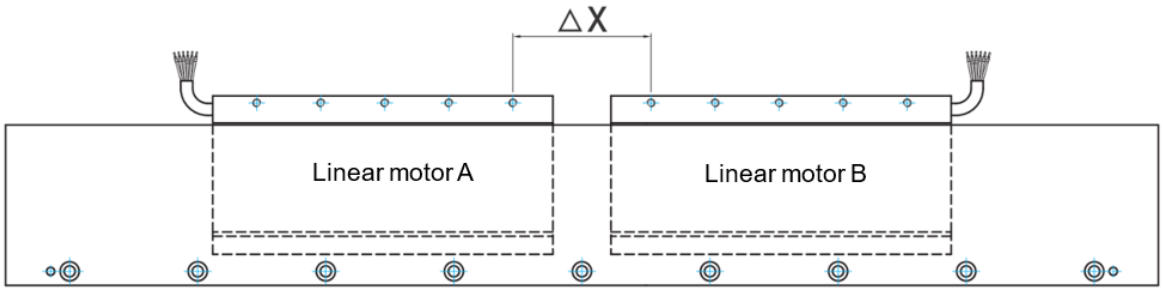
Seria LMC A/B/C/D/E/F

Rys. 4.22: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMC A/B/C/D/E/F

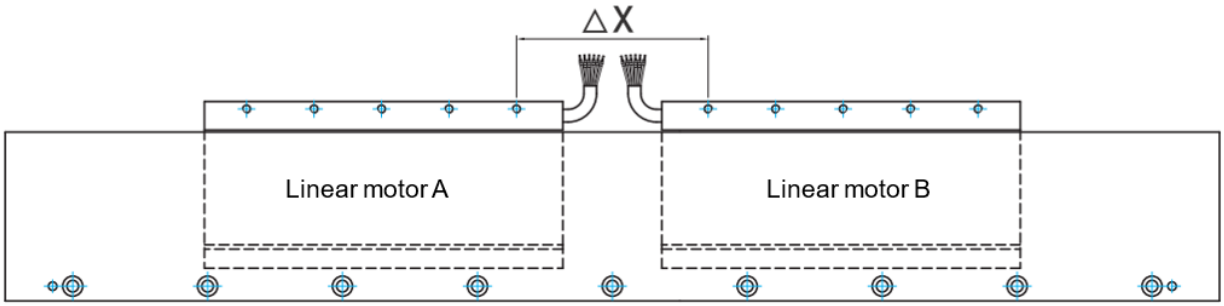
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



Tab. 4.16: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMC A/B/C

LMCA/B/C	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik liniowy A	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	W	V	U	W	V	U
ΔX (2P = 32 mm)	32 + n × 2P (n = 1, 2…)			18 + n × 2P (n = 1, 2…)			46 + n × 2P (n = 1, 2…)		

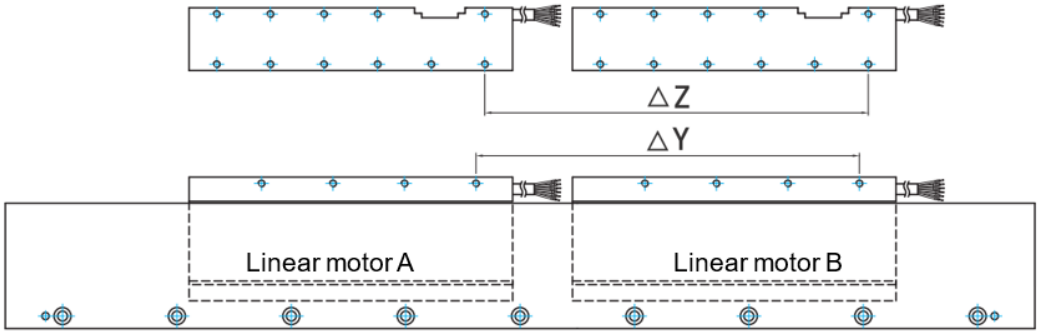
Tab. 4.17: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMC D/E/F

LMC D/E/F	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik liniowy A	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	U	W	V	V	U	W
ΔX (2P = 60 mm)	60 + n × 2P (n = 1, 2…)			50 + n × 2P (n = 0, 1, 2…)			50 + n × 2P (n = 0, 1, 2…)		

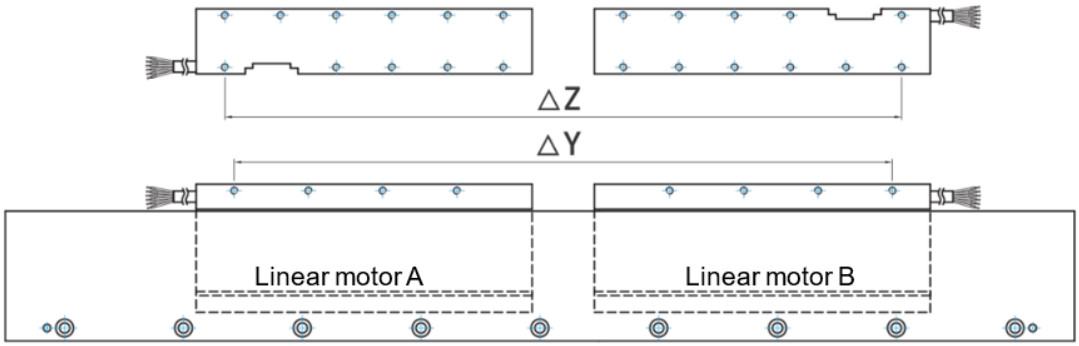
Seria LMC-EF

Rys. 4.23: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMC-EF

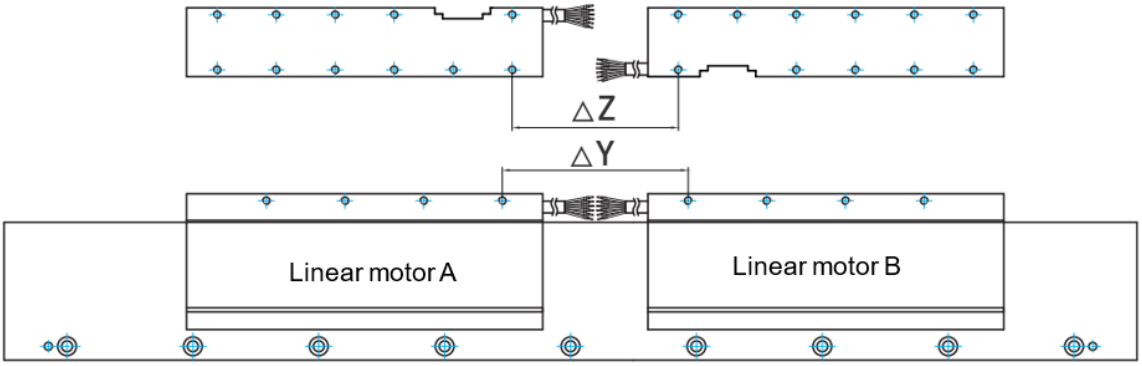
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



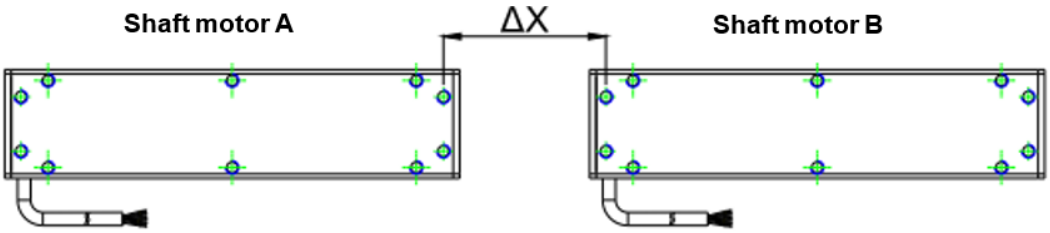
Tab. 4.18: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMC-EF

LMC-EFC	Z tej samej strony			Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik liniowy A	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	U	W	V	V	U	W
ΔY (2P = 60 mm)	n × 2P			90 + n × 2P			10 + n × 2P		
ΔZ	n × 2P			100 + n × 2P			n × 2P		
ΔZ	LMC-EFC1 : n = 2, 3, 4… LMC-EFC2 : n = 3, 4, 5… LMC-EFC3 : n = 4, 5, 6… LMC-EFC4 : n = 5, 6, 7…			LMC-EFC1 : n = 0, 1, 2… LMC-EFC2 : n = 2, 3, 4… LMC-EFC3 : n = 4, 5, 6… LMC-EFC4 : n = 6, 7, 8…			n = 2, 3, 4…		
LMC-EFE	**Z tej samej strony**			**Na zewnątrz**			**Do wewnątrz**		
Silnik liniowy A	U	V	W	U	V	W	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	U	W	V	V	U	W
ΔY (2P = 60 mm)	n × 2P			90 + n × 2P			10 + n × 2P		
ΔZ	n × 2P			99 + n × 2P			1 + n × 2P		
n	LMC-EFE1 : n = 2, 3, 4… LMC-EFE2 : n = 3, 4, 5… LMC-EFE3 : n = 4, 5, 6… LMC-EFE4 : n = 5, 6, 7… LMC-EFE5 : n = 6, 7, 8… LMC-EFE6 : n = 7, 8, 9…			LMC-EFE1 : n = 0, 1, 2… LMC-EFE2 : n = 2, 3, 4… LMC-EFE3 : n = 4, 5, 6… LMC-EFE4 : n = 6, 7, 8… LMC-EFE5 : n = 8, 9, 10… LMC-EFE6 : n = 10, 11, 12…			n = 2, 3, 4…		

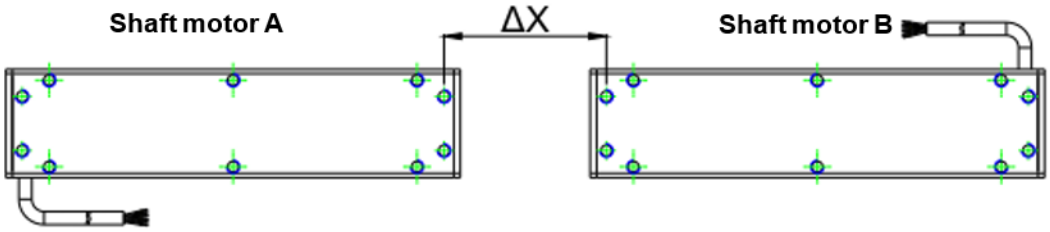
4.4.7 Tubowe silniki liniowe LMT

Rys. 4.24: Przekładowe połączenie równoległe silników liniowych LMT

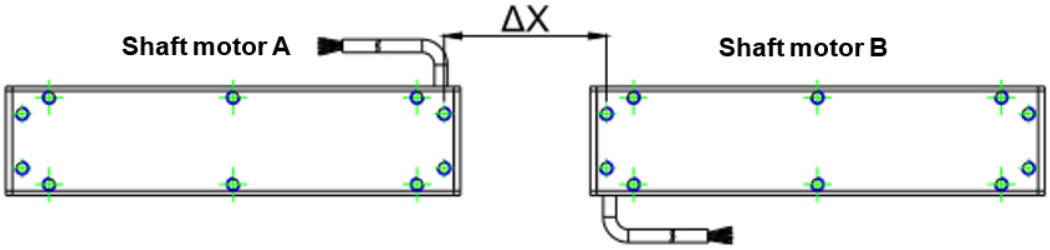
Wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku (z tej samej strony)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (na zewnątrz)



Wyjścia kablowe ustawione w przeciwnym kierunku (do wewnątrz)



Tab. 4.19: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMT, wyjścia kablowe ustawione w tym samym kierunku

LMT 2D/2Q	Z tej samej strony			LMT 2T	Z tej samej strony		
Silnik liniowy A	U	V	W	Silnik liniowy A	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	Silnik liniowy B	U	V	W
ΔX (2P = 48 mm)	n × 2P – 8,2 (n = 1, 2, 3…)			ΔX (P = 24 mm)	(2n - 1) × P – 8,2 (n = 1, 2, 3…)		
LMT 6D/6Q	**Z tej samej strony**			**LMT 6T**	**Z tej samej strony**		
Silnik liniowy A	U	V	W	Silnik liniowy A	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	Silnik liniowy B	U	V	W
ΔX (2P = 60 mm)	n × 2P – 10,5 (n = 1, 2, 3…)			ΔX (P = 30 mm)	(2n - 1) × P – 10,5 (n = 1, 2, 3…)		
LMT A2/A4	**Z tej samej strony**			**LMT A3**	**Z tej samej strony**		
Silnik liniowy A	U	V	W	Silnik liniowy A	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	Silnik liniowy B	U	V	W
ΔX (2P = 72 mm)	n × 2P - 12 (n = 1, 2, 3…)			ΔX (P = 36 mm)	(2n - 1) × P - 12 (n = 1, 2, 3…)		
LMT B2/B4	**Z tej samej strony**			**LMT B3**	**Z tej samej strony**		
Silnik liniowy A	U	V	W	Silnik liniowy A	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	Silnik liniowy B	U	V	W
ΔX (2P = 90 mm)	n × 2P - 15 (n = 1, 2, 3…)			ΔX (P = 45 mm)	(2n - 1) × P - 15 (n = 1, 2, 3…)		
LMT C2/C4/C6	**Z tej samej strony**			**LMT C3/C5**	**Z tej samej strony**		
Silnik liniowy A	U	V	W	Silnik liniowy A	U	V	W
Silnik liniowy B	U	V	W	Silnik liniowy B	U	V	W
ΔX (2P = 120 mm)	n × 2P - 20 (n = 1, 2, 3…)			ΔX (P = 60 mm)	(2n - 1) × P - 20 (n = 1, 2, 3…)		

Tab. 4.20: Schemat połączeń dla równoległego układu silników LMT, wyjścia kablowe ustawione w tym przeciwnym kierunku

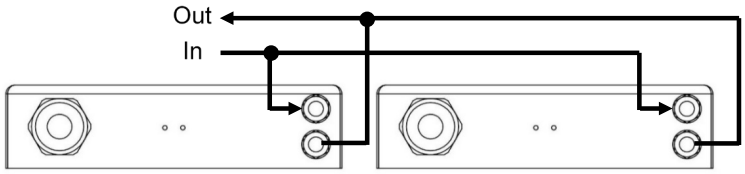
Seria LMT 2	Na zewnątrz			Do wewnątrz		
Silnik liniowy A	U	V	W	V	U	W
Silnik liniowy B	V	U	W	U	V	W
ΔX (2P = 48 mm)	n × 2P – 8,2 (n = 1, 2, 3…)					
Seria LMT 6	**Na zewnątrz**			**Do wewnątrz**		
Silnik liniowy A	U	V	W	V	U	W
Silnik liniowy B	V	U	W	U	V	W
ΔX (2P = 60 mm)	n × 2P – 10,5 (n = 1, 2, 3…)					
Seria LMT A	**Na zewnątrz**			**Do wewnątrz**		
Silnik liniowy A	U	V	W	V	U	W
Silnik liniowy B	V	U	W	U	V	W
ΔX (2P = 72 mm)	n × 2P - 12 (n = 1, 2, 3…)					
Seria LMT B	**Na zewnątrz**			**Do wewnątrz**		
Silnik liniowy A	U	V	W	V	U	W
Silnik liniowy B	V	U	W	U	V	W
ΔX (2P = 90 mm)	n × 2P - 15 (n = 1, 2, 3…)					
Seria LMT C	**Na zewnątrz**			**Do wewnątrz**		
Silnik liniowy A	U	V	W	V	U	W
Silnik liniowy B	V	U	W	U	V	W
ΔX (2P = 120 mm)	n × 2P - 20 (n = 1, 2, 3…)					

4.5 Układ przewodów chłodzących w silniku LMFA/LMFP chłodzonym wodą

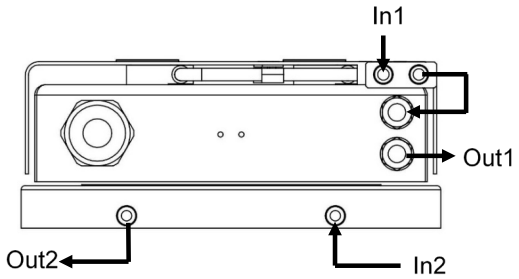
W przypadku zastosowania większej liczby silników liniowych, przewody chłodzące silnika muszą być zainstalowane w sposób równoległy, jak pokazano na Rys. 4.25 (wlot lewego silnika jest połączony z wlotem prawego silnika; wyloty są połączone w ten sam sposób). W przypadku zastosowania układu precyzyjnego chłodzenia wodą podłączenie przewodów wygląda jak pokazano na Rys. 4.26. Informacje na temat łączenia wielu układów precyzyjnego chłodzenia wodą można znaleźć na Rys. 4.27.

Zalecenie: Oddzielenie od siebie układów precyzyjnego chłodzenia wodą forcera i statora pozwala uzyskać większą skuteczność chłodzenia.

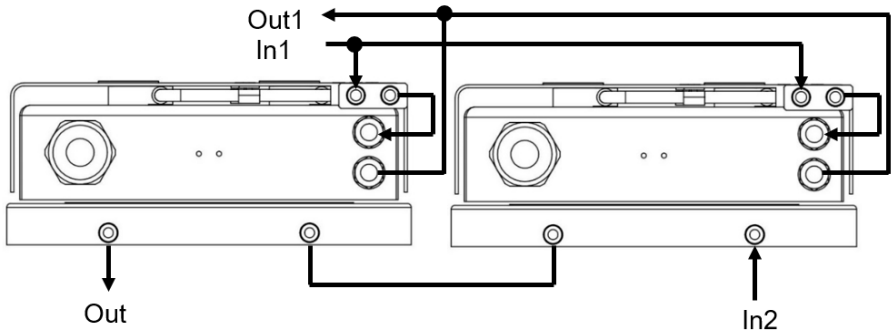
Rys. 4.25: Rozmieszczenie przewodów chłodzenia silnika



Rys. 4.26: Rozmieszczenie przewodów układów precyzyjnego chłodzenia wodą



Rys. 4.27: Rozmieszczenie przewodów wielu układów precyzyjnego chłodzenia wodą

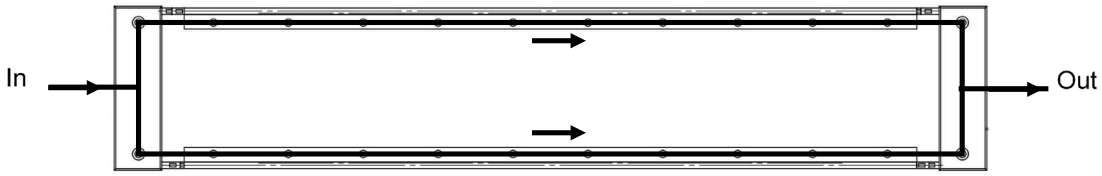


4.6 Silnik LMFA/LMFP chłodzony wodą z układem precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC

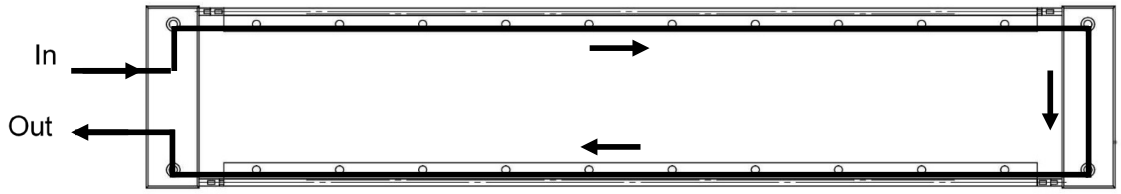
W przypadku silników liniowych LMFA/LMFP z układem precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC charakterystyka silnika podana na rysunkach i w specyfikacji silnika chłodzonego wodą firmy HIWIN odnosi się do sytuacji, w której chłodzenie wodą jest aktywne, a temperatura chłodziwa wynosi 20°C. Silnik chłodzony wodą może być również chłodzony olejem, przy czym wydajność silnika można wówczas odpowiednio dostosować do charakterystyki chłodziwa.

Warunki chłodzenia określone w specyfikacji silnika odnoszą się do pracy ciągłej, gdy stator silnika generuje siłę ciągłą, zapewniając w ten sposób kontrolę temperatury cewki i utrzymanie jej poniżej 120°C. Wydajność układu precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC określa się w ten sposób, że temperatura powierzchni układu precyzyjnego chłodzenia wodą nie może być wyższa od ustawionej temperatury wylotowej urządzenia chłodzącego o więcej niż 4°C. Precyzyjny układ chłodzenia statora wodą LMFC jest dostępny w dwóch wersjach, przy czym wersja LMFC3–6 posiada standardowy układ przewodów chłodzących, jak pokazano na Rys. 4.28; zaś wersja LMFC3–4 posiada układ przewodów z przepływem zwrotnym, jak pokazano na Rys. 4.29.

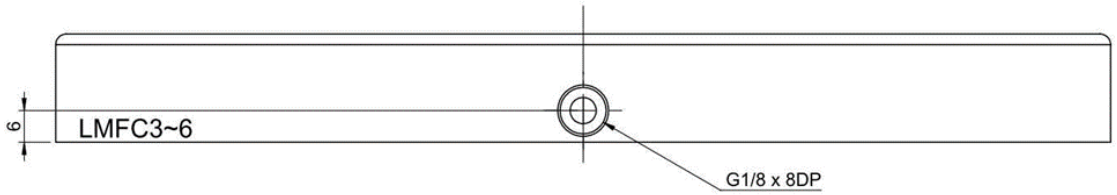
Rys. 4.28: Standardowe rozmieszczenie przewodów układu chłodzenia wodą



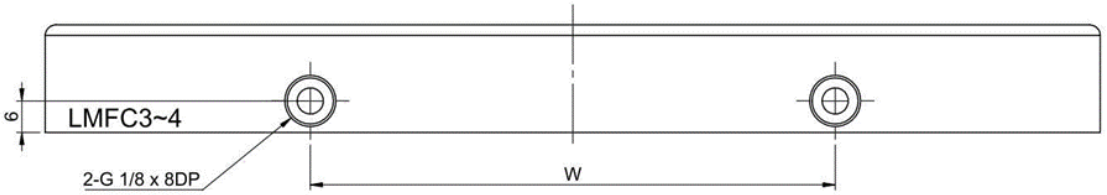
Rys. 4.29: Rozmieszczenie przewodów układu chłodzenia wodą z przepływem zwrotnym



Rys. 4.30: Interfejs montażowy dla wersji standardowej



Rys. 4.31: Interfejs montażowy dla wersji z przepływem zwrotnym

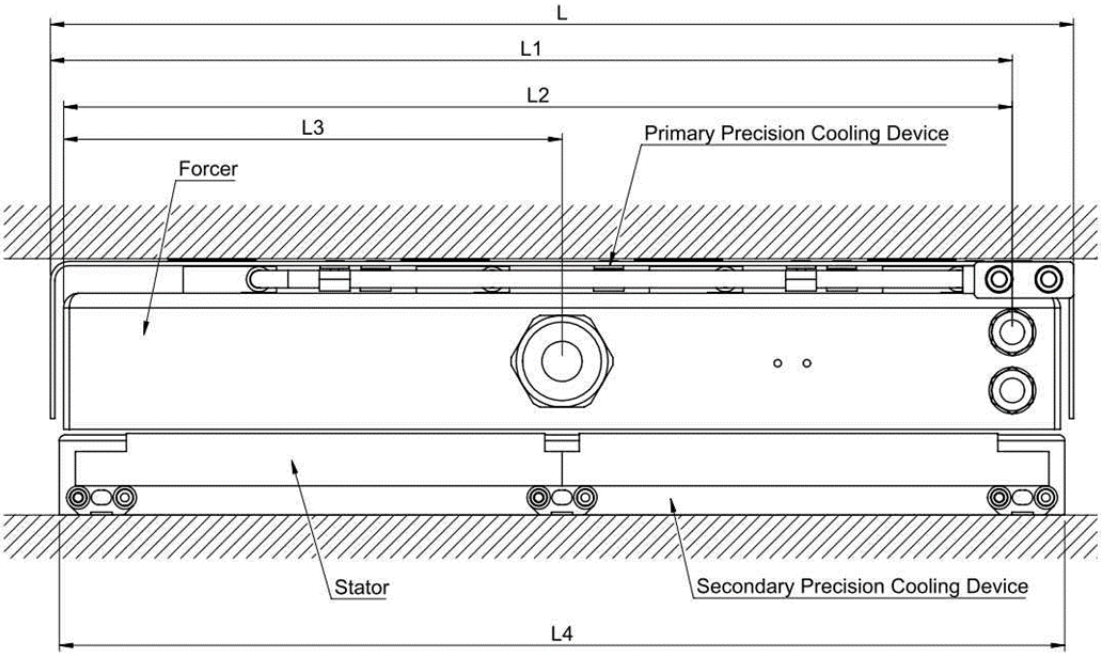


Tab. 4.21: Typ wymiarów montażowych układu z przepływem zwrotnym

Model	Wymiary (mm)
	W
LMFC3□	50
LMFC4□	100

Poniżej przedstawiono rysunek montażowy silnika liniowego z układem precyzyjnego chłodzenia wodą LMFC

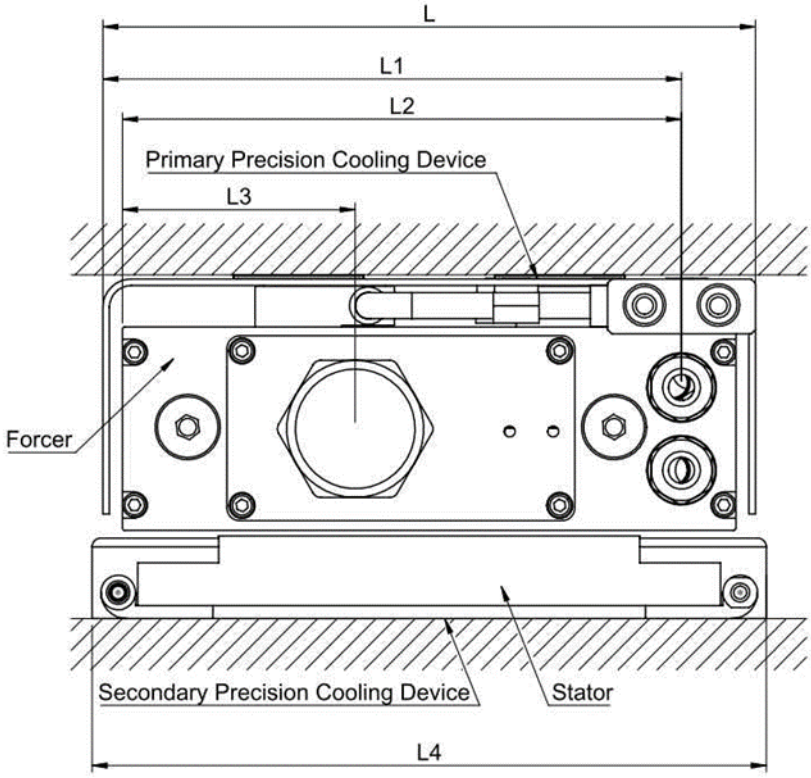
Rys. 4.32: Rysunek montażowy silnika liniowego LMFA z układem precyzyjnego chłodzenia wodą



Tab. 4.22: Wymiary montażowe układu precyzyjnego chłodzenia wodą LMFA

Model	Wymiary (mm)				
	L	L1	L2	L3	L4
LMFC0□	-				
LMFC1□					
LMFC2□					
LMFC3□	150	131	126,5	30	155
LMFC4□	197	178	173,5	30	201
LMFC5□	257	236	231,5	124	251
LMFC6□	351	330	325,5	171	345

Rys. 4.33: Rysunek montażowy silnika liniowego LMFP z układem precyzyjnego chłodzenia wodą



Tab. 4.23: Wymiary montażowe układu precyzyjnego chłodzenia wodą LMFP

Model	Wymiary (mm)				
	L	L1	L2	L3	L4
LMFC0□	-				
LMFC1□					
LMFC2□					
LMFC3□	150	133	128,5	53,5	155
LMFC4□	197	180	175,5	53,5	201
LMFC5□	257	240	235,5	53,5	251
LMFC6□	351	334	329,5	53,5	345

4.7 Materiał przewodów chłodzących

Tab. 4.24: Tabela materiałów przewodów chłodzących

Pozycja	Materiał
Silnik liniowy LMFA chłodzony wodą	Cu (SF-Cu), SUS303 (1.4305), Viton
Układ LMFC precyzyjnego chłodzenia forcera wodą	A6061 (AlMgSi0.5), SUS304 (1.4301), Viton
Układ LMFC precyzyjnego chłodzenia statora wodą	A6061 (AlMgSi0.5), SUS303 (1.4305), Viton

4.8 Chłodziwo do silników liniowych chłodzonych wodą

Uwaga! Ryzyko związane z temperaturą roboczą.

Uważać na parametry otoczenia układu chłodzenia, aby uniknąć uszkodzeń.

- Nie używać układu chłodzenia w mroźnym lub oblodzonym otoczeniu
- Nie używać nieuzdatnionej wody, gdyż może to spowodować poważne uszkodzenia lub awarię

Klient może sam zdecydować, jaki system chłodzenia i jakie chłodziwo zastosować, jednak musi przy tym przestrzegać poniższych wymagań.

- Jako chłodziwa zaleca się stosowanie wody nie powodującej korozji.
- Chłodziwo musi być wcześniej oczyszczone lub przefiltrowane, aby zapobiec zablokowaniu obiegu chłodzącego.
- Maksymalna dopuszczalna wielkość cząstek w chłodziwie wynosi 100 µm.
- Chłodziwo musi być kompatybilne z materiałem o-ringów, aby uniknąć zanieczyszczenia.
- Zalecane dodatki:
  - Glikol etylenowy (termoczułość)
  - Glikol etylenowy z 20% – 30% zmiękczonej wody
  - Woda z dodatkiem 3% oleju Panolin
  - Woda z dodatkiem 10% – 20% środka Tyfocor
  - Woda z 30% środka Clysantin
  - Olej o lepkości 7 cst

Woda, która jest używana jako podstawa chłodziwa, musi spełniać co najmniej następujące wymagania:

- Stężenie chlorków: $c < 100$ mg/l
- Stężenie siarczanów: $c < 100$ mg/l
- $6{,}5 \leq$ wartość pH $\leq 9{,}5$

W przypadku dodatkowych wymagań należy skontaktować się z producentem środka antykorozyjnego!

5 Montaż silnika

5.1 Montaż silnika liniowego z rdzeniem żelaznym

Etykieta ostrzegawcza zespołu statora

⚠ **Przestroga!** Silne pole magnetyczne!

Osoby z rozrusznikiem serca lub metalowymi implantami nie powinny zbliżać się do silnika!

Podczas pracy występuje ryzyko odniesienia obrażeń dłoni.

Nie obsługiwać silnika za pomocą żelaznych narzędzi.

W przypadku znalezienia się zbyt blisko silnika karty kredytowe, karty bankomatowe, magnetyczne nośniki danych, zegarki na rękę itp. mogą ulec uszkodzeniu.

5.1.1 Środki ostrożności przy obchodzeniu się ze statorem

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z dostępem do statora.

Aby uniknąć uszkodzenia produktów i odniesienia obrażeń przez pracowników, stator należy obsługiwać w prawidłowy sposób.

- W widocznym miejscu należy umieścić etykietę ostrzegającą o zagrożeniach związanych z magnesem, aby zapobiec odniesieniu obrażeń przez personel.
- Odpowiednio obchodzić się ze statorem, aby zapobiec odniesieniu obrażeń przez personel lub uszkodzeniu statora.
- Prawidłowo wyjmować stator, aby zapobiec odniesieniu obrażeń przez personel lub uszkodzeniu statora. (Zob. Rys. 5.1).
- Bez względu na stosowaną metodę, nie należy bezpośrednio wyjmować statora, trzymając za krawędzie osłony (zob. Rys. 5.2). W przeciwnym razie może dojść do obrażeń personelu i uszkodzenia statora.

⚠ **Ostrzeżenie!** Niebezpieczeństwo zmiażdżenia w wyniku oddziaływania dużych sił przyciągania.

Przy szeregowo połączonych segmentach statora magnesy trwałe generują duże siły przyciągania i odpychania.

- Statory należy wyjąć z opakowania dopiero bezpośrednio przed ich montażem.
- Nigdy nie należy rozpakowywać kilku statorów jednocześnie.
- Nigdy nie umieszczać statorów obok siebie bez zabezpieczenia.
- Natychmiast zamontować rozpakowane statory.

⚠ **Ostrzeżenie!** Niebezpieczeństwo odniesienia obrażeń i spowodowania szkód rzeczowych.

Niewłaściwe ustawienie segmentów statora może prowadzić do nieprawidłowego działania i/lub niekontrolowanego ruchu silnika.

- Ułożyć segmenty statora w odpowiedniej kolejności. (Zob. Rys. 5.3.)

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko śmierci w wyniku działania pola magnesu trwałego.

Nawet gdy silnik jest wyłączony, magnes trwały może stanowić zagrożenie dla przebywających w pobliżu silnika osób z aktywnymi implantami medycznymi.

- Należy zachować odległość co najmniej 50 mm od magnesów trwałych.
- Osoby z urządzeniami regulującymi rytm serca lub metalowymi implantami powinny zachować minimalną odległość 500 mm od magnesów trwałych (próg wyzwalania pól magnetostatycznych 0,5 mT zgodnie z dyrektywą 2013/35/UE).

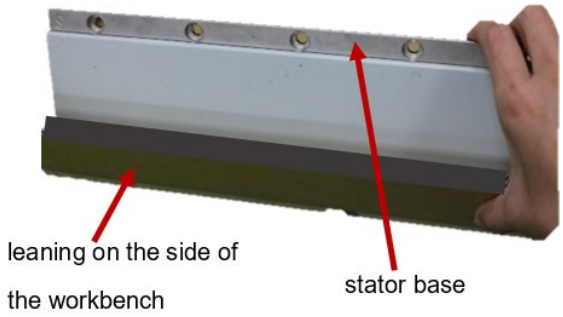
⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko uszkodzenia w wyniku działania pola magnesu trwałego.

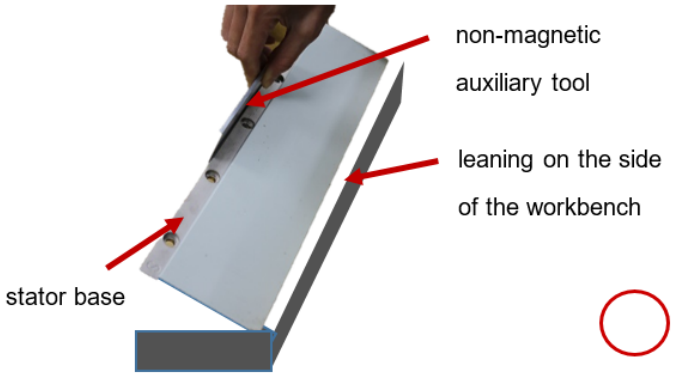
Podczas pracy w odległości do 100 mm od elementów z magnesami trwałymi pole magnetyczne wytwarza silne przyciąganie magnetyczne oddziałujące na materiały magnetyczne.

- Nie należy lekceważyć siły przyciągania magnetycznego.
- W strefie indukcji nie należy nosić magnesowalnych materiałów.
- Używać narzędzi, które nie zawierają materiałów magnesowalnych.
- Nie dopuścić do przemieszczania się zespołu magnesu trwałego względem materiału przewodzącego oraz materiału przewodzącego względem zespołu magnesu trwałego.
- Opakowanie zespołu silnika otwierać bezpośrednio przed montażem silnika.
- Po otwarciu opakowania należy natychmiast zainstalować elementy zawierające magnesy trwałe.
- Po zainstalowaniu silnika liniowego zabezpieczyć go przed przypadkowym uruchomieniem.

○ Prawidłowo

Rys. 5.1: Prawidłowa metoda chwytania statora



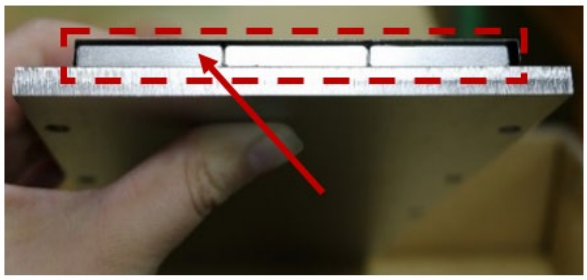


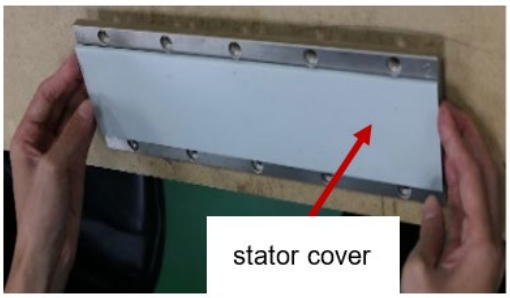
Oprzeć stator o jeden z boków stołu warsztatowego.
Przytrzymać stator, trzymając za jego podstawę.

Przechylić stator na jedną stronę za pomocą niemagnetycznego narzędzia pomocniczego.
Przytrzymać stator, trzymając za jego podstawę.

○ Nieprawidłowo

Rys. 5.2: Nieprawidłowy sposób chwytania statora



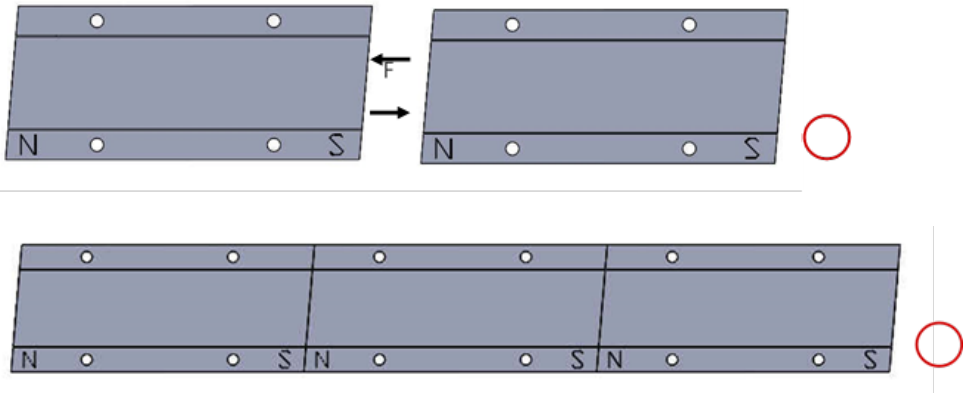


Nie trzymać statora za krawędź osłony.

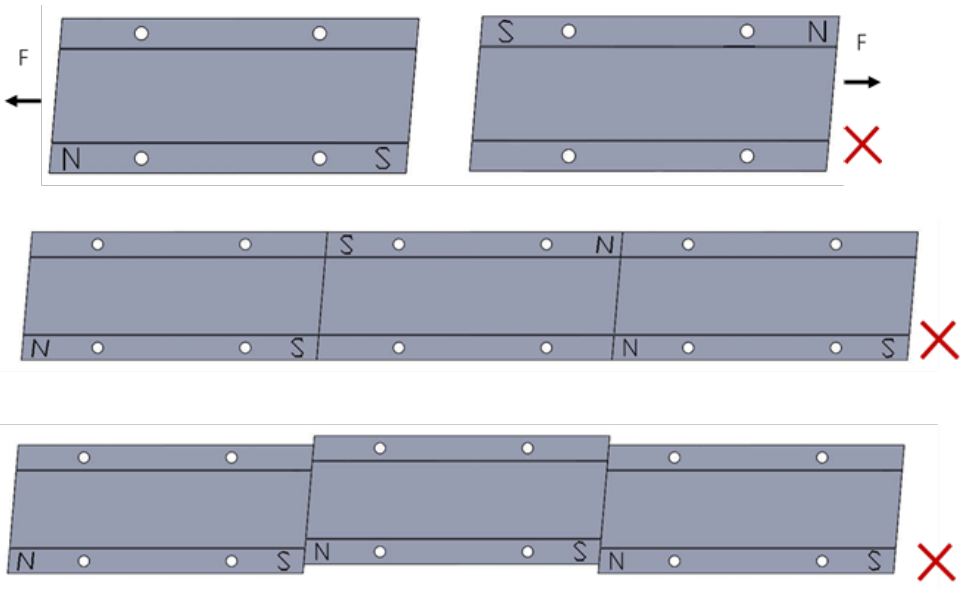
Aby zapobiec odniesieniu obrażeń przez personel lub uszkodzeniu statora, zabrania się chwytania statora za krawędzi osłony.

Rys. 5.3: Prawidłowy i nieprawidłowy montaż statora

- Prawidłowy montaż statora



- Nieprawidłowy montaż statora



5.1.2 Środki ostrożności przy montażu forcera i statora

⚠ **Niebezpieczeństwo!** Zagrożenie powodowane przez silny magnes!

Pomiędzy forcerem a statorem występuje silne przyciąganie magnetyczne. Aby uniknąć zagrożenia dla pracowników, należy przestrzegać zasad BHP.

- Pomiędzy forcerem i statorem silników LMSA/LMFA występuje potężna siła przyciągania (kilkaset kilogramów siły). Personel instalacyjny proszony jest o przestrzeganie instrukcji podczas montażu, aby uniknąć obrażeń spowodowanych zaciśnięciem forcera i statora.

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z montażem silnika liniowego.

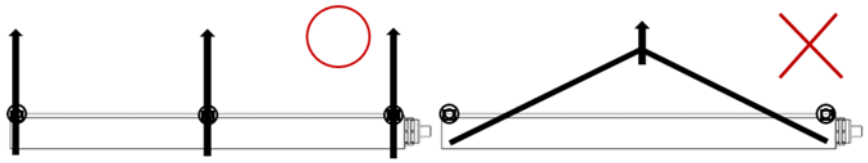
Aby uniknąć zagrożenia dla pracowników, podczas montażu forcera i statora przestrzegać zasad BHP.

- W przypadku montażu równoległego kilku zestawów forcerów należy zwrócić uwagę na specyfikację odległości i fazy silnika, aby zapewnić odpowiednią siłę ciągu.
- Podczas montażu forcera należy zwrócić uwagę na szczelinę powietrzną pomiędzy forcerem a statorem. Nieprawidłowa wielkość szczeliny może zwiększyć siłę zaczepową lub zmniejszyć siłę ciągu silnika.
- Przed zamontowaniem forcera między forcerem a platformą występuje szczelina, jak pokazano na Rys. 5.7. Aby zamontować zespół forcera, śruby przykręcać od środka na zewnątrz, na zmianę w kierunku lewego i prawego końca, jak pokazano na Rys. 5.8. Po zamocowaniu szczelina powietrzna między forcerem a podstawą forcera nie występuje, jak pokazano na Rys. 5.9.
- Pamiętać o dużej sile przyciągania magnetycznego pomiędzy dwoma statorami. Zabrania się wkładania rąk pomiędzy dwa statory (jak pokazano na Rys. 5.12), aby zapobiec odniesieniu obrażeń przez personel (nie zbliżać również przedmiotów magnetycznych, zegarków itp.).
- Podczas montażu wielu zestawów statorów łączna długość statora może charakteryzować się zwiększoną tolerancją łączną, co może powodować odchylenia w położeniu otworów. Takie przypadki są normalne. W związku z tym podczas montażu pomiędzy dwoma statorami można umieścić element dystansowy o szerokości 0,1 – 0,2 mm, aby ułatwić regulację położenia śrub (jak pokazano na Rys. 5.13), a końcowe mocowanie wykonać po zakończeniu pozycjonowania. Po zakończeniu mocowania należy usunąć element dystansowy.

Uwaga!

- Momenty dokręcania śrub mocujących zespoły forcera i statora można znaleźć w części 9.1.2.
- Maksymalna głębokość mocowania śrub statora zależy od otworów gwintowanych platformy klienta. Minimalna głębokość mocowania podana jest w części 9.1.2.
- Maksymalna i minimalna głębokość mocowania śrub forcera podana jest w części 9.1.2.

Aby przetransportować duży forcer (np. forcer silnika LMFA), konieczne jest użycie urządzenia podnoszącego. Upewnić się, że liny są rozstawione równomiernie i zamocowane naprzeciwko siebie na obu końcach. Jeśli masa forcera przekracza 20 kg, użyć więcej niż trzech lin do podnoszenia, aby zapobiec niebezpieczeństwu.



Etapy montażu:

- Montaż pierwszego statora

  Najpierw zamontować jeden zestaw statora. Podczas montażu należy zwrócić uwagę na równoległość toru ślizgowego i statora, a następnie za pomocą śrub ① i elementu ② zamontować stator na platformie ③. (Zob. Rys. 5.4.)

- Podstawa forcera i montaż forcera.

  Za pomocą śrub ④ zamontować podstawę forcera ⑤ na bloku ślizgowym ⑥ (zob. Rys. 5.5).

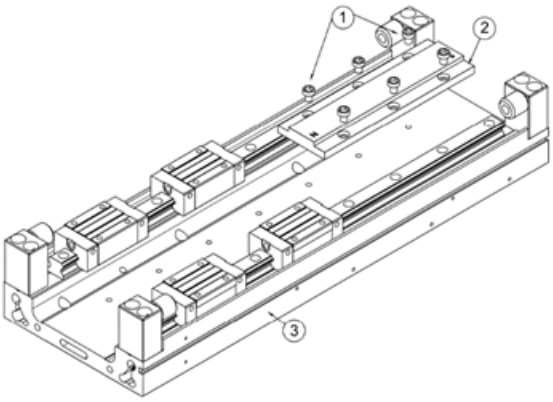
  Za pomocą śrub ⑧ zamontować forcer ⑦ na podstawie forcera. Podczas montażu przykręcać śruby od środka na zewnątrz, na zmianę w kierunku lewego i prawego końca. (Zob. Rys. 5.6.)

- Montaż statora.

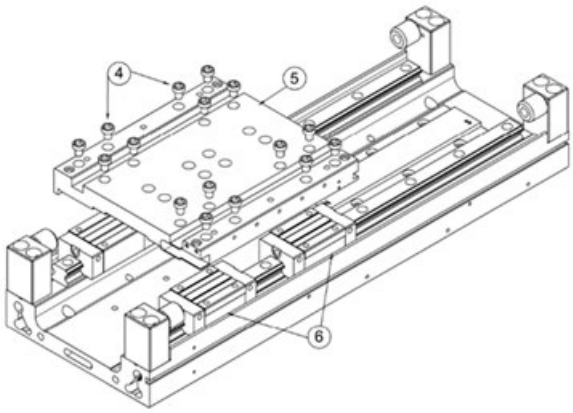
  Przesunąć podstawę forcera ⑨ na górę platformy, aby ułatwić montaż kolejnego statora. (Zob. Rys. 5.10.)

  Za pomocą śrub ⑪ zamontować stator ⑩ na platformie, a następnie przesunąć podstawę forcera, aby upewnić się, że nie występują żadne zakłócenia. (Zob. Rys. 5.11.)

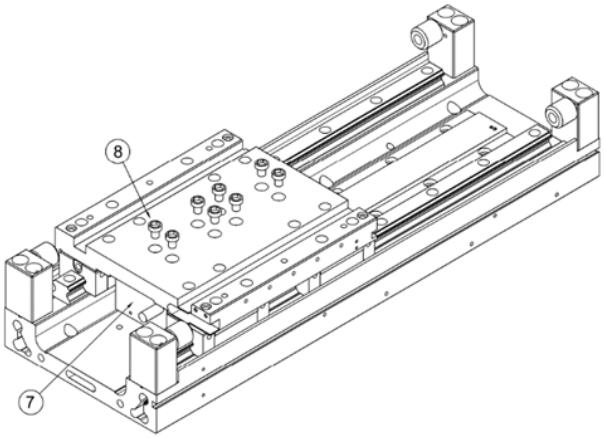
Rys. 5.4: Montaż pierwszego statora



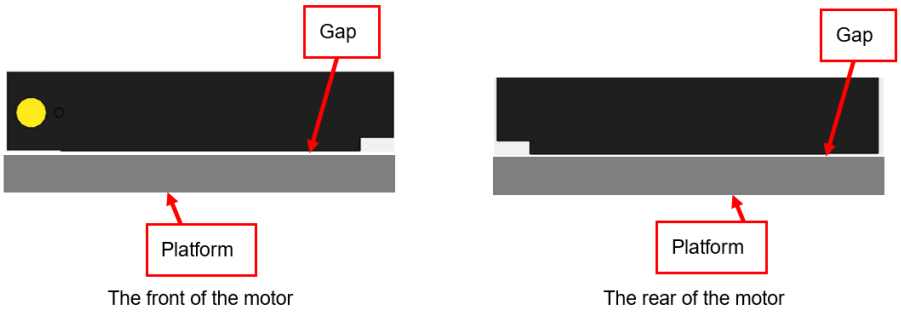
Rys. 5.5: Montaż podstawy forcera



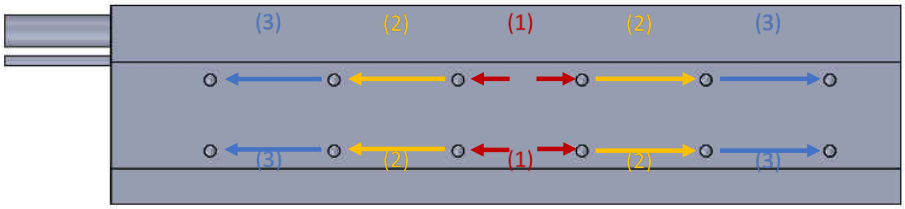
Rys. 5.6: Montaż forcera



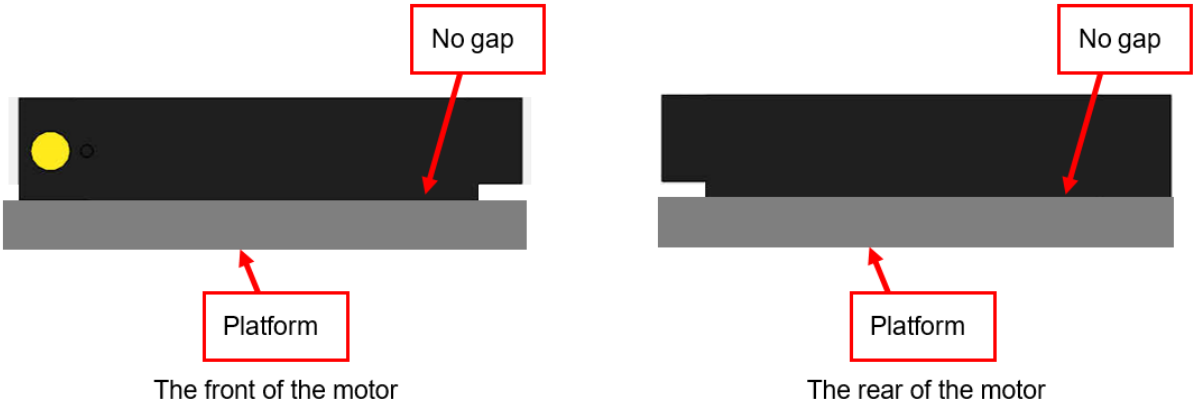
Rys. 5.7: Potwierdzenie szczeliny montażowej



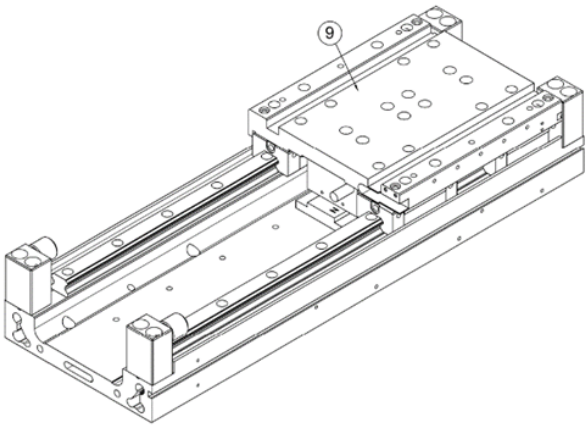
Rys. 5.8: Kolejność montażu forcera



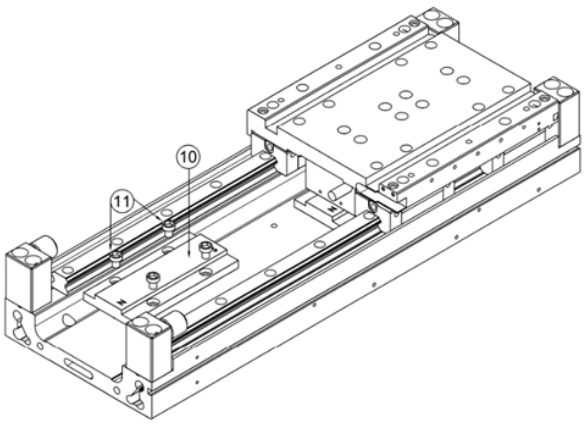
Rys. 5.9: Szczelina forcera



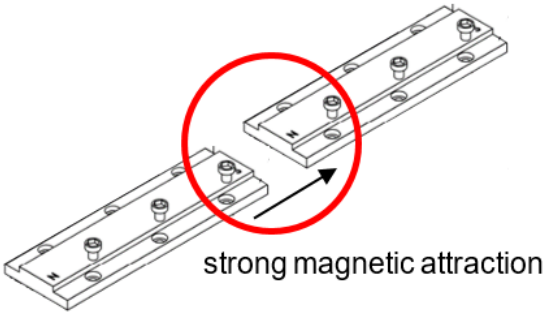
Rys. 5.10: Ruch podstawy forcera



Rys. 5.11: Montaż statora

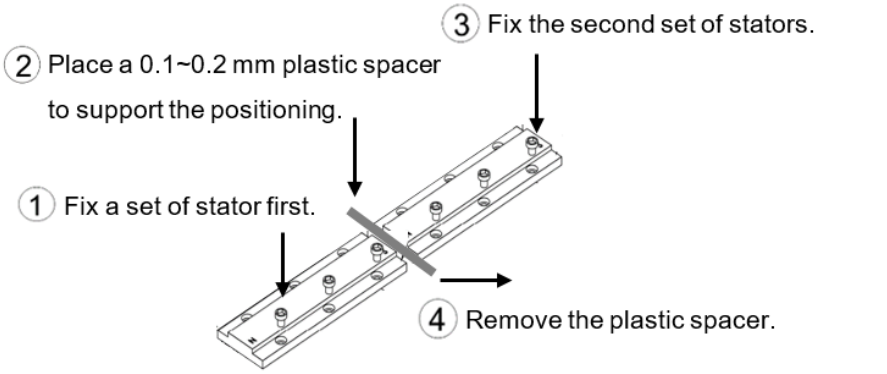


Rys. 5.12: Pamiętać o dużej sile przyciągania magnetycznego pomiędzy statorami, aby uniknąć odniesienia obrażeń rąk.



Pomiędzy statorami występuje silne przyciąganie magnetyczne, personel musi zwracać na to uwagę, aby uniknąć obrażeń dłoni.

Rys. 5.13: Zalecane użycie elementu dystansowego do wspomagania pozycjonowania podczas mocowania wielu zestawów statorów.



Use a plastic stator to support the positioning while assembling multiple stators.

Uwaga:

Element dystansowy z tworzywa zapewnia klient.

5.1.3 Środki ostrożności przy montażu forcera i statora silnika LMSC

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko uszkodzenia zespołu silnika.

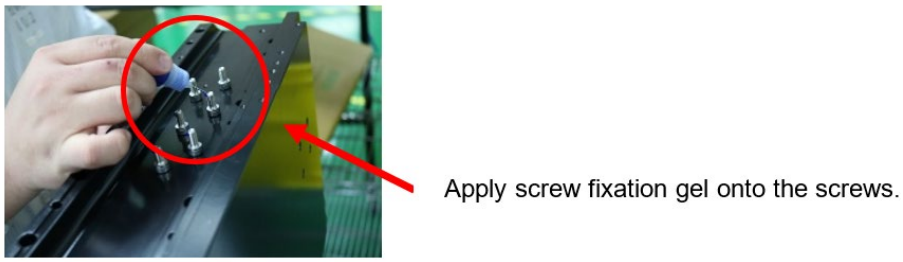
Zwrócić uwagę na wytrzymałość konstrukcyjną projektowanego urządzenia, ponieważ pomiędzy forcerem a statorem występuje silne przyciąganie magnetyczne. Niewystarczająca wytrzymałość konstrukcji może doprowadzić do jej odkształcenia. Zbyt duża tolerancja montażowa będzie miała wpływ na skuteczność regulacji.

- Pomiędzy forcerem a statorem występuje silne przyciąganie magnetyczne, zaś siła przyciągania tylko z jednej strony wynosi co najmniej 2850 N.
- Uwzględnić wytrzymałość konstrukcyjną po obu stronach statorów, aby zapobiec odkształceniom konstrukcji spowodowanym dużą siłą przyciągania.
- Gdy szczelina między forcerem a statorem ma powyżej 4,5 mm, siła przyciągania jest bliska 0.
- Po obu stronach statora, naprzeciw siebie, należy umieścić naklejki z polaryzacją.
- Każda nierówność szczeliny powietrznej w silniku liniowym LMSC z hamulcem magnetycznym może wpływać na siłę przyciągania pomiędzy forcerem a statorem. (Zob. Rys. 5.26.)

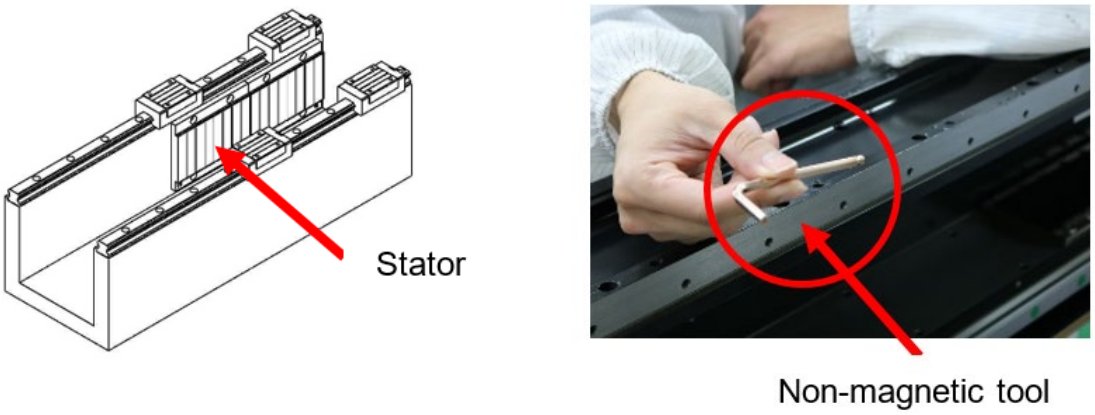
Etapy montażu (stator):

- Oczyścić wszystkie powierzchnie montażowe.
- Nałożyć żel uszczelniający na wszystkie śruby mocujące statora. (Zob. Rys. 5.24.)
- Jako elementu dystansowego do odizolowania statora użyć materiału niemagnetycznego.
- Umieścić stator w odpowiedniej pozycji.
- Za pomocą narzędzia niemagnetycznego (zob. Rys. 5.15) zainstalować jedną stronę statora w połowie skoku.
- Umieścić niemagnetyczny przedmiot pomiędzy powierzchniami montażowymi po obu stronach statora. (Zob. Rys. 5.16.)
- Za pomocą narzędzia niemagnetycznego zainstalować drugą stronę statora w połowie skoku. (Zob. Rys. 5.17.)

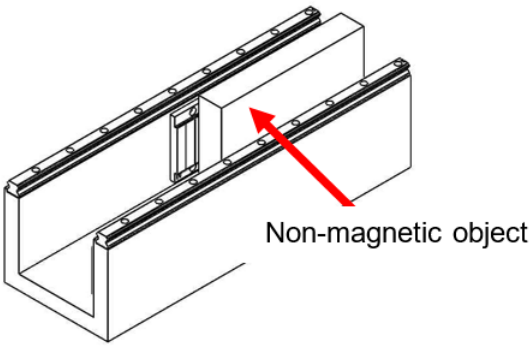
Rys. 5.14: Nałożyć żel uszczelniający



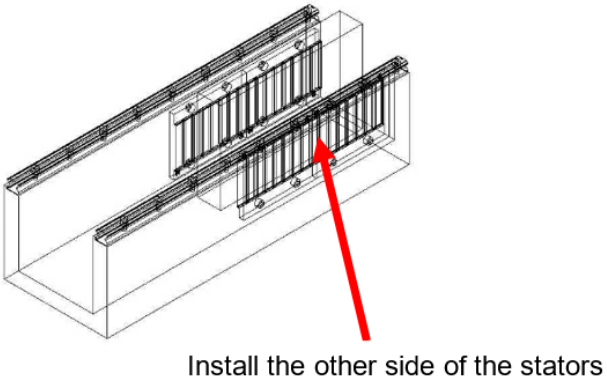
Rys. 5.15: Zamontować stator przy użyciu narzędzia niemagnetycznego



Rys. 5.16: Umieść przedmiot niemagnetyczny



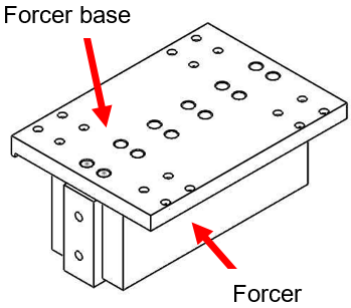
Rys. 5.17: Zamontować stator przy użyciu narzędzia niemagnetycznego



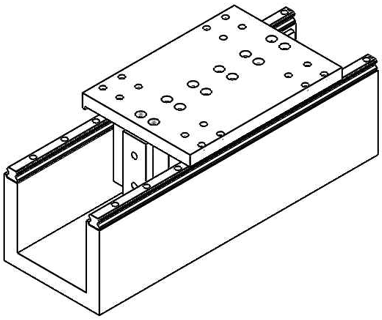
Etapy montażu (forcer):

- W pierwszej kolejności zamontować forcer na podstawie forcera. (Zob. Rys. 5.18.)
- Zamontować podstawę forcera na bloku ślizgowym podstawy. (Zob. Rys. 5.19.)
- Za pomocą grubościomierza wyregulować szczelinę powietrzną (zob. Rys. 5.20) do wartości $0{,}75^{+0{,}25}_{-0{,}15}$.

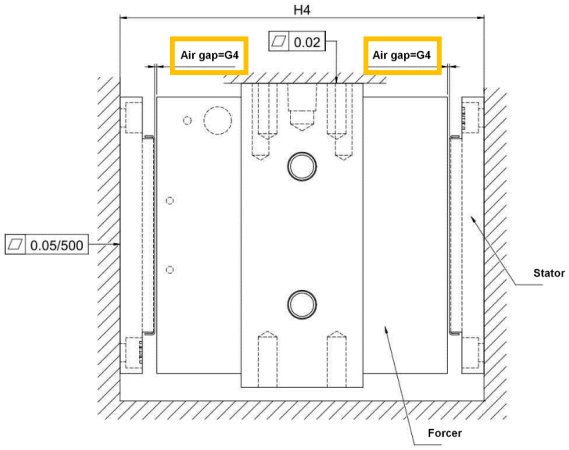
Rys. 5.18: Montaż forcera



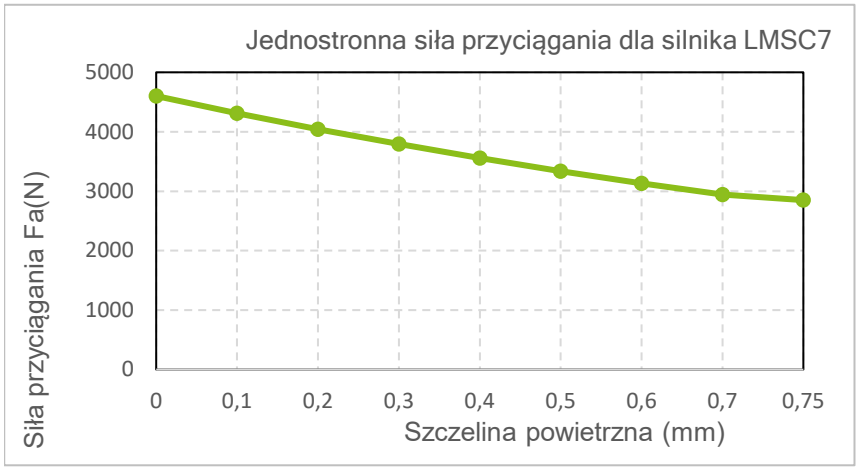
Rys. 5.19: Montaż podstawy forcera



Rys. 5.20: Przykładowa szczelina powietrzna



Rys. 5.21: Wykres zależności siły przyciągania od wielkości szczeliny powietrznej dla silnika LMSC



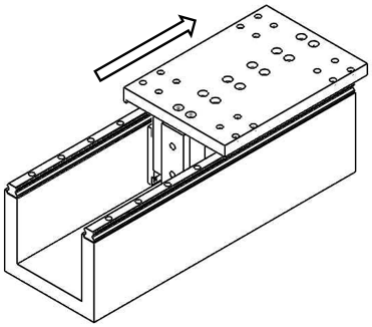
Tab. 5.1: Wykres zależności siły przyciągania od wielkości szczeliny powietrznej

Szczelina powietrzna (mm)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75
Jednostronna siła przyciągania Fa (N)	4601	4313	4042	3796	3556	3338	3134	2942	2850

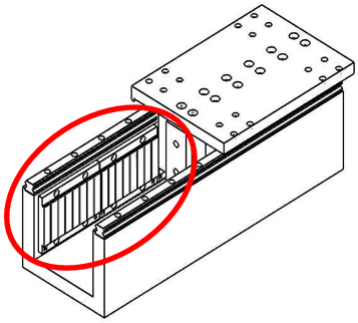
Etapy montażu (pozostałe statory):

- Przesunąć podstawę forcera, aby zainstalować pozostałe statory. (Zob. Rys. 5.22.)
- Za pomocą narzędzia niemagnetycznego zainstalować jedną stronę statorów w połowie skoku. (Zob. Rys. 5.23.)
- Umieścić niemagnetyczny przedmiot pomiędzy powierzchniami montażowymi po obu stronach statora. (Zob. Rys. 5.24.)
- Za pomocą narzędzia niemagnetycznego zainstalować drugą stronę statora w połowie skoku. (Zob. Rys. 5.25.)

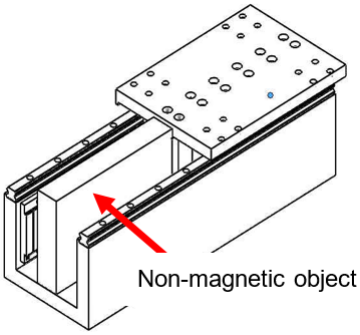
Rys. 5.22: Ruch podstawy forcera



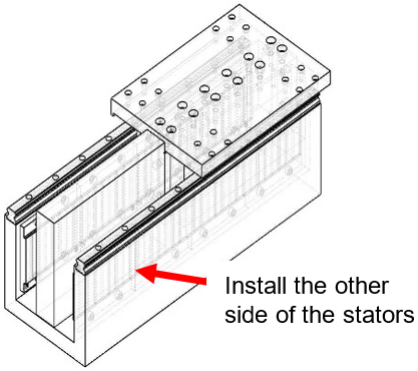
Rys. 5.23: Zamontować jedną stronę statorów



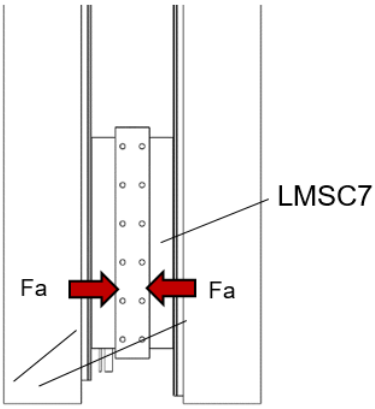
Rys. 5.24: Umieść przedmiot niemagnetyczny



Rys. 5.25: Zamontować drugą stronę statorów



Rys. 5.26: Rysunek montażowy forcera i statora silnika LMSC



Tab. 5.2: Tabela zależności siły przyciągania od wielkości szczeliny powietrznej dla silnika LMSC

Szczelina powietrzna 1 (mm)	0	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75
Szczelina powietrzna 2 (mm)	1,5	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85	0,75
Siła przyciągania F_a (N)	2838	2633	2230	1840	1461	1090	724	361	0

5.2 Montaż bezrdzeniowego silnika liniowego

5.2.1 Środki ostrożności przy montażu forcera i statora silnika LMC

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z montażem forcera i statora.

Zapobiegać ryzyku zgniecenia dłoni podczas montażu produktów.

- Ostrożnie obchodzić się ze statorem, aby uniknąć obrażeń na skutek zgniecenia dłoni.

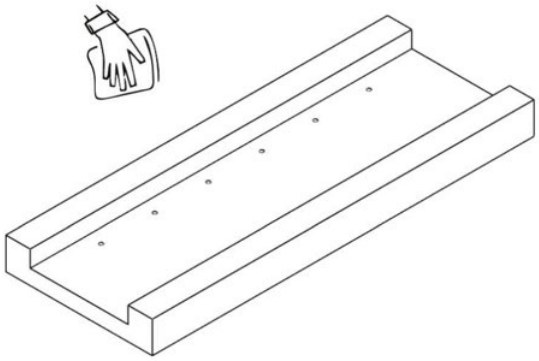
Uwaga!

- Etykieta ostrzegawcza statora powinna być skierowana ku górze.
- Po zamontowaniu zespołu statora zgodnie z opisem w części 4.2 należy zwrócić szczególną uwagę na szczelinę pomiędzy statorami.
- Momenty dokręcania śrub mocujących zespoły forcera i statora można znaleźć w części 9.1.2.
- Wybór długości śruby i głębokości gwintu opisano w części 9.1.2.

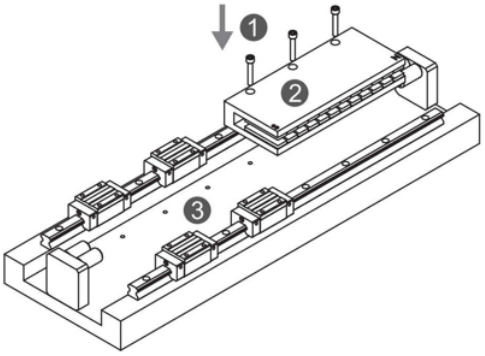
Etapy montażu:

- Wyczyść interfejs montażowy za pomocą czystej szmatki zwilżonej alkoholem (alkohol przemysłowy 95%). (Zob. Rys. 5.27.)
- Za pomocą śrub ① przymocować zespół statora ② po prawej skrajnej stronie płyty podstawy ③ (zob. Rys. 5.28)
- Za pomocą śrub ④ zamontować podstawę forcera ⑤ na liniowym bloku ślizgowym ⑥. (Zob. Rys. 5.29.)
- Przesunąć podstawę forcera ⑦ jak najbardziej w lewo, aby ułatwić zamocowanie zespołu forcera ⑧. (Zob. Rys. 5.30.)
- Przesunąć prawidłowo zainstalowany zespół forcera ⑨ na prawą stronę i ustalić, czy nie ma żadnych zakłóceń w zespole forcera i statora. Dopiero po tej czynności można rozpocząć montaż następnego zespołu statora. (Zob. Rys. 5.31.)
- Zamocować pozostałe zespoły statora ⑩ na płycie podstawy ⑪. (Zob. Rys. 5.32.)
- Po zakończeniu montażu przemieścić podstawę forcera, aby sprawdzić, czy nie występują żadne zakłócenia. (Zob. Rys. 5.33.)

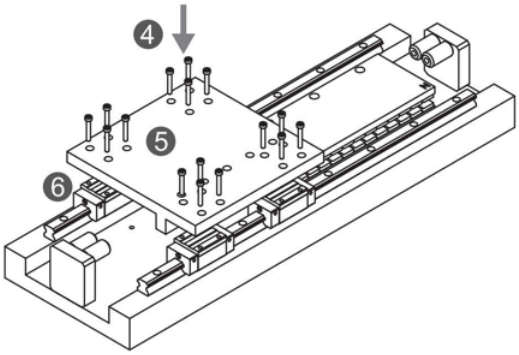
Rys. 5.27: Czyszczenie interfejsu montażowego



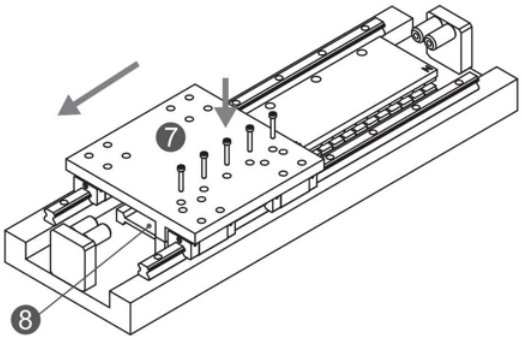
Rys. 5.28: Montaż statora



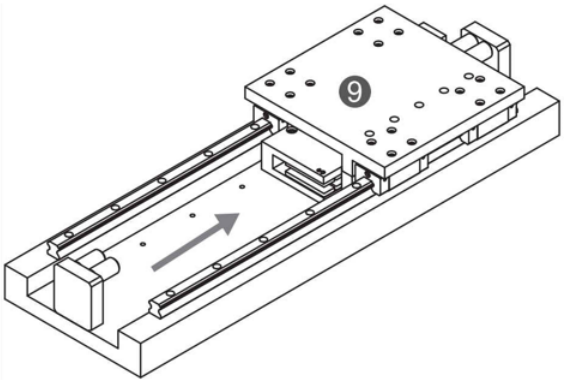
Rys. 5.29: Montaż podstawy forcera



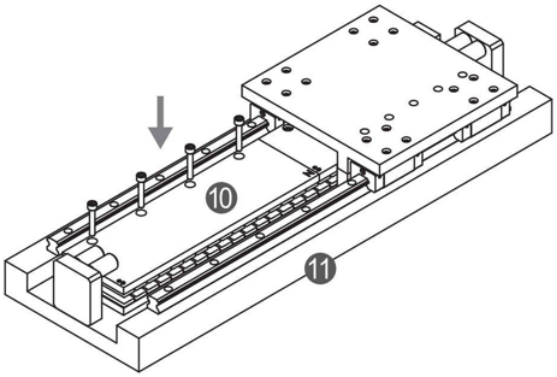
Rys. 5.30: Przemieszczenie podstawy forcera



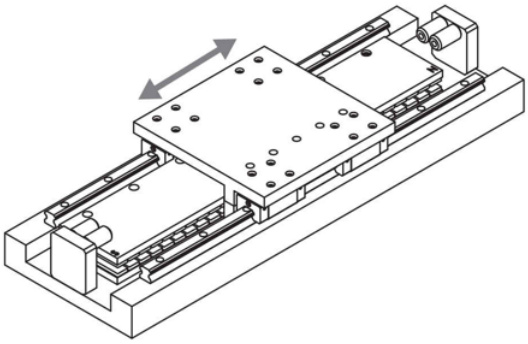
Rys. 5.31: Montaż forcera



Rys. 5.32: Montaż statora



Rys. 5.33: Potwierdzenie płynności ruchu



5.2.2 Środki ostrożności przy montażu forcera i statora silnika LMT

⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko związane z montażem forcera i statora.

Zapobiegać ryzyku zgniecenia dłoni podczas montażu produktów.

- Ostrożnie obchodzić się ze statorem, aby uniknąć obrażeń na skutek zgniecenia dłoni.

Uwaga! Ryzyko związane z montażem forcera i statora.

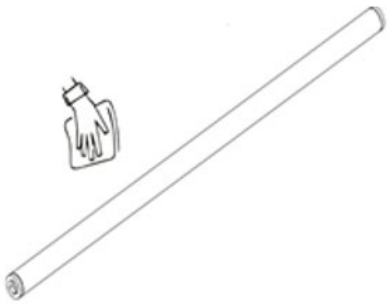
Podczas montażu statora i forcera należy zwrócić uwagę na prawidłowość szczelinę między zespołami.

- Po zamontowaniu zespołu forcera zgodnie z opisem w części 4.3 koncentryczność nie powinna być większa niż 0,2 mm.
- Po zamontowaniu zespołu statora zgodnie z opisem w części 4.3 należy zwrócić szczególną uwagę na szczelinę pomiędzy statorami.
- Momenty dokręcania śrub mocujących zespoły forcera i statora można znaleźć w części 9.1.2.
- Wybór długości śruby i głębokości gwintu opisano w części 9.1.2.

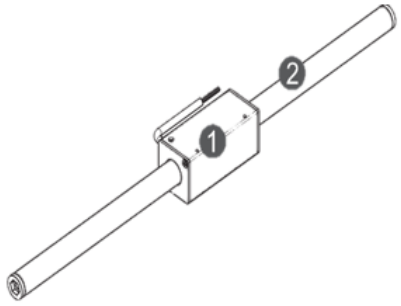
Etapy montażu:

- Wyczyść zespół statora za pomocą czystej szmatki zwilżonej alkoholem (alkohol przemysłowy 95%). (Zob. Rys. 5.34.)
- Umieścić zespół forcera ① na zespole statora ②. (Zob. Rys. 5.35.)
- Za pomocą śrub ③ zamontować zespół statora ④ na podstawie mocującej ⑤ i zmierzyć różnicę wysokości oraz różnicę między lewą i prawą stroną. Różnice te nie mogą być większe niż 0,2 mm (zob. Rys. 5.36).
- Za pomocą śrub ⑥ zamontować podstawę forcera ⑦ na bloku ślizgowym ⑧ (zob. Rys. 5.37).
- Za pomocą śrub ⑨ przymocować zespół forcera ⑩ do podstawy forcera ⑪ (zob. Rys. 5.38).
- Po zakończeniu montażu przemieścić podstawę forcera, aby sprawdzić, czy nie występują żadne zakłócenia (zob. Rys. 5.39).

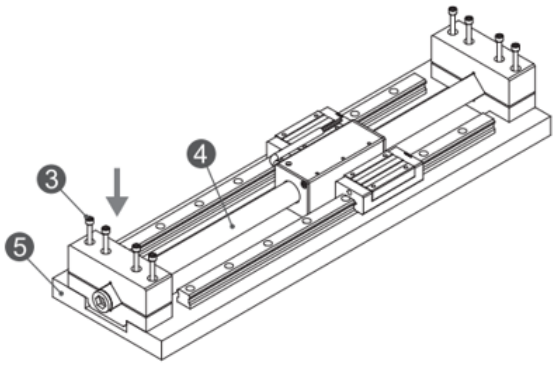
Rys. 5.34: Czyszczenie interfejsu montażowego



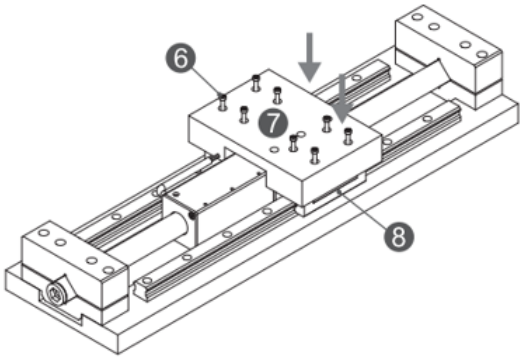
Rys. 5.35: Montaż forcera i statora



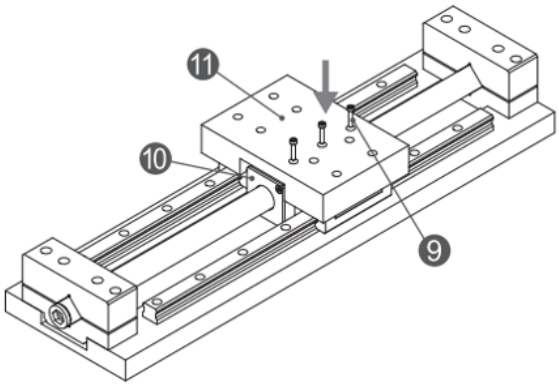
Rys. 5.36: Montaż statora



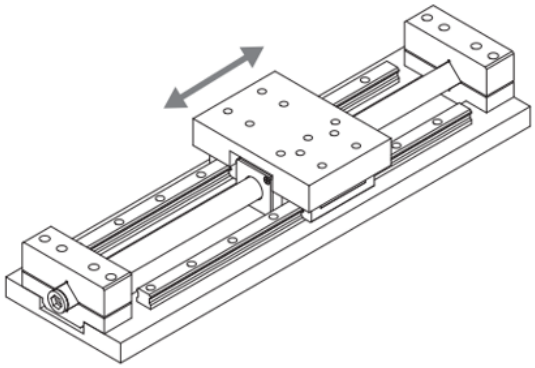
Rys. 5.37: Montaż podstawy forcera



Rys. 5.38: Montaż forcera



Rys. 5.39: Potwierdzenie płynności ruchu



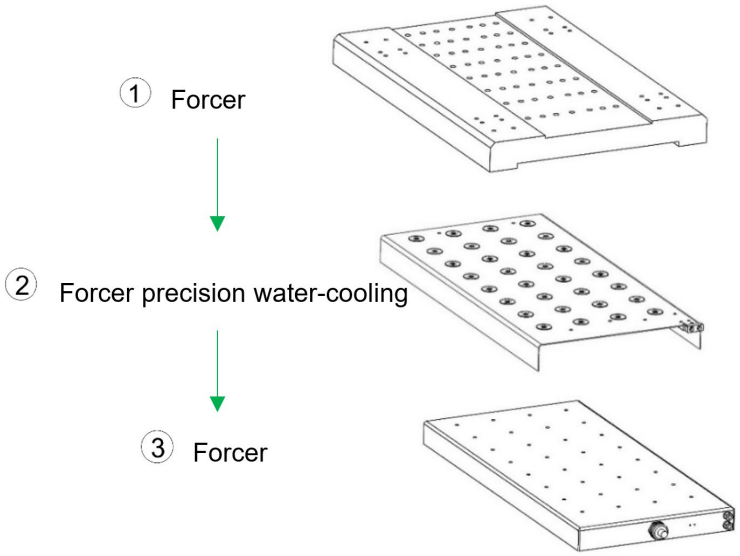
5.3 Montaż układu chłodzenia silnika liniowego wodą

5.3.1 Montaż układu precyzyjnego chłodzenia forcera i statora wodą

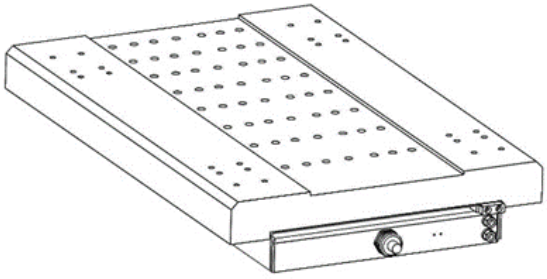
Etapy montażu (układ precyzyjnego chłodzenia forcera wodą): zob. Rys. 5.40 – Rys. 5.41.

- Umieścić układ precyzyjnego chłodzenia forcera wodą ② na forcerze ③. Pozycje otworów obu elementów powinny być wyrównane, a ich kierunek powinien być zgodny.
- Po wyrównaniu otworów w podstawie forcera ① i otworów w układzie precyzyjnego chłodzenia forcera wodą ② z otworami forcera ③ wkręcić śruby.
- Po zakończeniu mocowania zamontować cały zespół na bloku ślizgowym platformy roboczej. Zapoznać się z instrukcjami zawartymi w części 5.1.2.

Rys. 5.40: Rysunek montażowy układu precyzyjnego chłodzenia forcera wodą



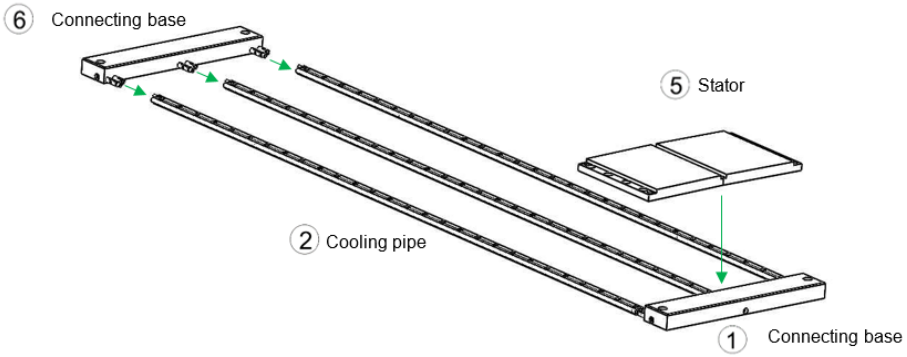
Rys. 5.41: Widok po zamontowaniu układu precyzyjnego chłodzenia forcera wodą



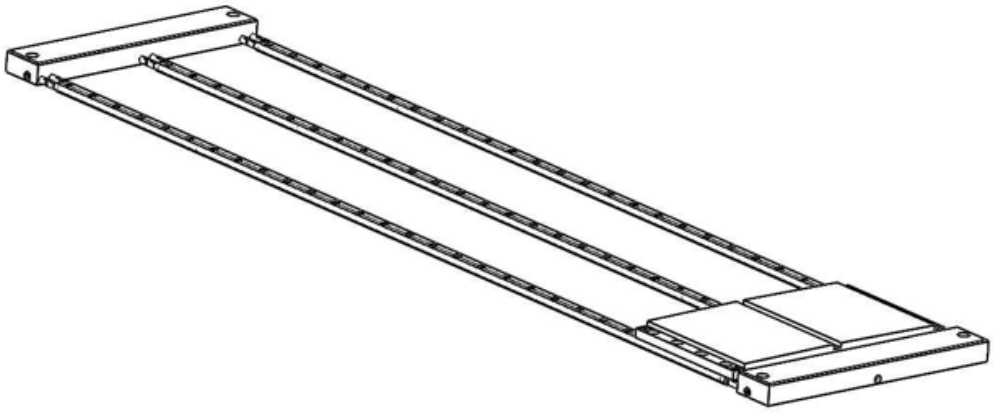
Etapy montażu (układ precyzyjnego chłodzenia statora wodą): (Zob. Rys. 5.42.)

- Zamocować podstawę łączącą ① z jednej strony platformy roboczej.
- Podłączyć przewody chłodzące ② do podstawy łączącej ① platformy.
- Jeżeli długość statora ⑤ jest większa, przewody chłodzące ② należy połączyć ze sobą.
- Po podłączeniu wszystkich przewodów chłodzących ② zamontować podstawę łączącą ⑥ z drugiej strony, po czym podłączyć do niej przewody chłodzące, odpowiednio dopasowując ich długość.
- Umieścić stator ⑤ w odpowiednim miejscu na przewodach chłodzących ②.
- Zamocować wszystkie statory ⑤. Sposób mocowania wielu zespołów statora opisano w części 5.1.2 poświęconej montażowi statorów.

Rys. 5.42: Rysunek montażowy układu precyzyjnego chłodzenia statora wodą



Rys. 5.43: Widok po zamontowaniu układu precyzyjnego chłodzenia statora wodą



5.3.2 Montaż szybkozłącza silnika chłodzonego wodą

Uwaga!

- Gdy na wlocie lub wylocie zamocowane jest szybkozłącze o średnicy 1/8PT, należy je owinąć białą taśmę uszczelniającą, aby zapobiec wyciekom wody.
- Gdy na wlocie lub wylocie zamocowane jest szybkozłącze o średnicy G1/8, użyć dodatkowego pierścienia o-ring, aby zapobiec wyciekom.
- Gdy na wlocie lub wylocie zamocowane jest szybkozłącze z gwintami zabezpieczonymi powłoką PTFE, nie ma konieczności owijania złącza białą taśmą uszczelniającą.
- Maksymalne ciśnienie w obiegu wody chłodzącej wynosi 10 bar.
- Użyć klucza dynamometrycznego (maksymalny moment nie powinien przekraczać 100 kgf-cm (9,8 Nm)).
- Jeśli złącze nie zostanie prawidłowo zainstalowane, może to spowodować uszkodzenie, wyciek wody lub pęknięcie złącza.
- Nie usuwać samowolnie żadnych akcesoriów fabrycznych produktu; w przeciwnym razie producent nie gwarantuje jego wydajności.

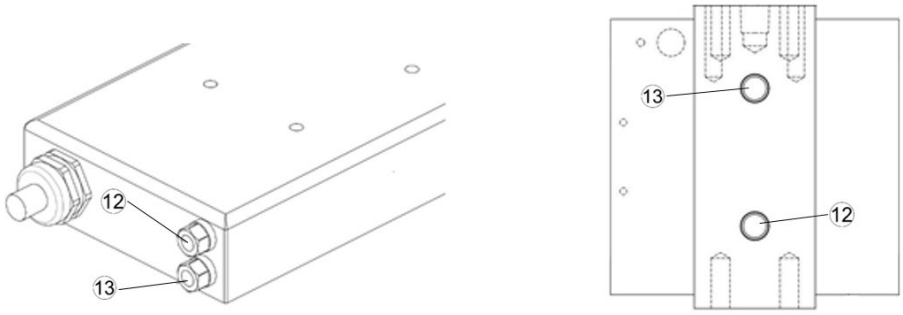
Układ LMFA chłodzenia forcera wodą jest dostępny w wersjach LMFA, LMFA-P i LMFP z następującymi gwintami:

Tab. 5.3: Gwint złącza układu chłodzenia forcera wodą

Układ chłodzenia forcera	Gwint
LMFA	1/8 PT
LMFA-P	G 1/8
LMFP	G 1/8
LMSC	1/8PT

Złącze układu chłodzenia wodą ⑫ to złącze wlotowe, zaś złącze ⑬ to złącze wylotowe.

Rys. 5.44: Miejsce montażu złącza układu chłodzenia wodą

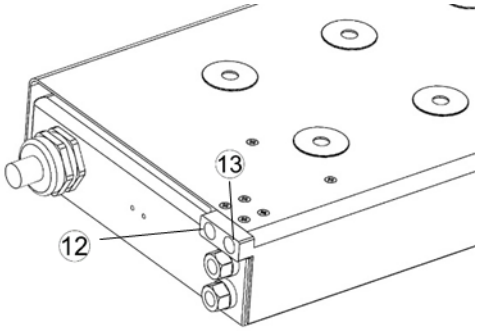


5.3.3 Montaż szybkozłącza układu precyzyjnego chłodzenia wodą

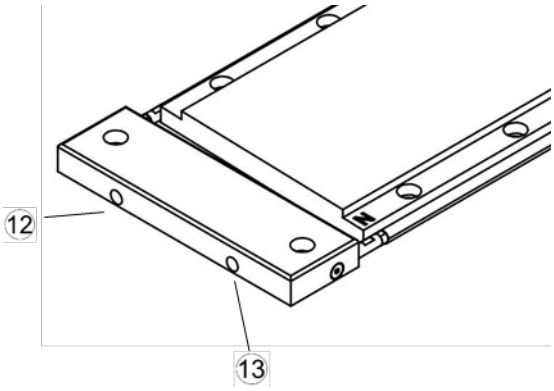
Montaż szybkozłącza układu LMFC precyzyjnego chłodzenia wodą

Złącze układu chłodzenia wodą ⑫ to złącze wlotowe, zaś złącze ⑬ to złącze wylotowe. Oba złącza są typu G1/8.

Rys. 5.45: Miejsce montażu złącza układu precyzyjnego chłodzenia forcera wodą



Rys. 5.46: Miejsce montażu złącza układu precyzyjnego chłodzenia statora wodą

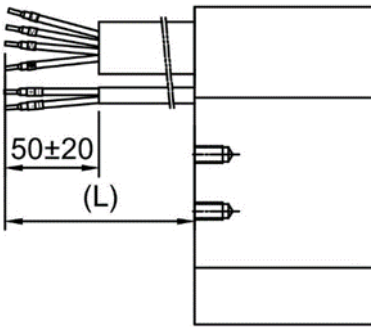


6 Wybór akcesoriów i kabla zasilania silnika

6.1 Standardowa specyfikacja kabla zasilania

Długości kabla zasilania i kabla termicznego dla standardowego silnika liniowego wynoszą od 0,5 do 1,2 m. Jednostką długości dla kabla jest 100 mm. Końce kabla mogą być zakończone złączkami lub otwarte, jak pokazano na Rys. 6.1.

Rys. 6.1: Specyfikacja końców kabla zasilania

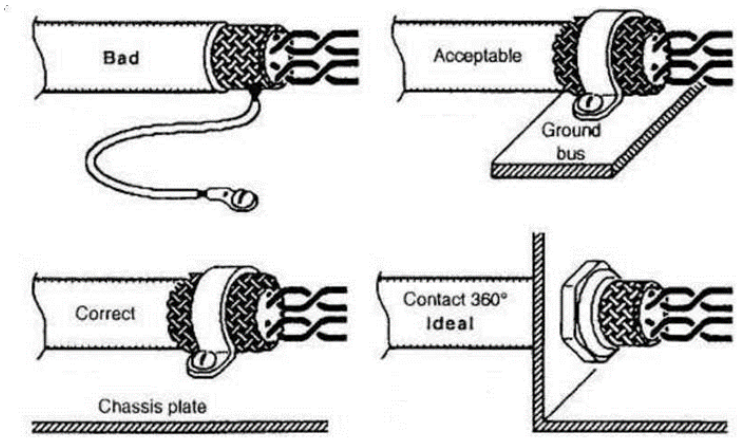


6.2 Zalecany sposób wykonywania uziemienia

Kabel zasilania i kabel termiczny muszą być ekranowane. Ponadto ekran ten musi być uziemiony (jak pokazano na Rys. 6.2).

Po zdjęciu izolacji ekran można przyciąć na odpowiednią długość dla wygodniejszej pracy. Nie należy przecinać części ekranu, w przeciwnym razie ekran może łatwo pęknąć i wpłynąć na efektywność uziemienia.

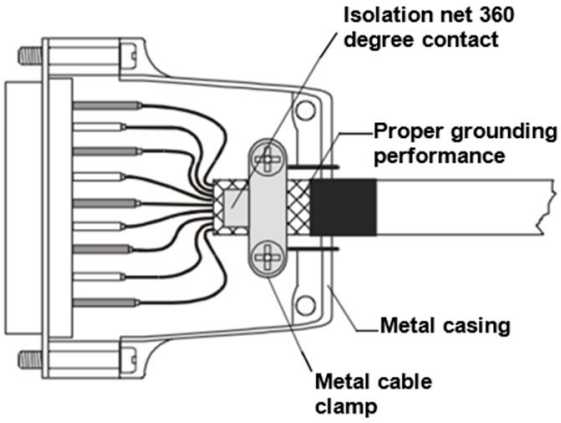
Rys. 6.2: Zalecany sposób uziemienia

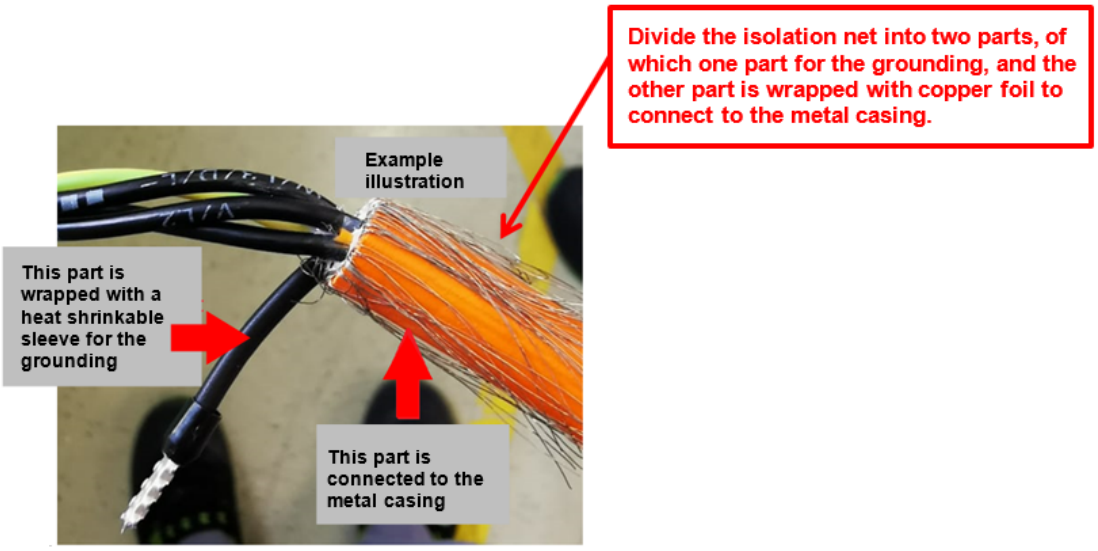


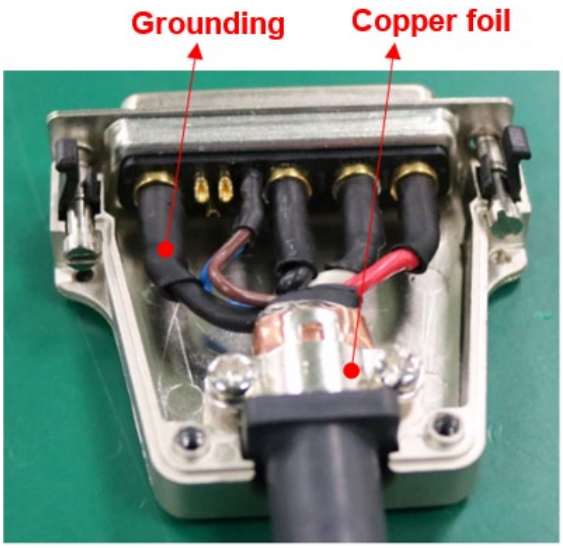
6.2.1 Zalecany sposób wykonywania uziemienia dla bezrdzeniowych silników liniowych

W przypadku kabla zasilania bezrdzeniowego silnika liniowego zaleca się wykonywanie uziemienia przy użyciu oplotu izolacyjnego. Oplot izolacyjny jest podzielona na dwie części – jedna służy do uziemiania, a druga jest owinięta folią miedzianą i połączona z metalową obudową, jak pokazano na Rys. 6.3.

Rys. 6.3: Uziemienie ochronne bezrdzeniowego silnika liniowego







6.3 Zalecany sposób montażu kabla przedłużającego

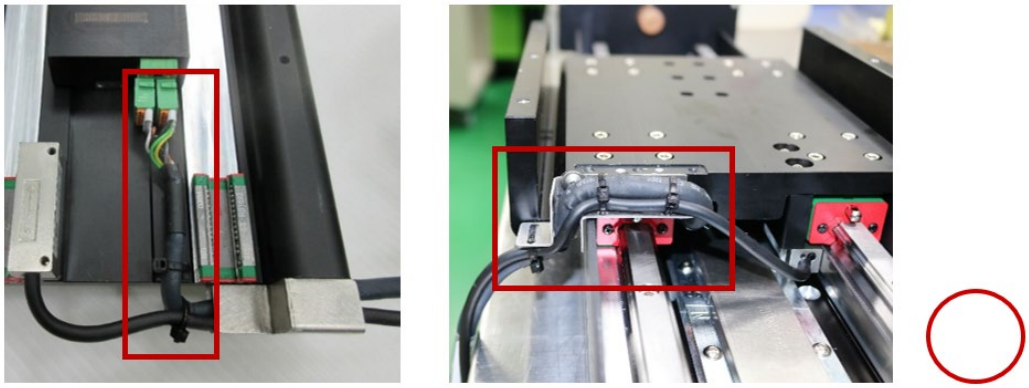
Ponieważ silnik liniowy z rdzeniem żelaznym LMSA-Z wyposażony jest w złącze, w rzeczywistym zastosowaniu wymaga podłączenia kabla przedłużającego. Dlatego, aby uniknąć awarii, należy postępować zgodnie z poniższą metodą montażu.

Kabel silnika należy zamocować za pomocą opaski kablowej i korytka kablowego po zmontowaniu forcera na płycie siłownika. Również kabel przedłużający należy zamocować za pomocą opaski kablowej i umieścić w prowadniku kablowym, jak pokazano na Rys. 6.4 i Rys. 6.5, aby zapewnić jego prawidłowe działanie.

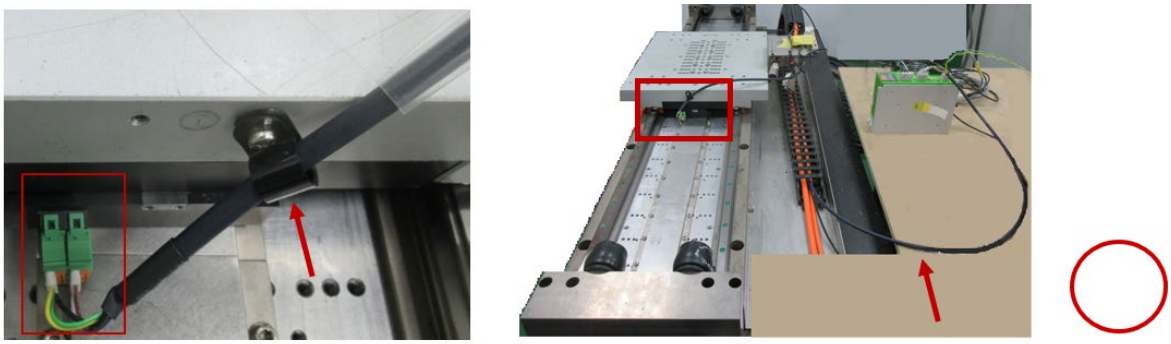
Jeżeli kabel nie zostanie zainstalowany jak pokazano na Rys. 6.6 i Rys. 6.7, mogą wystąpić usterki, takie jak drgania i zużycie, które mogą spowodować nieprawidłowości.

Zalecany sposób montażu

Rys. 6.4: Zamocować kabel silnika za pomocą opaski kablowej i korytka kablowego

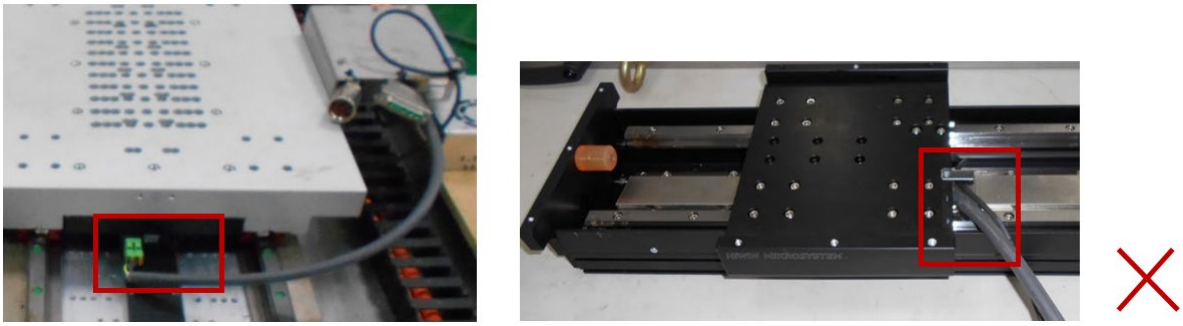


Rys. 6.5: Zamocować kabel przedłużający za pomocą opaski kablowej i umieścić w prowadniku kablowym

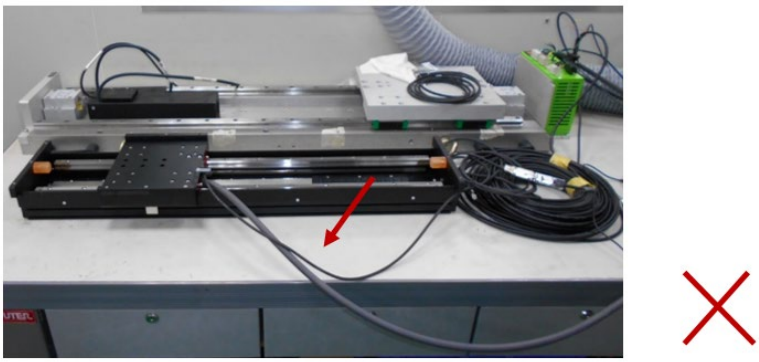


Nieprawidłowy sposób montażu

Rys. 6.6: Niezamocowany kabel przedłużający

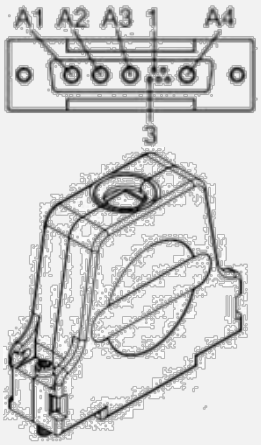
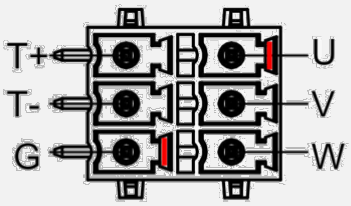
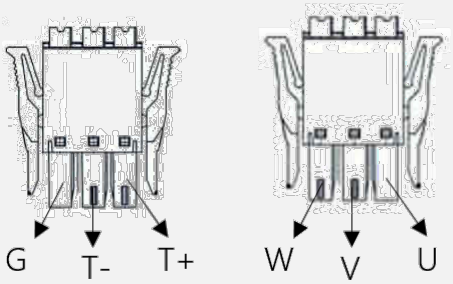
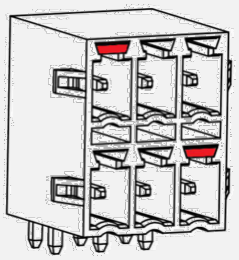


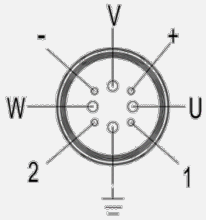
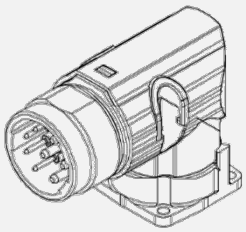
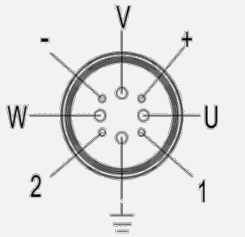
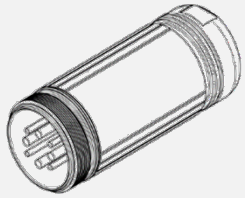
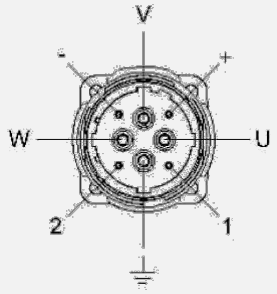
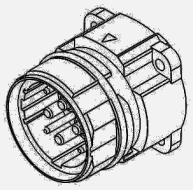
Rys. 6.7: Kabel przedłużający niewłożony do prowadnika kablowego



6.4 Wybór złącza i przypisanie pinów

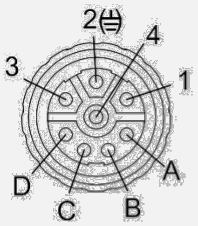
Tab. 6.1: Tabela połączeń dla wybranych złączy

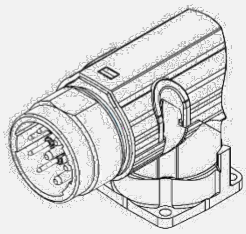
Model	Złącze	Pin
Seria LMSA	 Złącze D-Sub 9-pinowe	Schemat połączeń FMK3G (męskie) / Sygnał A1 / V A2 / U A3 / W A4 / GND 1 / T+ 3 / T- OBUDOWA
Seria LMSA-Z	   Bloki zacisków wtykowych	Przypisanie pinów Bloki zacisków wtykowych / Przewody sygnałowe U / V V / U W / W T+ / T+ T- / T- G / G

Model	Złącze	Pin
Seria LMFA (940)	  Złącze metalowe (kątowe, obrotowe)	Schemat połączeń Męskie / Sygnał U / U V / V W / W ⏚ / ⏚ Obudowa / T+ + / T1+ — PTC SNM120 - / T1- 1 / T2+ — Pt1000 2 / T2-
	  Złącze metalowe	Schemat połączeń Męskie / Sygnał U / U V / V W / W ⏚ / ⏚ Obudowa + / T1+ — PTC SNM120 - / T1- 1 / T2+ — Pt1000 2 / T2-
	  Złącze metalowe	Schemat połączeń Męskie / Sygnał U / U V / V W / W ⏚ / ⏚ Obudowa 1 / T1+ — PTC SNM120 2 / T1- + / T2+ — Pt1000 - / T2-

Model	Złącze	Pin

Seria LMFA (923)





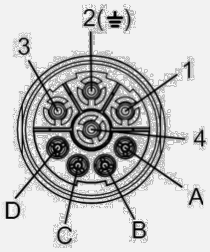
Złącze metalowe (kątowe, obrotowe)

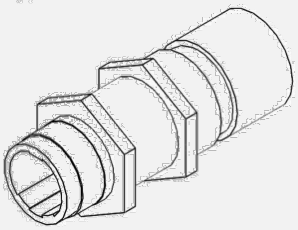
Tabela połączeń

Męskie	Sygnał
1	U
4	V
3	W
(2) ⏚	⏚
Obudowa	
A	T1+ (szary)
B	T1- (szary)
C	T2+ (czerwony)
D	T2- (biały)

PTC SNM120

Pt1000





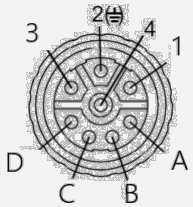
Złącze metalowe

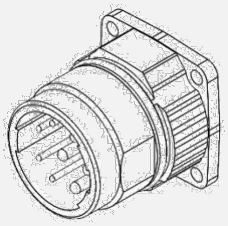
Tabela połączeń

Męskie	Sygnał
1	U
4	V
3	W
(2) ⏚	⏚
Obudowa	
A	T1+ (szary)
B	T1- (szary)
C	T2+ (czerwony)
D	T2- (biały)

PTC SNM120

Pt1000





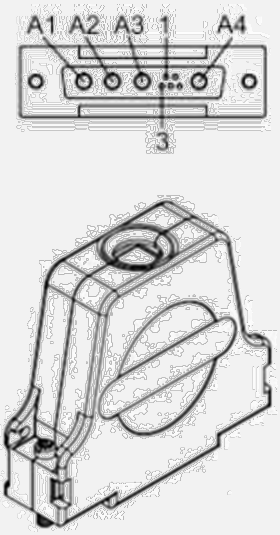
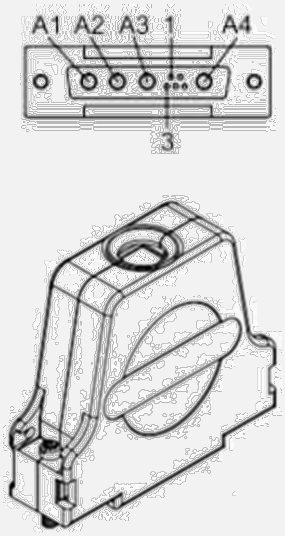
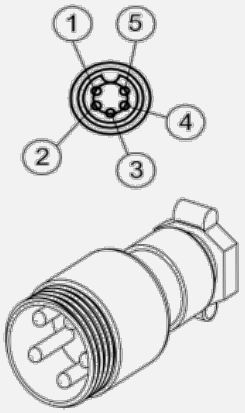
Złącze metalowe

Tabela połączeń

Męskie	Sygnał
1	U
4	V
3	W
2(⏚)	⏚
Obudowa	
A	T1+
B	T1-
C	T2+
D	T2-

PTC SNM120

Pt1000

Model	Złącze	Pin
LMSC7	 Złącze D-Sub 9-pinowe	
LMSS11	 Złącze D-Sub 9-pinowe	
LMC A/B/C/D/E/ EFC/HUB	 M16-P5P (męskie)	

Schemat połączeń

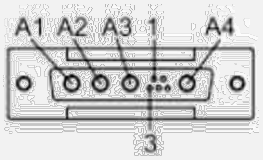
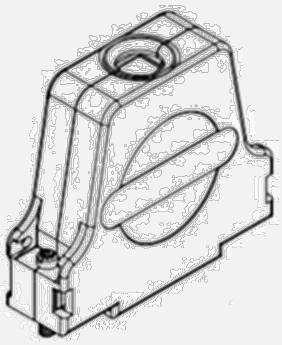
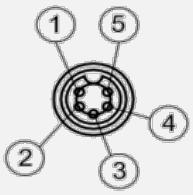
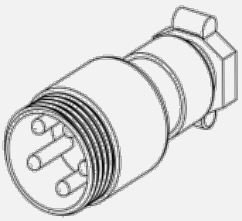
FMK3G (męskie)	Sygnał
A1	V
A2	U
A3	W
A4	GND
1	T+
3	T-
OBUDOWA	

Schemat połączeń

FMK3G (męskie)	Sygnał
A1	V
A2	U
A3	W
A4	GND
1	T+
2	T-
OBUDOWA	

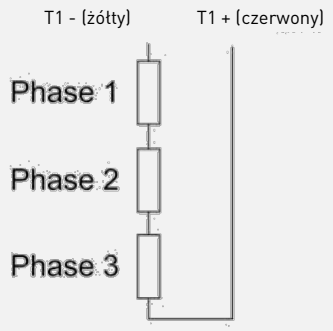
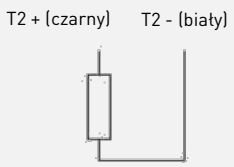
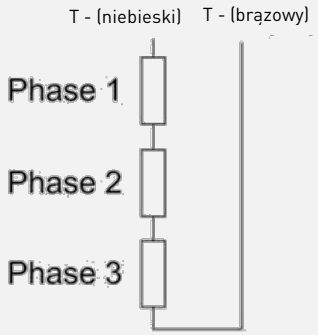
Schemat połączeń

Męskie	Sygnał
1	V
2	U
3	W
Obudowa	GND
4	T+
5	T-

Model	Złącze	Pin
LMC F/EFE/EFF	  Złącze D-Sub 9-pinowe	**Schemat połączeń** **FMK3G (męskie)** / **Sygnał** A1 / V A2 / U A3 / W A4 / GND 1 / T+ 3 / T- OBUDOWA /
LMT 2/6/A/B/C	  M16-P5P (męskie)	**Schemat połączeń** **Męskie** / **Sygnał** 1 / V 2 / U 3 / W Obudowa / GND 4 / T+ 5 / T-

6.5 Konfiguracja zabezpieczenia przed nadmierną temperaturą

Tab. 6.2: Schemat konfiguracji zabezpieczenia przed nadmierną temperaturą

	Schemat konfiguracji
PTC SNM120	
PT1000	
SKM120	

6.6 Czujnik Halla

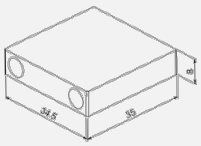
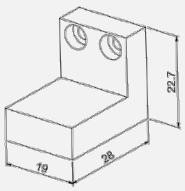
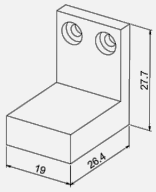
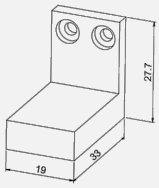
⚠ **Ostrzeżenie!** Ryzyko obrażeń spowodowanych niekontrolowanymi ruchami silnika!

Nieprawidłowo zainstalowany lub podłączony czujnik Halla może powodować niekontrolowane ruchy silnika, które mogą prowadzić do obrażeń ciała lub do uszkodzenia maszyny.

▶ Czujnik Halla może być podłączony tylko przez wyspecjalizowany personel.

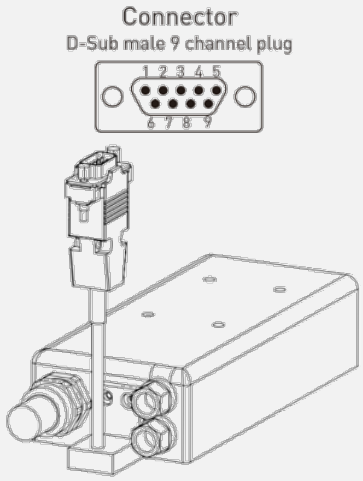
Do sterowania ruchem silnika liniowego można wykorzystać czujniki Halla, które ułatwiają znalezienie optymalnego kąta elektrycznego. Czujniki Halla można podzielić na cyfrowe i analogowe, w zależności od rodzaju wysyłanego sygnału. Cyfrowy czujnik Halla ma stosunkowo lepszą odporność na zakłócenia, jednak jego maksymalny błąd kąta elektrycznego wynosi 30°. Analogowy czujnik Halla jest bardziej podatny na zakłócenia, niemniej jednak nie generuje błędów kąta elektrycznego. Poniżej przedstawiono dalszy opis czujników Halla odpowiednio dla silników liniowych z rdzeniem żelaznym i bezrdzeniowych.

Tab. 6.3: Tabela porównawcza specyfikacji czujnika Halla z sygnałem cyfrowym dla silników liniowych z rdzeniem żelaznym

Czujnik Halla – specyfikacja	Sygnał wyjściowy	Typ wyjścia	Czujnik Halla – wymiary	Stosowna seria silników liniowych
LMAHS	Cyfrowy	Złącze		Seria LMS
LMAHS-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMAHSA	Cyfrowy	Złącze		Seria LMSA
LMAHSA-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMAHF1	Cyfrowy	Złącze		Seria LMFA0–2
LMAHF1-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMAHF2	Cyfrowy	Złącze		Seria LMFA3–6
LMAHF2-W	Cyfrowy	Goły przewód		

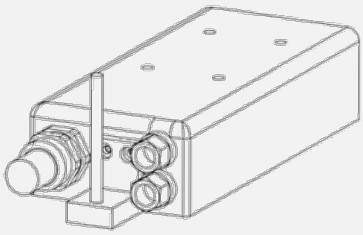
Wyjście i piny kabla sygnałowego

Przykład 1: Złącze wyjściowe i piny kabla sygnałowego



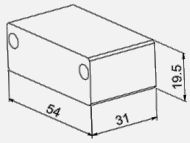
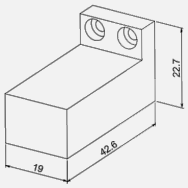
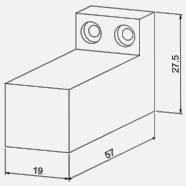
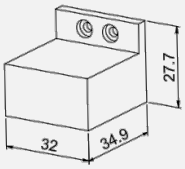
Kabel sygnałowy	
Sygnał	**Kolor**
VDC	1
Hall A (wyjście)	2
Hall B (wyjście)	3
Hall C (wyjście)	4
GND	5
⏚	Izolacja

Przykład 2: Wyjście z gołymi przewodami i piny kabla sygnałowego



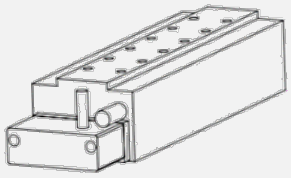
Kabel sygnałowy	
Sygnał	**Kolor**
VDC	Brązowy
Hall A (wyjście)	Biały
Hall B (wyjście)	Szary
Hall C (wyjście)	Żółty
GND	Zielony
⏚	Oplot izolacyjny

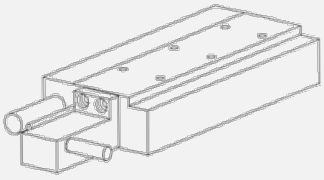
Tab. 6.4: Tabela porównawcza specyfikacji czujnika Halla z sygnałem analogowym dla silników liniowych z rdzeniem żelaznym

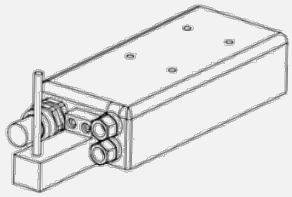
Czujnik Halla – specyfikacja	Sygnał wyjściowy	Typ wyjścia	Czujnik Halla – wymiary	Stosowna seria silników liniowych
LMAHSA-D	Analogowy	Goły przewód		Seria LMS
LMAHSAA-D	Analogowy	Goły przewód		LMSA Seria
LMAHFA1-D	Analogowy	Goły przewód		Seria LMFA0–2
LMAHFA2-D	Analogowy	Goły przewód		Seria LMFA3–6

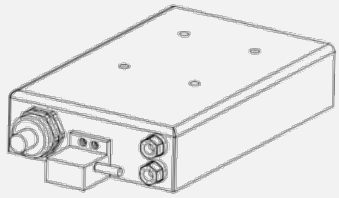
Wyjście i piny kabla sygnałowego

Przykład: Przypisanie pinów wyjściowego sygnału analogowego, kabel z gołymi przewodami



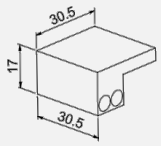
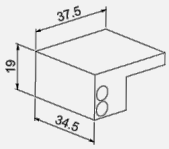
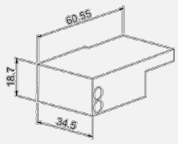
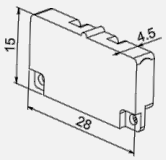




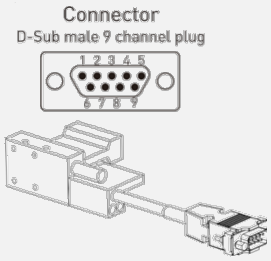


Kabel sygnałowy	
Sygnał	**Kolor**
VDC	Brązowy
A+	Czerwony
A-	Niebieski
B+	Żółty
B-	Zielony
GND	Biały
⏚	Oplot izolacyjny

Tab. 6.5: Tabela porównawcza specyfikacji czujnika Halla z sygnałem cyfrowym dla silników LMC

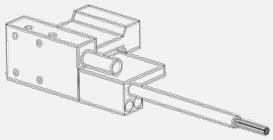
Czujnik Halla – specyfikacja	Sygnał wyjściowy	Typ wyjścia	Czujnik Halla – wymiary	Stosowna seria silników liniowych
LMAHC	Cyfrowy	Złącze		LMCA/LMCB/ Seria LMCC
LMAHC-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMAHC2	Cyfrowy	Złącze		LMCD/LMCE Seria
LMAHC2-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMAHC3	Cyfrowy	Złącze		Seria LMCF
LMAHC3-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMAHEF3	Cyfrowy	Złącze		LMC-EFC/ LMC-EFE/ Seria LMC-EFF
LMAHEF3-W	Cyfrowy	Goły przewód		

Stosowna seria silników liniowych	Wyjście i piny kabla sygnałowego
Seria LMCA/LMCB/LMCC Seria LMCD/LMCE Seria LMCF	Przykład 1: Złącze wyjściowe i piny kabla sygnałowego



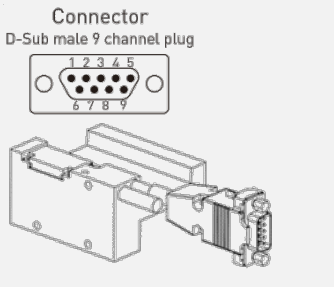
Signal cable	
Signal	Connector
Vcc	1
Hall A(out)	2
Hall B(out)	3
Hall C(out)	4
GND	5
⏚	Casing

Przykład 2: Wyjście z gołymi przewodami i piny kabla sygnałowego



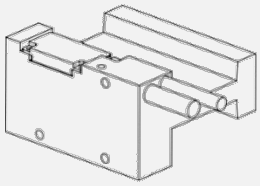
Signal cable	
Signal	Color
Vcc	Brown
Hall A(out)	White
Hall B(out)	Gray
Hall C(out)	Yellow
GND	Green
⏚	Isolation net

LMC-EFC/ LMC-EFE/ Seria LMC-EFF	Przykład 1: Złącze wyjściowe i piny kabla sygnałowego



Signal cable	
Signal	Connector
Vcc	1
Hall A(out)	2
Hall B(out)	3
Hall C(out)	4
GND	5
⏚	Casing

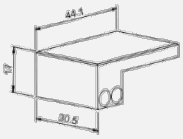
Przykład 2: Wyjście z gołymi przewodami i piny kabla sygnałowego



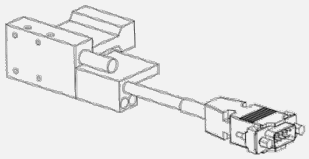
Signal cable	
Signal	Color
Vcc	Brown
Hall A(out)	White
Hall B(out)	Gray
Hall C(out)	Yellow
GND	Green
⏚	Isolation net

Czujniki LMAHEF3 i LMAHEF3-W nie są sprzedawane oddzielnie, należy je zamówić razem z odpowiednią serią forcerów. Te czujniki Halla są fabrycznie montowane na forcerze.

Tab. 6.6: Tabela porównawcza specyfikacji czujnika Halla z sygnałem analogowym dla silników LMC

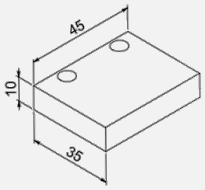
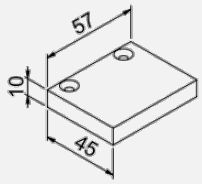
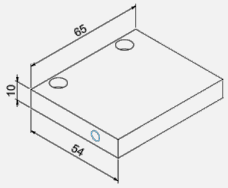
Czujnik Halla – specyfikacja	Sygnał wyjściowy	Typ wyjścia	Czujnik Halla – wymiary	Stosowna seria silników liniowych
LMAHCA-D	Analogowy	Goły przewód		LMCA/ LMCB/ Seria LMCC

Wyjście i piny kabla sygnałowego
Przykład 1: Wyjście z gołymi przewodami i piny kabla sygnałowego



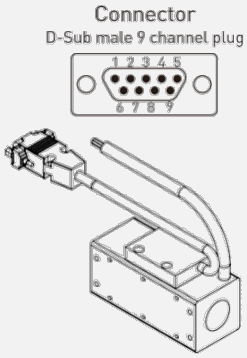
Signal cable	
Signal	Color
Vcc	Brown
A+	Red
A-	Blue
B+	Yellow
B-	Green
GND	White
⏚	Isolation net

Tab. 6.7: Tabela porównawcza specyfikacji czujnika Halla z sygnałem cyfrowym dla silników LMT

Czujnik Halla – specyfikacja	Sygnał wyjściowy	Typ wyjścia	Czujnik Halla – wymiary	Stosowna seria silników liniowych
LMDHTA	Cyfrowy	Złącze		LMTA Seria
LMDHTA-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMDHTB	Cyfrowy	Złącze		LMTB Seria
LMDHTB-W	Cyfrowy	Goły przewód		
LMDHTC	Cyfrowy	Złącze		LMTC Seria
LMDHTC-W	Cyfrowy	Goły przewód		

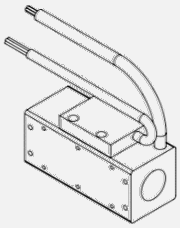
Wyjście i piny kabla sygnałowego

Przykład 1: Złącze wyjściowe i piny kabla sygnałowego



Signal cable	
Signal	Connector
Vcc	1
Hall A(out)	2
Hall B(out)	3
Hall C(out)	4
GND	5
⏚	Casing

Przykład 2: Wyjście z gołymi przewodami i piny kabla sygnałowego

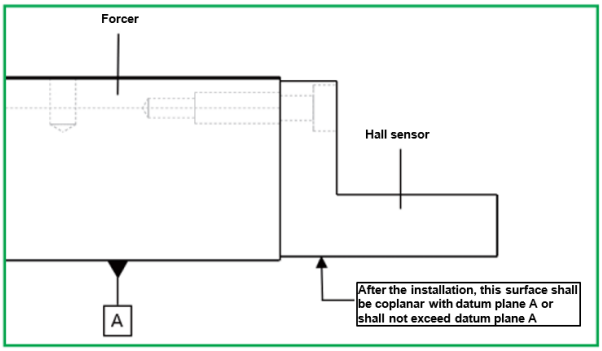


Signal cable	
Signal	Color
Vcc	Brown
Hall A(out)	White
Hall B(out)	Gray
Hall C(out)	Yellow
GND	Green
⏚	Isolation net

6.6.1 Instrukcje montażu czujnika Halla

Gdy czujnik Halla jest zamocowany na forcerze, dolna powierzchnia czujnika musi być wyrównana względem płaszczyzny odniesienia A lub nie może wykraczać poza tolerancje dla płaszczyzny odniesienia A.

Rys. 6.8: Rysunek montażowy czujnika Halla



6.6.2 Wybór śrub do czujnika Halla

W przypadku czujników Halla do silników liniowych z rdzeniem żelaznym należy stosować śruby M3. W przypadku czujników Halla do bezrdzeniowych silników liniowych istnieją różnice w zależności od numeru modelu.

Tab. 6.8: Tabela wyboru śrub do czujnika Halla

Specyfikacja śrub	Stosowna seria czujników Halla
M2	LMAHEF3, LMAHEF3-W
M3	LMAHS, LMAHS-W, LMAHSA, LMAHSA-W LMAHF1, LMAHF1-W, LMAHF2, LMAHF2-W LMAHSA-D, LMAHSAA-D, LMAHFA1-D, LMAHFA2-D LMAHC, LMAHC-W, LMAHC2, LMAHC2-W LMAHC3, LMAHC3-W, LMAHCA-D, LMDHTA, LMDHTA-W
M4	LMDHTB, LMDHTB-W, LMDHTC, LMDHTC-W

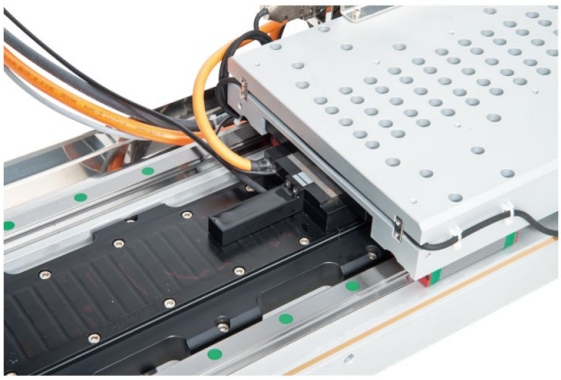
6.7 Enkoder Halla

W przypadku platform pozycjonowania z silnikami liniowymi stosowane są analogowe enkodery Halla. To dodatkowe, oprócz dostępnych na rynku przyrostowych przetworników liniowych i przetworników magnetycznych, enkodery do wyboru. Wymagają jedynie zainstalowania głowicy odczytującej, dzięki czemu można zrezygnować z przetwornika położenia enkodera, a jednocześnie osiągnąć doskonałą dokładność pozycjonowania podczas pracy z istniejącymi statorami silnika liniowego.

Cechy charakterystyczne:

- Do stosowania w połączeniu z silnikiem liniowym z rdzeniem żelaznym.
- Zastępuje przetworniki liniowe i magnetyczne.
- Łatwy do montażu.
- Odpowiedni do zastosowań z ogólnymi wymaganiami w zakresie precyzji dla długiego skoku od punktu do punktu.
- Doskonała pyłoszczelność, olejoodporność i wodoodporność.

Rys. 6.9: Zdjęcia enkodera Halla



6.7.1 Instrukcje kodowania enkodera Halla

Zasada kodowania numeru modelu produktu

Numer		1	2	3	4
Kod		LMAE	SA	A	05
1	LMAE	Seria			
2	SA	Specyfikacja: SA: praca z silnikiem liniowym LMSA F1: praca z silnikiem liniowym LMFA0 – 2 F2: praca z silnikiem liniowym LMFA3 – 6			
3	A	Sygnał: A: przyrostowy a			
4	05	Długość kabla: 0,5: 0,5 m 10: 1 m 30: 3 m 50: 5 m			

Rysunek styków sygnałowych (zob. Tab. 6.9)

Tab. 6.9: Tabela pinów sygnałowych enkodera Halla

Funkcja	Sygnał	Kolor
Zasilanie	+5 V	Brązowy
	GND	Biały
Sygnał wyjściowy	SIN+	Zielony
	SIN-	Żółty
	COS+	Niebieski
	COS-	Czerwony

6.7.2 Charakterystyka enkodera Halla

Tab. 6.10: Tabela charakterystyki enkodera Halla

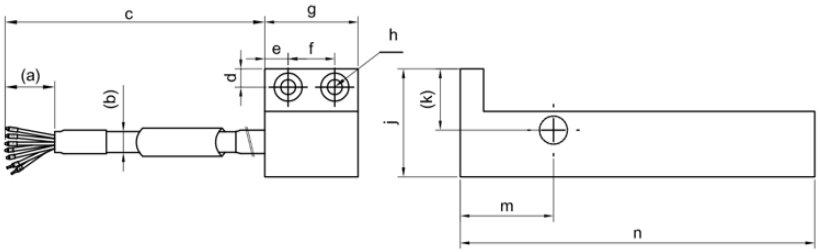
	LMAESA	LMAEF1	LMAEF2
Zasilanie	5 V ± 5%	5 V ± 5%	5 V ± 5%
Podziałka biegunowa	30 mm	30 mm	46 mm
Rozdzielczość (1)	7,5 µm	7,5 µm	11,5 µm
Powtarzalność (1)	± 15 µm	± 15 µm	± 23 µm
Dokładność (1) (2)	± 45 µm	± 45 µm	± 69 µm
Sygnał Sygnał wyjściowy	SIN/COS 1 Vp-p	SIN/COS 1 Vp-p	SIN/COS 1 Vp-p
Temperatura pracy (nie może zamarznąć)	0°C – 50°C	0°C – 50°C	0°C – 50°C
Temperatura przechowywania (nie może zamarznąć)	-5°C – 60°C	-5°C – 60°C	-5°C – 60°C

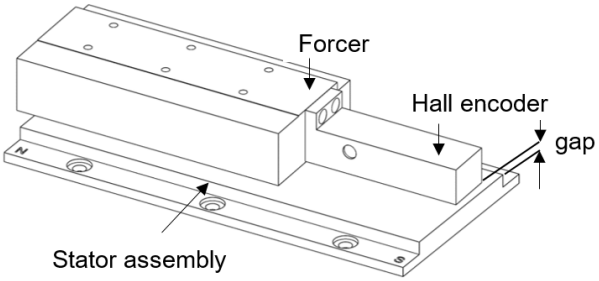
Uwaga:

- Wymaga współpracy ze sterownikiem HIWIN, podziałka 4000.
- Dokładność odnosi się do błędu po kompensacji (praca ze sterownikiem HIWIN).
- Enkoder LMAESA może być dostarczany razem z jednoosiową platformą pozycjonującą SSA o powtarzalności ± 5 µm.

6.7.3 Wymiary enkodera Halla

Rys. 6.10: Rysunek wymiarowy enkodera Halla





Tab. 6.11: Tabela wymiarów enkodera Halla

Wymiar	LMAESA-A	LMAEF1-A	LMAEF2-A
a (mm)	50	50	50
b (mm)	5, promień gięcia R = 25	5, promień gięcia R = 25	5, promień gięcia R = 25
c (mm)	500 – 5000	500 – 5000	500 – 5000
d (mm)	3,9	4,4	4,4
e (mm)	5	5	5
f (mm)	10	10	10
g (mm)	20	20	20
h (mm)	2-Ø3,5 THRU, Ø6×3DP	2-Ø3,5 THRU, Ø6×3DP	2-Ø3,5 THRU, Ø6×3DP
j (mm)	23,1	26,6	26,6
k (mm)	13,1	16,6	15,6
m (mm)	24,3	24,3	24,3
n (mm)	72,3	72,3	98,5
szczelina (mm)	1,1	1,4 (stator z osłoną)/ 1,9 (stator epoksydowany)	1,4 (stator z osłoną)/ 1,9 (stator epoksydowany)

7 Rozwiązywanie problemów

Tab. 7.1: Rozwiązywanie problemów

Symptom	Przyczyna	Działanie
Silnik nie obraca się.	Nieprawidłowe podłączenie kabli	Sprawdzić kabel podłączony do sterownika.
Niewłaściwy kierunek obrotów	Nieprawidłowe ustawienie enkodera	Sprawdzić ustawienia enkodera.
	Nieprawidłowe podłączenie kabla zasilania silnika	Zamienić miejscami dwie fazy kabla zasilania podłączonego do sterownika.
Zapach spalenizny	Nieprawidłowa praca układu chłodzenia	Sprawdzić układ chłodzenia.
	Nieprawidłowe ustawienia sterownika	Sprawdzić ustawienia sterownika.
	Nieprawidłowe ustawienia parametrów silnika	Sprawdzić ustawienia parametrów silnika.
Nieprawidłowa temperatura zewnętrznej obudowy silnika	Nieprawidłowa praca układu chłodzenia	Sprawdzić układ chłodzenia.
	Nieprawidłowe ustawienia sterownika	Sprawdzić ustawienia sterownika.
	Nieprawidłowe działanie	Sprawdzić sposób montażu.
	Nieprawidłowe wskazanie temperatury	Sprawdzić sposób montażu i uziemienie ekranu.
Niestabilny obrót (drgania)	Usterka izolacji	Sprawdzić, czy wartość oporu fazy/uziemienia jest większa niż 10 MΩ.
	Nieprawidłowo zamontowany enkoder	Sprawdzić sztywność montażową enkodera.
	Nieprawidłowy sygnał enkodera	Sprawdzić uziemienie i podłączenie enkodera.
	Zakłócenia sygnału enkodera	Sprawdzić uziemienie ekranu.
	Nieprawidłowe ustawienia sterownika	Sprawdzić ustawienia sterownika.
Problemy z obrotem lub nietypowe odgłosy tarcia	Nieprawidłowo zamontowany wirnik	Sprawdzić sposób montażu.
	W szczelinie powietrznej znajdują się obce przedmioty.	Usunąć obce przedmioty.
	Nieprawidłowa szczelina powietrzna	Sprawdzić tolerancję montażową i sztywność konstrukcji.

8 Utylizacja odpadów

⚠ **Niebezpieczeństwo!** Zagrożenie powodowane przez silny magnes!

Magnesy trwałe muszą zostać całkowicie rozmagnesowane przed dalszą obróbką.
W przeciwnym razie może to spowodować poważne uszkodzenia.

- Ponieważ w celu demagnetyzacji magnesy trwałe umieszcza się w piecu w jednorodnym, odpornym na wysokie temperatury pojemniku z materiału niemagnetycznego, demagnetyzację należy przeprowadzać w temperaturze co najmniej 300°C przez co najmniej 30 minut.

UWAGA! Niebezpieczeństwo spowodowane substancjami niebezpiecznymi dla środowiska!

Zagrożenie dla środowiska zależy od rodzaju użytej substancji.

- Odpady należy usuwać zgodne z lokalnymi przepisami i procedurami recyklingu materiałów nadających się do ponownego przetworzenia.
- Materiały odpadowe obejmują podzespoły elektroniczne, żelazo, aluminium, materiały izolacyjne, magnesy trwałe itp. Przestrzegać odpowiednich procedur recyklingu.
- Jeśli użyte materiały opakowaniowe nadają się do recyklingu, należy je poddać recyklingowi.

Gdy komponenty silnika liniowego osiągną termin przydatności do użycia, należy je odpowiednio zneutralizować przed utylizacją. Dotyczy to przede wszystkim magnesów trwałych. Jeżeli nie zostaną one rozmagnesowane zgodnie z powyższym ostrzeżeniem, mogą spowodować poważne obrażenia u pracowników.

Firma HIWIN nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek szkody, wypadki lub obrażenia spowodowane nieprzestrzeganiem powyższych środków ostrożności.

9 Dodatek

9.1 Zasady i wskazówki dotyczące wyboru śrub

- Przed przystąpieniem do montażu zespołów forcera i statora należy najpierw sprawdzić wymiary montażowe.
- Oczyścić powierzchnie montażowe zespołów forcera i statora oraz powierzchnie maszyny.
- Używać śrub zgodnych z normą DIN912 lub norma ISO 4762, o wytrzymałości 10.9.
- Używać nowych śrub i w miarę możliwości zapobiegać powtarzającemu się demontażowi i montażowi forcera i statora.
- Wielkość śrub dobrać odpowiednio do wymiarów otworu gwintowanego/otworu na śruby w forcerze i statorze.
- Po zamontowaniu statora łeb śruby nie powinien wystawać ponad powierzchnię statora.
- Podczas dokręcania śrub należy używać klucza dynamometrycznego i przestrzegać zalecanych wartości momentu dokręcania podanych w poniższej tabeli.
- W konstrukcjach ruchomych i podlegających drganiom należy zamocować śruby za pomocą kleju do śrub.

9.1.1 Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora

Tab. 9.1: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMFA

Forcer silnika LMFA		Stator silnika LMFA	
LMFA0□(L)–LMFA2□(L)	M5×0,8P×10DP	LMF0S□(E)	Ø4,5 THRU; Ø8×2DP
		LMF1S□(E)	Ø5,5 THRU; Ø10×1.5DP
LMFA0□(L)–LMFA2□(L)-P LMFP0□–2□	M5×0,8P×9DP		
		LMF2S□(E)	Ø5,5 THRU; Ø10×3.5DP
LMFA3□(L)–LMFA6□(L)	M8×1,25P×14DP	LMF3S□(E)	Ø9 THRU; Ø15×6DP
		LMF4S□(E)	Ø9 THRU; Ø15×6DP
LMFA3□(L)–LMFA6□(L)-P LMFP3□–6□	M8×1,25P×12,5DP	LMF5S□E	Ø9 THRU; Ø15×6DP
		LMF6S□E	Ø6,5 THRU; Ø10.5×6DP

Tab. 9.2: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMSA

Forcer silnika LMSA		Stator silnika LMSA		
LMSA□□(L) LMSA□□-Z	M4×0,7P×4DP		stator z osłoną	stator epoksydowany
		LMSA1S□(EA)	Ø4,5 THRU	Ø4,5 THRU, Ø8×5,7DP
		LMSA2S□(EA)	Ø5,5 THRU	Ø5,5 THRU, Ø10×5,7DP
		LMSA3S□(EA)	Ø5,5 THRU	Ø5,5 THRU, Ø10×5,7DP
		LMSACS□(EA)	Ø5,5 THRU	Ø5,5 THRU, Ø10×5,7DP

Tab. 9.3: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMSS

Forcer silnika LMSS		Stator silnika LMSS	
LMSS11	M3×0,5P×5DP	LMSS1S□	Ø4,5 THRU

Tab. 9.4: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMSC

Forcer silnika LMSC		Stator silnika LMSC	
LMSC7(L)	M8×1,25P×12DP	LMS3S□	Ø6,5 THRU, Ø11×4DP

Tab. 9.5: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMC

Forcer silnika LMC			Stator silnika LMC	
	Dolny otwór montażowy	Boczny otwór montażowy		
LMCA	M3×0,5P×4,5DP	M4×0,7P×5DP	LMCAS□	Ø5,5 THRU, Ø9,5×8DP
LMCB			LMCBS□	Ø5,5 THRU, Ø9,5×8DP
LMCC			LMCCS□	Ø6,5 THRU, Ø11×10DP
LMCD	M5×0,8P×6DP	M4×0,7P×8DP	LMCDS□	Ø6,5 THRU, Ø11×8DP
LMCE			LMCES□	Ø6,5 THRU, Ø11×8DP
LMCF		M5×0,8P×9DP	LMCFS□	Ø6,5 THRU, Ø11×8DP

Tab. 9.6: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMC-EF

Forcer silnika LMC-EF		Stator silnika LMC-EF	
	Dolny otwór montażowy		
LMC-EFC	M4×0,7P×5DP M4×0,7P×12DP	LMC-EFCS□	Ø4,2 THRU, Ø7,5×6,35DP
LMC-EFE	M4×0,7P×5DP M4×0,7P×12DP	LMC-EFES□	Ø5,5 THRU, Ø9,5×6,85DP
LMC-EFF	M5×0,8P×10DP M5×0,8P×12DP	LMC-EFFS□	Ø5,5 THRU, Ø9,5×8DP

Tab. 9.7: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera i statora silnika LMC-HUB

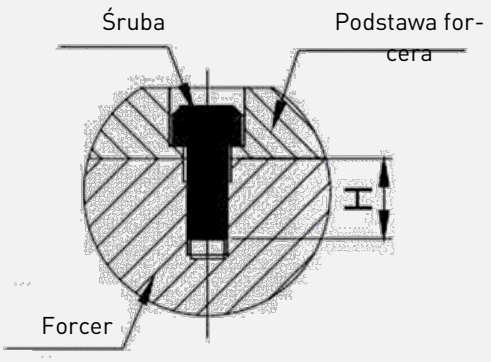
Forcer silnika LMC-HUB			Stator silnika LMC-HUB	
	Dolny otwór montażowy	Boczny otwór montażowy		
LMC-HUB	M3×0,5P THRU	M3×0,5P×3DP	LMC-HUBS□	Ø4,5 THRU, Ø8×4,5DP

Tab. 9.8: Tabela specyfikacji otworów montażowych forcera silnika LMT

Forcer silnika LMT	
LMT2	M3×0,5P×5DP
LMT6	M3×0,5P×5DP
LMTA	M4×0,7P×6DP
LMTB	M6×1,0P×9DP
LMTC	M8×1,25P×12DP

9.1.2 Tabela zalecanych głębokości wkręcania śrub forcera

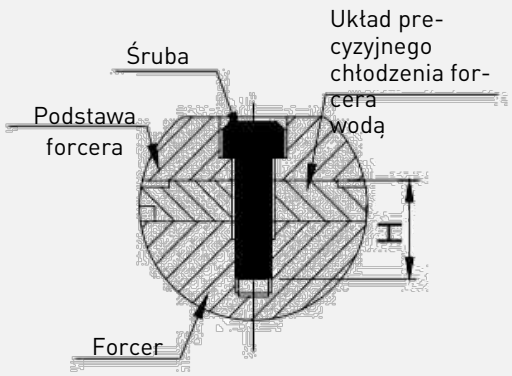
Tab. 9.9: Tabela głębokości wkręcania śrub forcera

Układ chłodzenia forcera	Specyfikacja śrub	Głębokość wkręcania śrub H(mm)	Rysunek schematyczny
LMSS	M3	4,5 $_{0/-1}$	
LMSA	M4	3,5 $_{0/-1}$	
LMFA0□-2□	M5	9 $_{0/-2,5}$	
LMFA0□-2□-P	M5	8 $_{0/-2}$	
LMFP0□-2□	M5	8 $_{0/-2}$	
LMFA3□-6□	M8	12 $_{0/-3,5}$	
LMFA3□-6□-P	M8	11 $_{0/-3}$	
LMFP3□-6□	M8	11 0/-3	
LMSC7	M8	11 $_{0/-3}$	
LMCA-C	M3 (dół)	4 $_{0/-1}$	
	M4 (bok)		
LMCD-E	M5 (dół)	5 $_{0/-1}$	
	M4 (bok)	6 $_{0/-2}$	
LMCF	M5 (dół)	5 $_{0/-1}$	
	M5 (bok)	8 $_{0/-2}$	
LMC-EFC-E	M4	4 $_{0/-1}$	
		8 $_{0/-3}$	
LMC-EFF	M5	8 $_{0/-2s}$	
LMT2□	M3	4,5 $_{0/-1}$	
LMT6□			
LMTA□	M4	5 $_{0/-1}$	
LMTB□	M6	8 $_{0/-2}$	
LMTC□	M8	11 $_{0/-3}$	

Uwaga:

W przypadku dolnych otworów gwintowanych forcerów serii LMC-EFC możliwe są dwie głębokości wkręcania, zob. rysunki katalogowe.

Tab. 9.10: Tabela głębokości wkręcania śrub forcera z układem precyzyjnego chłodzenia wodą

Układ chłodzenia forcera	Specyfikacja śrub	Głębokość wkręcania śrub H(mm)	Rysunek schematyczny
LMFA3□-6□	M8	24 $_{0/-3,5}$	
LMFA3□-6□-P	M8	23 $_{0/-3}$	
LMFP3□-6□	M8	23 $_{0/-3}$	

9.1.3 Tabela minimalnych głębokości wkręcania śrub statora

Tab. 9.11: Tabela głębokości wkręcania śrub statora

Materiał	Stal węglowa	Żeliwo	Stop aluminium
Głębokość wkręcania	1,2 × d	1,6 × d	1,8 × d

Uwaga:

Maksymalna głębokość wkręcania jest określana na podstawie otworów gwintowanych w maszynie klienta.

9.1.4 Tabela zalecanych momentów dokręcania śrub forcera i statora

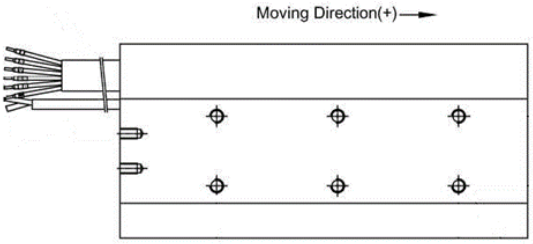
Tab. 9.12: Tabela specyfikacji momentu dokręcania śrub

Wielkość śruby	Moment (kgf-cm)	Moment (N-m)
M3 × 0,5P	15	1,5
M4 × 0,7P	34	3,3
M5 × 0,8P	69	6,8
M6 × 1,0P	118	11,6
M8 × 1,25P	286	28,1

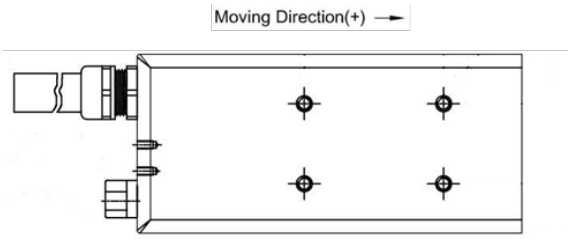
9.2 Kierunek ruchu silnika liniowego

Z rdzeniem żelaznym:

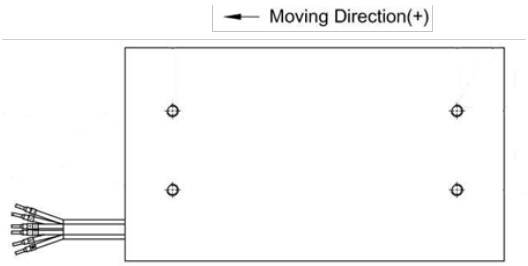
Seria LMSA



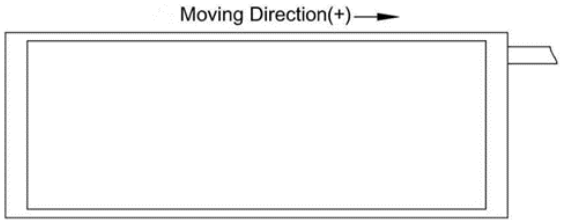
Seria LMFA



Seria LMSS

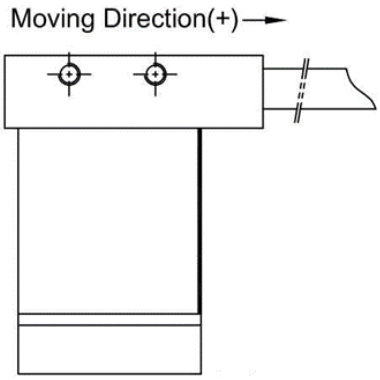


Seria LMSC

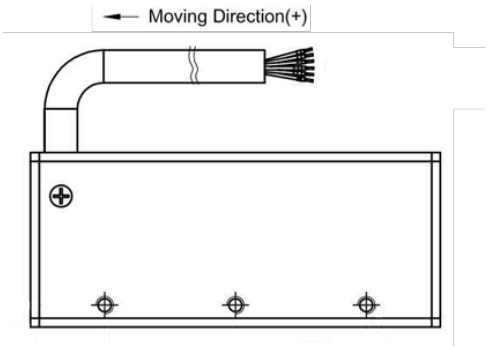


Bezrdzeniowy:

Seria LMC



Seria LMT



9.3 Wyjaśnienie terminów szczegółowych

Siła ciągła F_c [N]

Wyjściowa siła ciągu silnika pracującego w sposób ciągły bez zatrzymania w temperaturze otoczenia 25°C. Taka ciągła siła odpowiada prądowi ciągłemu I_c przyłożonemu do silnika.

Prąd ciągły I_c [A_{rms}]

Prąd dostarczany do cewki silnika w sposób ciągły w temperaturze otoczenia 25°C. Generuje prąd dla siły ciągłej.

Siła ciągła przy chłodzeniu wodą F_c(wc) [N]

Wyjściowa siła ciągu silnika pracującego w sposób ciągły bez zatrzymania przy temperaturze wody chłodzącej 20°C. Taka ciągła siła odpowiada prądowi ciągłemu I_c (wc) przyłożonemu do silnika.

Prąd ciągły (wc) I_c (wc) [A_{rms}]

Prąd dostarczany do cewki silnika w sposób ciągły przy temperaturze wody chłodzącej 20°C. Generuje prąd dla siły ciągłej (wc).

Siła szczytowa F_p [N]

Maksymalna siła ciągu, która może zostać wytworzona przez silnik w czasie nieprzekraczającym jednej sekundy. Wykorzystywana jest zazwyczaj podczas przyspieszania i hamowania.

Prąd szczytowy I_p [A_{rms}]

Chwilowa wysoka wartość prądu odpowiadająca szczytowej sile ciągu osiągniętej przez silnik, przy czym w normalnych warunkach pracy prąd szczytowy jest dopuszczalny przez jedną sekundę.

Siła niszcząca F_u [N]

Wyjściowa siła ciągu odpowiadająca prądowi niszczącemu I_u silnika.

Prąd maksymalny I_u [A_{rms}]

Pięciokrotność prądu ciągłego I_c silnika; przy którym siła ciągu wytwarzana przez silnik znajduje się w nieliniowym obszarze nasycenia, a stała siłowa maleje. Podanie takiego prądu może spowodować ryzyko przegrzania silnika, dlatego zaleca się, aby czas pracy był krótszy niż 0,5 sekundy.

Siła przyciągania F_a [N]

Siła działająca pomiędzy forcerem a statorem silnika liniowego z rdzeniem żelaznym przy znamionowej szczelinie powietrznej. Obciążenie wstępne wywierane przez tę siłę na blok ślizgowy jest przenoszone przez tor ślizgowy.

Maksymalna temperatura uzwojenia $T_{maks.}$ [°C]

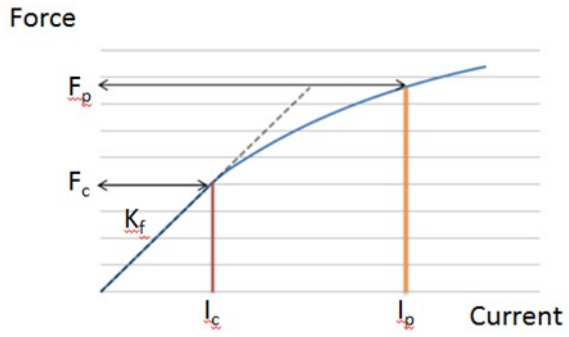
Dopuszczalna maksymalna temperatura cewki silnika. Rzeczywista temperatura równowagi silnika zależy od czynników takich jak mechanizm, metoda chłodzenia, planowanie ruchu itp. Może wystąpić pewne odchylenie od obliczeń teoretycznych, dlatego zazwyczaj stosuje się wyniki pomiarów rzeczywistych.

Elektryczna stała czasowa K_e [ms]

Czas wymagany do tego, aby prąd dostarczany do silnika osiągnął 63% wartości docelowej. Gdy wartość ta jest mniejsza, czas reakcji jest szybszy.

Stała siłowa K_f [N/A_{rms}]

Wyjściowa siła ciągu silnika przy prądzie jednostkowym. Z wyjątkiem silników serii LMFA z chłodzeniem wodą, gdy pozostałe silniki pracują są w normalnych warunkach, wyjściowa siła ciągu i prąd wejściowy zbliżają się do zależności liniowej, a na część nieliniową wpływa nasycenie rdzenia żelaznego.



Opór R_{25} [Ω]

Opór międzyprzewodowy silnika mierzona przy temperaturze cewki 25°C. Opór rośnie wraz ze wzrostem temperatury.

$$R_c = R_{25} \times (1 + 0{,}00393) \times (T_c - 25)$$

R_c: opór międzyprzewodowy w danej temperaturze

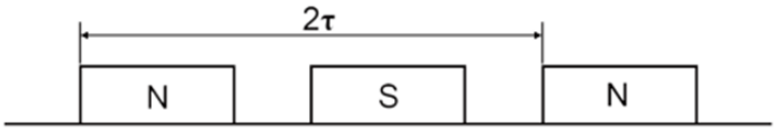
T_c: dana temperatura

Indukcyjność L [mH]

Indukcyjność międzyprzewodowa (bez statora) mierzonego silnika.

Podziałka biegunowa 2τ [mm]

Odległość pomiędzy dwoma magnesami o tej samej polaryzacji na statorze, tj. N→N lub S→S.



Stała napięciowa silnika K_v [$V_{rms}/(m/s)$]

Indukowana siła elektromotoryczna wytwarzana przy jednostkowej prędkości silnika i temperaturze magnesu 25°C. Występuje, gdy cewka wyczuje zmianę pola magnetycznego i generuje siłę elektromotoryczną, aby przeciwstawić się przepływającemu przez nią prądowi.

Stała silnika K_m [$N/\sqrt{W}$]

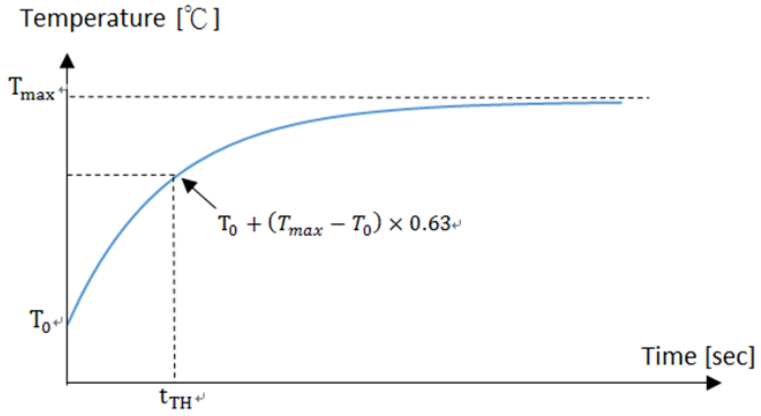
Stosunek wyjściowej siły ciągu silnika do pierwiastka kwadratowego poboru mocy przy temperaturach cewki i magnesu wynoszących 25°C. Przy wyższej stałej silnika, gdy silnik wytwarza określoną siłę ciągu, straty mocy są niższe. Stała ta jest wykorzystywana jako jeden ze wskaźników efektywności silnika.

Opór termiczny R_{TH} [°C/W]

Opór termiczny przy odprowadzaniu ciepła z wnętrza cewki silnika do otoczenia. Niski opór termiczny oznacza to, że przy tej samej ilości doprowadzonego ciepła różnica temperatur pomiędzy cewką a otoczeniem jest mniejsza, a tym samym efekt rozpraszania ciepła jest lepszy.

Termiczna stała czasowa t_{TH} [s]

Czas wymagany do wzrostu temperatury początkowej cewki T_0 do 63% maksymalnej temperatury uzwojenia $T_{maks.}$ przy zasilaniu silnika prądem ciągłym.



Minimalne natężenie przepływu (l/min)

Minimalne natężenie przepływu chłodziwa wymagane do osiągnięcia przez silnik siły ciągłej przy chłodzeniu wodą o znamionowej temperaturze $F_c(wc)$.

Temperatura wody chłodzącej [°C]

Temperatura, którą musi osiągnąć chłodziwo silnika przy minimalnym natężeniu przepływu, aby uzyskać siłę ciągłą przy chłodzeniu wodą $F_c(wc)$.

Spadek ciśnienia ΔP [bar]

Różnica ciśnień pomiędzy wlotem a wylotem, gdy przepływ chłodziwa jest niższy od minimalnego natężenia przepływu.

Maksymalna prędkość przy sile szczytowej $V_{maks.,F_p}$ [m/s]

Maksymalna prędkość, jaką może osiągnąć silnik przy sile szczytowej. Parametr ten zależy od maksymalnego napięcia międzyzwojowego.

Maksymalny pobór mocy elektrycznej $P_{EL,maks.,}$ [W]

Wymagana moc wejściowa dla silnika pracującego z maksymalną prędkością przy sile szczytowej $V_{maks.,F_p}$ i z maksymalną odprowadzaną mocą cieplną $Q_{P,H,maks.}$.

Maksymalna odprowadzana moc cieplna $Q_{P,H,maks.}$ [W]

Ciepło wytwarzane przez cewkę silnika, gdy cewka ma maksymalną temperaturę $T_{maks.}$.

Prąd trzymania I_0 [A_{rms}]

Górna granica prądu, który może być dostarczony w warunkach, gdy silnik znajduje w temperaturze otoczenia 25°C i w stanie zablokowanego wirnika. Wartość ta jest związana z kryteriami rozpraszania ciepła.

Siła trzymania F_0 [N]

Górna granica siły ciągu, która może być zapewniona, gdy silnik znajduje się w stanie krótkiego skoku (skok mniejszy niż podziałka biegunowa 2τ) i w stanie zablokowanego wirnika. Wartość ta jest ograniczona przez prąd trzymania.

Maksymalne napięcie międzyzwojowe [VDC]

Maksymalne napięcie międzyzwojowe, które może być wykorzystane przez silnik w normalnych warunkach pracy.

10 Deklaracja zgodności

z dyrektywą niskonapięciową WE 2014/35/UE

Nazwa i adres producenta:

HIWIN MIKROSYSTEM CORP
No.6, Jingke Central Rd.,
Taichung Precision Machinery Park,
Taichung 40852, Tajwan

Niniejsza deklaracja odnosi się wyłącznie do maszyny w stanie, w jakim została ona wprowadzona na rynek, i nie obejmuje elementów dodawanych lub czynności wykonywanych później przez użytkownika końcowego. Deklaracja traci ważność, jeśli produkt zostanie zmodyfikowany bez uzgodnienia.

Niniejszym oświadczamy, że maszyna opisana poniżej:

Nazwa produktu	Elektryczne systemy napędowe (napędy silnikowe)
Model/typ:	**Silnik liniowy** LMC, LM F, LM FA, LMS, LMSA, LMSC
Rok produkcji:	Od 2019 r.

spełnia wszystkie zasadnicze wymagania dyrektywy niskonapięciowej 2014/35/UE. Ponadto produkt jest zgodny z dyrektywą RoHS 2011/65/UE oraz dyrektywą zmieniającą 2015/863/WE.

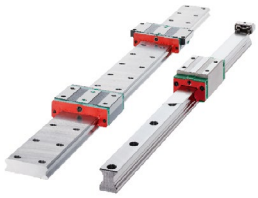
Stosowane normy zharmonizowane:

Dyrektywa o kompatybilności elektromagnetycznej 2014/30/UE
EN 60034-1 Maszyny elektryczne wirujące – Część 1: Dane znamionowe i parametry 2010 + kor.: 2010
2001 + A1: 2007
EN 60034-5 Maszyny elektryczne wirujące – Część 5: Stopnie ochrony zapewniane przez
rozwiązania konstrukcyjne maszyn elektrycznych wirujących (kod IP) – Klasyfikacja

Dodatkowe objaśnienia:

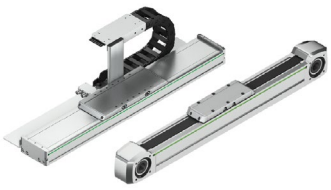
Ten produkt jest komponentem wbudowanym, który może nie spełniać wszystkich wymagań stawianych kompletnym urządzeniom, maszynom lub instalacjom. Dlatego można go używać tylko jako komponentu wbudowanego. Produkt może zostać oceniony pod względem bezpieczeństwa elektrycznego i mechanicznego dopiero po zainstalowaniu go w produkcie końcowym. Właściwości w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej mogą ulec zmianie po zainstalowaniu komponentu. Z tego powodu producent ma obowiązek przeprowadzić przegląd produktu końcowego (kompletnego urządzenia, maszyn lub instalacji).

Wprawiamy w ruch.

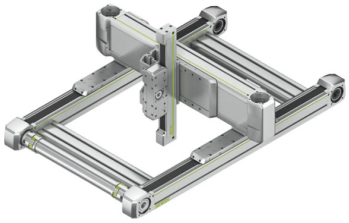


Prowadnice szynowe

Napędy śrubowo-toczne



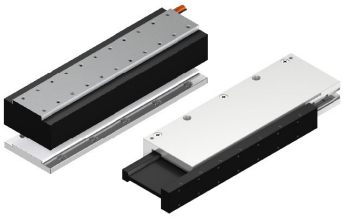
Osie liniowe



Systemy liniowe

Silniki momentowe

Roboty



Silniki liniowe

Stoły obrotowe

Sterowniki i silniki serwo

Niemcy
HIWIN GmbH
Brücklesbünd 1
77654 Offenburg
Deutschland
Fon +49 781 93278-0
info@hiwin.de
hiwin.de

Tajwan
Headquarters
HIWIN Technologies Corp.
Nr. 7, Jingke Road
Precision Machinery Park
Taichung 40852
Táiwān
Fon +886 4 2359-4510
business@hiwin.tw
hiwin.tw

Tajwan
Headquarters
HIWIN Corp.
No. 6, Jingke Central Road
Precision Machinery Park
Taichung 40852
Táiwān
Fon +886 4 2355-0110
business@hiwinmikro.tw
hiwinmikro.tw

Francja
HIWIN GmbH
4 Impasse Joffre
67202 Wolfisheim
Frankreich
Fon +33 3 882884-80
contact@hiwin.fr
hiwin.fr

Polska
HIWIN GmbH Biuro Warszawa
ul. Puławska 405a
02-801 Warszawa
Polska
Fon +48 22 46280-00
info@hiwin.pl
hiwin.pl

Szwajcaria
HIWIN (Schweiz) GmbH
Eichwiesstraße 20
8645 Jona
Schweiz
Fon +41 55 22500-25
sales@hiwin.ch
hiwin.ch

Włochy
HIWIN Srl
Straße Pitagora 4
20861 Brugherio (MB)
Italia
Fon +39 039 28761-68
info@hiwin.it
hiwin.it

Słowacja
HIWIN s.r.o., o.z.z.o.
Mládežnicka 2101
01701 Považská Bystrica
Slovensko
Fon +421 424 4347-77
info@hiwin.sk
hiwin.sk

Czechy
HIWIN s.r.o.
Medkova 888/11
62700 Brno
Česká republika
Fon +42 05 48528-238
info@hiwin.cz
hiwin.cz

Dania
HIWIN GmbH
info@hiwin.dk
hiwin.dk

Holandia
HIWIN GmbH
info@hiwin.nl
hiwin.nl

Austria
HIWIN GmbH
info@hiwin.at
hiwin.at

Ungarn
HIWIN GmbH
info@hiwin.hu
hiwin.hu

Rumunia
HIWIN GmbH
info@hiwin.ro
hiwin.ro

Słowenia
HIWIN GmbH
info@hiwin.si
hiwin.si

Chiny
HIWIN Corp.
hiwin.cn

Japonia
HIWIN Corp.
info@hiwin.co.jp
hiwin.co.jp

USA
HIWIN Corp.
info@hiwin.com
hiwin.us

Korea
HIWIN Corp.
hiwin.kr

Singapur
HIWIN Corp.
hiwin.sg