1. **Cel postępowania:**

Celem postępowania jest zrealizowanie pełnego sterowania „pod klucz” dla modelowej walcarki
do pierścieni, która jest wykonana w metalu i posiada pełne rozwiązania mechaniczne. Dostawca dostarcza napędy do poszczególnych walców, składające się z ośmiu serwomechanizmów, jednego motoreduktora z silnikiem prąd przemiennego z enkoderem w układzie z przemiennikiem częstotliwości (motoreduktor dostarczony przez Zamawiającego), sterownika obiektowego wraz z analogowymi oraz cyfrowymi modułami wejść/wyjść, panelu operatorskiego.

Ze względu na ilość koniecznych elementów do zamówienia i prac przetarg podzielono na dwa etapy:

*Etap 1:*

Należy dostarczyć pełne zestawy napędowe wraz z śrubami pociągowymi (*zgodnie z opisem w pkt 4)*do zrealizowania ruchów poszczególnych walców wraz z szafą elektryczną i okablowaniem pomiędzy szafą, a poszczególnymi napędami.

Czas realizacji: do 31.12.2022 r.

*Etap 2:*

Wykonanie pełnego sterowania wraz z dostarczeniem wszystkich koniecznych elementów dla pełnego działania urządzenia wg przedstawionego poniżej opisu.

Czas realizacji: 10 miesięcy (rozpoczęcie w ciągu 7 dni od zakończenia pierwszego etapu)

1. **Opis działania instalacji:**

Zamawiający określa parametry wejściowe, poprzez podanie wymiarów pierścienia wsadowego,
na którym ma być wykonywany proces walcowania. Po umieszczeniu pierścienia wsadowego o temp. 600°C w walcarce następuje dosunięcie trzpienia do średnicy wewnętrznej pierścienia wsadowego,
a następnie dosunięcie średnicą zewnętrzną do styku z walcem głównym. Proces walcowania rozpoczyna się od uruchomienia walca głównego z zdefiniowaną stałą prędkością obrotową, jednocześnie rozpoczyna się posuw trzpienia ze zdefiniowaną prędkością liniową w kierunku walca głównego, powodując przeformowanie obracającego się pierścienia wsadowego. Trzpień w procesie obraca z prędkością wymuszoną przez obrót pierścienia wsadowego. Walce centryczne kontrolują proces formowanego pierścienia podczas jego przyrostu średnicy w czasie. Prędkość posuwu walców centrycznych jest zmienna w czasie. Walce stożkowe kontrolują zmianę wysokości walcowanego pierścienia. Dodatkowo wspomagają ruch obrotowy pierścienia oraz poruszają się ruchem liniowym
w przeciwnym kierunku do ruchu trzpienia. W pierwszej fazie walcowania pierścienia walce stożkowe kontrolują wysokość pierścienia nie przemieszczają się ruchem liniowym, jedynie zadanym zmiennym ruchem obrotowym. Gdy walcowany pierścień osiąga zdefiniowaną średnicę zewnętrzną
(ok. 1/4 od podstawy walca), następuje załączenie ruchu liniowego układu walców stożkowych. Położenie walcowanego pierścienia na walcach stożkowych ma być stałe podczas dalszego procesu. Górny walec stożkowy wykonując ruch pionowy w kierunku stałego dolnego walca stożkowego redukuje wysokość walcowanego pierścienia. Posuw górnego walca stożkowego jest zdefiniowany
i zsynchronizowany z posuwem trzpienia. Po osiągnięciu zadanego wymiaru średnicy zewnętrznej, walcarka przechodzi w tryb kalibracji kształtu pierścienia. Polega on na wykonaniu zadanej liczby obrotów pierścienia lub czasu przy stałym (końcowym) ustawieniu walców. Należy przewidzieć możliwość przedłużenia procesu kalibracji o parametryzowaną liczbę obrotów lub dodatkowy czas.

Z pozyskanych przez nas informacji, do sterowania walcarki laboratoryjnej możliwe jest zastosowanie dwóch metod sterowania: wału wirtualnego lub metody numerycznej. W dalszej części opisano wymagania jakie muszą być spełnione dla obu metod. Wykonawca wybiera jedną z metod sterowania.

* 1. **Dane wejściowe / wyjściowe procesu:**
* Średnica walca głównego.
* Średnica trzpienia.
* Obroty walca głównego.
* Zdefiniowanie pierścienia wsadowego – średnica zewnętrzna, średnica wewnętrzna, wysokość.
* Zdefiniowanie końcowego wymiaru pierścienia – średnica zewnętrzna, średnica wewnętrzna, wysokość. Osiągnięcie zadanego wymiaru średnicy zewnętrznej kończy proces zasadniczy walcowania i maszyna przechodzi do kalibracji końcowej pierścienia.
* Określenie przebiegu zmienności parametrów pracy (prędkości liniowych, obrotów itp.) poszczególnych walców w oparciu o metodę wału wirtualnego lub metodę numeryczną.
* Wybór rodzaju ustawienia trzpienia (prosty, pochylony, wahliwy) z możliwością określenia kąta trzpienia, czasu opóźnienia, załączenia, pracy pochylonej i zdefiniowanie etapu końcowego.

*Dane generowane przez system sterowania*

* Dla metody wału wirtualnego
* Zaaplikowanie do systemu krzywek dla poszczególnych walców wyznaczonych
do realizacji procesu walcowania pierścienia przez operatora.
* Dla metody numerycznej.
* Wygenerowanie na podstawie powyższych danych krok po kroku procesu walcowania pierścienia (przyrost średnicy w powiązaniu z redukcją wysokości), który obejmuje:
	+ Przeliczenie gniotu pierścienia na obrót pierścienia na prędkość przemieszczania
	się trzpienia w czasie.
	+ Przeliczenie prędkości przemieszczania się w pionie walca stożkowego górnego
	na podstawie różnicy wysokości wsadu i pierścienia docelowego.
* Na podstawie powyższych danych generowana jest prędkość pracy poszczególnych walców:
	+ Prędkości obrotowej i liniowej walców stożkowych.
	+ Prędkości liniowej walców centrycznych.

*Dane wyjściowe procesu (widoczne na ekranie):*

Będą uzależnione od wyboru metody sterowania (metoda numeryczna / wału wirtualnego). Obejmować powinny wszystkie konieczne parametry do zrealizowania procesu walcowania pierścienia. Z podstawowych dla obu systemów użytkownik powinien otrzymać informacje na bieżąco zawierającą co najmniej:

* Czas trwania procesu,
* Średnica wewnętrzna,
* Średnica zewnętrzna,
* Wysokość pierścienia.
	1. **Kontrola procesu walcowania**

Ze względu na zaawansowaną kinematykę maszyny ważne jest kontrolowanie istotnych parametrów pierścienia podczas walcowania, takich jak:

* Średnica zewnętrzna pierścienia – pomiar ciągły realizowany przez czujnik fotoelektryczny.
* Średnica wewnętrzna pierścienia – na podstawie danych położenia trzpienia z serwonapędu.
* Wysokość pierścienia – na podstawie danych położenia górnego walca stożkowego z serwonapędu.
* Podczas procesu odbywa się ciągły pomiar średnicy zewnętrznej kształtowanego pierścienia. Na podstawie danych z serwonapędów znana i podawana jest również średnica wewnętrzna jak i wysokość pierścienia.
	1. **Zapis parametrów walcowania**

System ma umożliwiać zapis danych procesowych do pliku \*.csv  na zewnętrznym nośniku USB. Próbkowanie danych powinno mieć możliwość ustawiana w zakresie 0,5s – 1s. Dane, które mają być zapisywane w pliku:

* Nazwa pliku:
	+ Definiowana nazwa procesu/materiału/temperatura podczas zadawania parametrów wstępnych (tekstowa).
* Jednorazowo na początku pliku:
	+ Data, godzina rozpoczęcia i zakończenia procesu.
	+ Definiowana nazwa procesu/materiału podczas zadawania parametrów wstępnych (tekstowa).
* Co zdefiniowany okres (np. 0,5s):
	+ znacznik czasowy od rozpoczęcia procesu,
	+ obciążenie na serwosilnikach,
	+ procentowy udział momentu nominalnego serwosilnika,
	+ średnica wewnętrzna,
	+ średnica zewnętrzna,
	+ wysokość materiału,
	+ prędkość obrotowa,
	+ położenia w czasie wszystkich napędów.

Kolejność danych w pliku zostanie ustalona na etapie wykonawstwa.

1. **Realizacja sterowania:**
* Sterownik PLC:

Wykonawca zaprogramuje tak sterownik PLC, aby realizował algorytm sterowania oraz wszystkie zależności pomiędzy urządzaniami wynikające z dokumentacji wykonawczej.

* Panel HMI:

Wykonawca zaprogramuje panel z uwzględnieniem koncepcji. Rozdzielczość min 1920x1080 FHD, przekątna min. 20”.

Panel HMI powinien zostać umieszczony na pulpicie wolnostojącym. Ponadto na pulpicie mają się znaleźć: przyciski sterujące [START, PAUZA, STOP, RESET], impulsatory regulujące prędkości poszczególnych napędów, wyłącznik bezpieczeństwa. Pulpit na panel ma zostać dostarczony przez Wykonawcę. Położenie pulpitu zostanie ustalone na etapie wykonawstwa. Odległość od szafy nie więcej niż 6m.

* Komputer przemysłowy z monitorem min. 20”

Komputer przemysłowy z modułem SCADA powinien zostać umieszczony na pulpicie wolnostojącym. Ponadto na pulpicie mają się znaleźć: przyciski sterujące [START, PAUZA, STOP, RESET], impulsatory regulujące prędkości poszczególnych napędów, wyłącznik bezpieczeństwa. Położenie pulpitu zostanie ustalone na etapie wykonawstwa. Odległość od szafy nie więcej niż 6m.

* Serwowzmacniacze:

Wykonawca sparametryzuje i skalibruje sterowniki serwomechanizmu do aplikacji z zależnościami wynikającymi z dokumentacji wykonawczej.

* Korekta pracy walcarki:

Wytyczne dla sterownika PLC pozwalają na podpięcie impulsatorów do ręcznej regulacji pracy poszczególnych napędów. W przypadku wybranej metody do realizacji należy wykonać:

-Dla metody numerycznej sterowania walcarki ze względu na zaawansowany algorytm sterujący podczas procesu, tylko zmiana na impulsatorów prędkości posuwu trzpienia będzie powodować równoczesne przeliczenie całego procesu i nadanie nowych prędkości dla poszczególnych walców. Pracę pozostałych walców będzie można również korygować manualnie, ale nie spowoduje to zmian w prędkościach pracy pozostałych walców. Ma to być korekta prędkości tylko tego jednego napędu (dwóch napędów w przypadku pracy synchronicznej). Należy dopuścić zmianę prędkości wszystkich napędów.

-Dla metody wału wirtualnego impulsatorów pozwalają jedynie na korektę przebiegu wybranej krzywej dla danego walca. Ponadto do każdego impulsatorów są dodane przełączniki między rodzajami korekty: przesunięcie, mnożenie, dzielenie itp. (wg ustaleń z wykonawcą, min. 3 opcje).

* Zależności między osiami:

Walce centryczne pełnią bardzo ważną rolę, gdyż kontrolują położenie kształtowanego pierścienia w układzie kinematycznym maszyny. Mają duży wpływ na uzyskanie właściwego kształtu pierścienia. Walce centryczne przemieszczają się stycznie do kształtowanego pierścienia i niezależnie od przyrostu średnicy walcowanego pierścienia zawsze tworzą stały kąt 120֯. Napędy walców centrycznych powinny pracować z synchronizacją nadążną uwzględniając opóźnienia transmisji i kompensując je lub pracować w synchronizacji bez opóźnień poprzez pracę za pomocą wirtualnej osi zaprogramowanej w sterowniku lub zastosowania serwowzmacniacza dwuosiowego.

Napędy osi walców stożkowych powinny pracować z synchronizacją nadążnej uwzględniając opóźnienia i kompensując je lub pracować w synchronizacji bez opóźnień poprzez pracę za pomocą wirtualnej osi zaprogramowanej w sterowniku lub zastosowania serwowzmacniacz dwuosiowego.

Praca napędów trzpienia powinna być zsynchronizowana uwzględniając opóźnienia transmisji lub redukując je poprzez zastosowanie serwowzmacniacza dwuosiowego. Za średnicę wewnętrzną kształtowanego pierścienia przyjmuje się średnią średnicę na całej wysokości pierścienia. Powstaje ona z przeliczenia położenia trzpienia na wysokości obu napędów.

Należy przewidzieć cztery tryby pracy napędów układu trzpień-walec:

* Układ równoległy, gdzie synchronizacja między osiami jest liniowa przez cały proces walcowania.
* Układ wychylny pod kątem dodatnim lub ujemnym, proces zaczyna się od równoległego ułożenia osi trzpienia, stopniowo przechodzi do wartości zadanego kąta i kontynuuje proces do momentu osiągnięcia zadanej średnicy w układzie zachowania tego kąta lub w końcowej fazie przechodzi w układ równoległy.
* Układ wychylny o zmiennym w czasie wychyleniu, gdzie uruchamiana jest synchronizacja nieliniowa. Wykres pracy nieliniowej oraz zależności w czasie między osiami przedstawi Zamawiający. Przewiduje się, że w wychylnej pracy trzpienia osią prowadzącą (Master) ma być górny napęd trzpienia. Za geometryczny punkt pochylenia trzpienia należy przyjąć połowę wysokości zmieniającej się wysokości pierścienia podczas walcowania. Proces może zakończyć się w trzech wariantach:
	+ Równolegle w układzie serwo-trzpień.
	+ W układzie wychylnym pod kątem dodatnim.
	+ W układzie wychylnym pod kątem ujemnym.

Napęd walca głównego zasilany jest z dostarczonego przez Zamawiającego motoreduktora. Należy zastosować dodatkowy moduł enkoderowy dedykowany do falownika zasilającego silnik. Pozwoli to na precyzyjniejsze zadawania prędkości obrotowej wsadu. Średnica walca głównego jest parametryzowana.

* Wykonawca zaprojektuje szafę sterowniczą z uwzględnieniem wstępnych założeń Zamawiającego j.n.:

Szafa zasilająco sterownicza powinna mieć pola odpływowe do zasilenia obwodów:

* 8 serwosilników,
* Silnika indukcyjnego.

Szafa powinna być wyposażona w:

* Sterownik PLC z interface Ethernet (lub inną dedykowaną siecią) do komunikacji serwowzmacniaczami, falownikiem. Sterownik powinien realizować funkcje SAFETY. Sterownik wyposażony w nieulotną pamięć na wartości wymagające zachowania w nieulotnej pamięci po zaniku zasilania.
* Falownik ze sprzężeniem zwrotnym prędkości obrotowej napędu walca głównego.
* Serwowzmacniaczy do zasilania ośmiu serwosilników z komunikacją z enkoderem z drugim pasującym enkoderem.
* Rozłącznik główny.
* Wyłącznik bezpieczeństwa.
* Styczniki obwodów bezpieczeństwa.
* 2 zasilacze 230/24.
* Złączki zaciskowe do podłączenia okablowania zewnętrznego.
* Zabezpieczenia obwodów sterowniczych i zasilających.
* Wentylację mechaniczną (przewidywana maksymalna temperatura otoczenia 30°C.
* Kolumnę sygnalizacyjną na szafie.

Wszystkie kable połączeniowe zapewnia Wykonawca. Kabel przyłączeniowy do szafy elektrycznej zapewnia Zamawiający. Prowadzenie kabli powinno się odbywać w korytach kablowych siatkowanych z pokrywami zapinanymi na dedykowane spinki. W przypadku prowadzenia kabli poza korytem kablowym należy stosować peszel ochronny.

Położenie szafy sterowniczej ok. 5m od walcarki. Szafa wyposażona w odpowiednio dobraną wentylację mechaniczną. Przewidywana maksymalna temperatura w miejscu montażu ok. 30°C. Kable do serwosilników zaleca się by były hybrydowe, to znaczy jeden kabel zawierający połączenia mocy silnika oraz komunikacyjne enkodera serwosilnika. Długość kabli min. 10m.

Do pomiaru średnicy zewnętrznej należy dostarczyć czujnik fotoelektryczny. Czujnik powinien zostać zamontowany pomiędzy walcami stożkowymi. Zamawiający dostarczy uchwyty montażowe po dostarczeniu przez Wykonawcę specyfikację wybranego elementu. Czujnik powinien być odporny na emisję ciepła do 600°C. Głównymi stopami materiału emitującego będzie aluminium, magnez oraz stal. Do wskazania średnicy zewnętrznej należy przyjąć średnią wartość z dziesięciu ostatnich próbek. Średnica materiału zostanie przeliczona na podstawie odczytu z czujnika oraz położenia napędu liniowego układu walców stożkowych.

1. **Opis wymagań dla napędów dla poszczególnych walców.**

Charakter pracy napędów: Napędy charakteryzują się:

* krótkim czasem pracy – wartości minutowe,
* pod pełnym obciążeniem z możliwością przeciążenia.

Ze względu na przyjęte napędy mechaniczne w projekcie obarczone są luzami wewnętrznymi wymaga się doboru przekładni o pomniejszonym luzie wewnętrznym dla walców centrycznych.

Ze względu na przyjęte napędy mechaniczne w projekcie obarczone są luzami wewnętrznymi zaleca się dobór przekładni o pomniejszonym luzie wewnętrznym dla walców: trzpienia, stożkowych.

Wymiary przyłączeniowe przyjęto jako standardowe dla wielu producentów, dopuszcza się zastosowanie elementów przejściowych w przypadku niezgodności określonych wymiarów. Wykonanie elementów przejściowych po stronie Wykonawcy.

* 1. **Trzpień**

Siłownik śrubowy z śrubą przesuwną z serwomechanizmem. Siłownik śrubowy w układzie dwóch przekładni ślimakowej i walcowej.

* prędkość linowa przesuwu na śrubie: V = 0,25-2,5mm/sekundę,
* siła na śrubie Qdn= 80kN w pełnym zakresie prędkości,
* zdefiniować momenty bezwładności w układzie napędowym.

Wymagania dotyczące siłownika śrubowego:

* średnica mocowania na kołnierzu przekładni ślimakowej – φ90 mm;
* rozstaw śrub mocujących na średnicy φ196 mm. Śruba o wymiarze M12 x 22 – 8 sztuk równomiernie kątowo na całym okręgu;
* rozstaw osi ślimak – ślimacznica – 100 mm;
* przekładnia walcowa: odległość między wejściem, a wyjściem: 50 mm.

Realizacja ruchu:

* śruba trapezowa TR-60x9x526 mm, podłączenie do talerza mocującego typu T – M36;
* talerz mocujący typ T o średnicy zewnętrznej φ145 mm, rozstaw otworów fi 16 na średnicy 110 mm co 90 stopni;
* kable długość: min. 7 m.

Ilość: 2 komplety.

* 1. **Napęd walca górnego stożkowego**

Siłownik śrubowy z śrubą przesuwną z serwomechanizmem. Siłownik śrubowy w układzie dwóch przekładni ślimakowej i walcowej.

* prędkość linowa przesuwu na śrubie: V= 0,2-2 mm/sekundę;
* siła na śrubie Qdn= 80kN w pełnym zakresie prędkości.

Wymagania dotyczące siłownika śrubowego:

* średnica mocowania na kołnierzu przekładni ślimakowej – φ90 mm;
* rozstaw śrub mocujących na średnicy φ196 mm. Śruba o wymiarze M12 x 22 – 8 sztuk równomiernie kątowo na całym okręgu;
* rozstaw osi ślimak – ślimacznica – 100 mm;
* przekładnia walcowa: odległość między wejściem, a wyjściem: 50 mm.

Realizacja ruchu:

* śruba trapezowa TR-50x8x526 mm, podłączenie do talerza mocującego typu T – M36;
* talerz mocujący typ T o średnicy zewnętrznej φ145 mm, rozstaw otworów fi 16 na średnicy 110 mm co 90 stopni;
* kable długość: min. 7 m.

Ilość: 1 komplet.

* 1. **Napęd liniowy układu walców stożkowych**

Siłownik śrubowy z śrubą przesuwną z serwomechanizmem. Siłownik śrubowy w układzie dwóch przekładni ślimakowej i walcowej.

* prędkość linowa przesuwu na śrubie: V= 1,4-14 mm/sekundę
* siła na śrubie Qdn= 50kN w pełnym zakresie prędkości

Wymagania dotyczące siłownika śrubowego:

* średnica mocowania na kołnierzu przekładni ślimakowej – φ90 mm;
* rozstaw śrub mocujących na średnicy φ196 mm. Śruba o wymiarze M12 x 22 – 8 sztuk równomiernie kątowo na całym okręgu;
* rozstaw osi ślimak – ślimacznica – 100 mm;
* przekładnia walcowa: odległość między wejściem, a wyjściem: 50 mm.

Realizacja ruchu:

* śruba trapezowa TR-50x8x980 mm, podłączenie do talerza mocującego typu T – M36;
* talerz mocujący typ T o średnicy zewnętrznej φ145 mm, rozstaw otworów fi 16 na średnicy 110 mm co 90 stopni;
* kable długość: min. 7 m;

Ilość: 1 komplet.

* 1. **Napęd obrotowy walców stożkowych**
* Przekładnia planetarna z wałem zdawczym w jednej osi z serwomechanizmem. Kołnierz od strony wału zdawczego.
* Zakres prędkości obrotowej na wale wyjściowym nw= ( 85-317 ) obr/min;
* Moc obliczeniowa P =7,5 kW.

Wymagania dotyczące przekładni planetarnej:

* Średnica mocowania na kołnierzu przekładni ślimakowej – φ130 mm;
* Rozstaw śrub mocujących na średnicy φ165 mm. Śruba o wymiarze M12 x 22 – 4 sztuki równomiernie kątowo na całym okręgu;
* Kable długość: min. 7 m.

Ilość: 2 komplety.

* 1. **Napęd liniowy walców centrycznych**

Siłownik śrubowy z śrubą obrotową z serwomechanizmem. Siłownik śrubowy w układzie dwóch przekładni ślimakowej i walcowej.

* prędkość linowa przesuwu na śrubie: V= 0,7-7 mm/sekundę ;
* siła na śrubie Qdn= 25kN w pełnym zakresie prędkości

Wymagania dotyczące siłownika śrubowego:

* średnica mocowania na kołnierzu przekładni ślimakowej – φ75 mm;
* rozstaw śrub mocujących na średnicy φ160 mm. Śruba o wymiarze M10 x 23 – 8 sztuk równomiernie kątowo na całym okręgu;
* rozstaw osi ślimak – ślimacznica – 80 mm;
* przekładnia walcowa: odległość między wejściem, a wyjściem: 50 mm.

Realizacja ruchu:

* śruba trapezowa TR-44x7x676 mm, podłączenie do obsady łożyskowej φ30j7 ;
* oprawa łożyskowa o średnicy zewnętrznej φ125 mm, rozstaw otworów fi 11 na średnicy 105 mm co 90 stopni;
* kable długość: min. 7 m.

Ilość: 2 komplety.