**PROGRAM FUNKCJONALNO-UŻYTKOWY**

**Zawiera:**

**Wymagania Zamawiającego dotyczące**

**projektu, wykonania, uruchomienia,**

**i kalibracji tunelu zmiennej turbulencji.**

Laboratorium Aerodynamiki Turbin

Lotniczych i Spalania

00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 24

WARSZAWA LIPIEC 2010 r.

* 1. **Opis inwestycji w tym opis wymagań technicznych w stosunku do przedmiotu zamówienia**

**1.1. Opis ogólny**

Lokalizacja

Warszawa, dzielnica Śródmieście ul. Nowowiejska 24

główny kompleks Politechniki Warszawskiej

Gmach Aerodynamiki



**Dane dotyczące zagospodarowania działki**

Gmach Aerodynamiki zlokalizowany jest u zbiegu al. Niepodległości i ul. Nowowiejskiej. Do ww. ulic podłączone są drogi pożarowe gmachu. Główny wjazd na teren Kompleksu Politechniki jest od ul. Noakowskiego.

Pomieszczenie przeznaczone do umieszczenie w nim tunelu ma powierzchnię 504,18m2.

* + 1. **Aktualne uwarunkowania wykonania przedmiotu zamówienia**

**Uwarunkowania dotyczące inwestycji**

Wykonawca inwestycji winien brać pod uwagę utrudnienia w zakresie realizacji przedsięwzięcia z uwagi na funkcjonowanie uczelni, szczególnie w strefie dydaktycznej oraz prace związane zmodernizacją pomieszczeń, w których powinien zostać zainstalowany tunel zmiennej turbulencji oraz innych pomieszczeń wchodzących w skład Laboratorium Aerodynamiki Turbin lotniczych i Spalania (LATiS).

* + 1. **Ogólne właściwości funkcjonalno-użytkowe**

**Program merytoryczny Laboratorium**

Inwestycja planowana w Politechnice Warszawskiej umożliwi stworzenie zaplecza dydaktycznego oraz badawczego dla planowanych inwestycji AVIO w Polsce.

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie na specjalistów w dziedzinie modelowania i projektowania będzie prowadzona szeroko zakrojona działalność dydaktyczna w zakresie dynamiki gazów a także m.in. przepływów wielofazowych i spalania, uwzględniająca zjawiska cieplne i przepływowe zachodzące w palisadach łopatkowych turbin.

W zakresie prac badawczych działania Laboratorium Aerodynamiki Turbin Lotniczych koncentrować się będą na badaniach podstawowych oraz aplikacyjnych.

W pierwszej grupie, obejmującej prace doświadczalne wspomagane analizą teoretyczną i numeryczną przewiduje się następujące tematy:

Badania eksperymentalne warstwy przyściennej:

* naturalne i indukowane przejście w warstwie przyściennej,
* procesy niestacjonarne w warstwie przyściennej,
* modelowanie przejścia laminarno-turbulentnego w warstwie przyściennej indukowanej przez ślady spływowe
* procesy powstawania i rozwoju obszaru oderwania (synthetic jets, pulsating jets, MEMS, morphing, etc.).
* interakcja modelu z warstwą przyziemną modelowaną w tunelu.

Do badania takich zjawisk przewidziano tunel aerodynamiczny w którym możliwe jest odtworzenie warunków opływu modelu jednorodnym strumieniem o małym poziomi turbulencji oraz w którym możliwe było by odtworzenie obszernej warstwy przyziemnej o dowolnym profilu prędkości. W tym celu niezbędne jest wykonanie dwóch przestrzeni pomiarowych które spełniały by te cele.:

* Przestrzeń pomiarowa „L” w której dzięki zastosowaniu prostownic ulowych, siatek tłumiących i konfuzora możliwe będzie uzyskanie niskiego poziomu turbulencji i jednorodnego strumienia.
* Przestrzeń pomiarowa „P” gdzie dzięki długiej strefie modelowania warstwy przyściennej tunelu możliwe będzie odtworzenie warunków warstwy przyziemnej.

* 1. **Opis wymagań zamawiającego w stosunku do przedmiotu zamówienia**

Szczegółowe umiejscowienie tunelu w pomieszczeniu Laboratorium Małych Prędkości (LM.01) w budynku Gmachu Aerodynamiki przy Nowowiejskiej 24 zawiera Dodatek A.

* + 1. **Wymagania ogólne dotyczące tunelu**

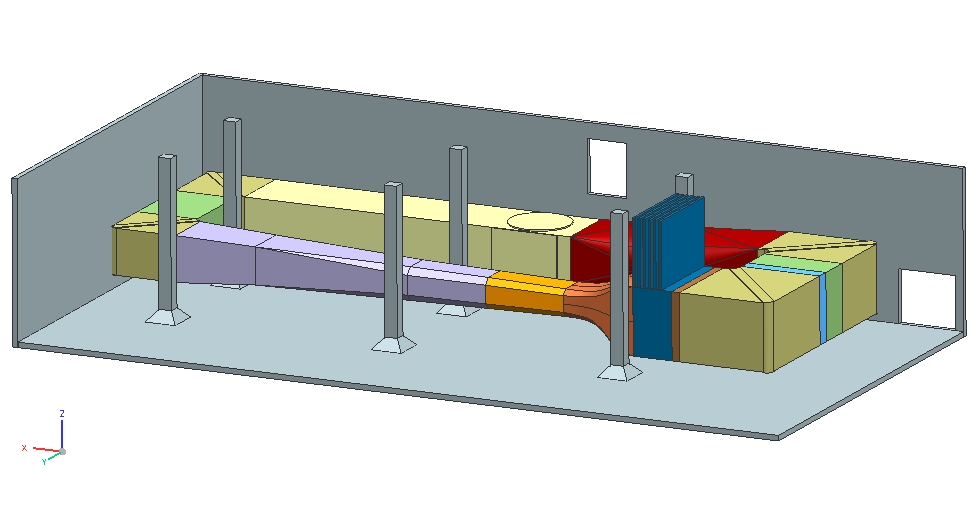
1. Ze względu na specyfikę zadania, skomplikowany i zróżnicowany charakter urządzeń badawczych Wykonawca zobowiązany jest do bieżącego informowania Zleceniodawcy o stanie zaawansowania prac i pojawiających się problemach technicznych oraz zagrożeniach w realizacji harmonogramu prac. W tym celu bedą organizowane co dwa tygodnie w ustalonym wspólnie terminie spotkania Wykonawcy z Inwestorem.
2. Wykonawca zobowiązany jest do zapewnienia funkcjonalności całej realizowanej inwestycji, łatwej i wygodnej obsługi projektowanych i wykonywanych urządzeń i oprzyrządowania tunelu oraz ich wymaganych parametrów i dokładności.
3. Konstrukcja tunelu powinna zapewniać jego żywotność i niezmienne warunki pracy przez okres minimum 20 lat.
4. Urządzenie powinno spełniać wszelkie wymogi formalno – prawne, w szczególności zapisy dyrektyw WE w zakresie dotyczącym przedmiotowego urządzenia.
5. Tunel powinien być wykonany w częściach (segmentach), zapewniających transport i montaż.
6. Tunel aerodynamiczny powinien zawierać w swojej konstrukcji dwie przestrzenie pomiarowe jak pokazano na rysunku nr 1. Szczegółowy opis przestrzeni pomiarowych zawierają punkty 1.2.2.1 i 1.2.2.2.

*Rys. nr. 1 Schemat przedmiotu zamówienia wraz z elementami pomieszczenia, otworami (wejściami) oraz bramą wjazdową (kierunek x na rysunku wskazuje północ geograficzną).*

Przestrzeń pomiarowa „L”

Przestrzeń pomiarowa „P”

Brama wjazdowa



1. Technologia wykonania i łączenia segmentów tunelu powinna zapewnić łatwy ich montaż i demontaż oraz szczelność połączeń, zapobiegając wydmuchom powietrza z tunelu. Powinna również zapobiegać powstawaniu uskoków w miejscach ich łączenia, co powodowało by wzrost oporów powietrza i związanych z tym strat oraz wzrost poziomu turbulencji w tunelu,
2. Powierzchnie wewnętrzne tunelu powinny być gładkie, żeby zminimalizować straty związane z chropowatością powierzchni.
3. Prędkość przepływu powietrza w tunelu powinna być płynnie regulowana w zakresie od zera do maksymalnych wartości prędkości określonych w przestrzeniach pomiarowych.
4. Powierzchnie zewnętrzne powinny mieć fakturę maskującą niedoskonałości wykonania tych powierzchni.
5. W przypadku innych materiałów przewiduje się użycie koloru dopasowanego do aranżacji pomieszczenia.
6. Kanały tunelu powinny być wykonane z materiałów zapewniających odpowiednią wytrzymałość, sztywność i powinny posiadać własności tłumiące drgania spowodowane pulsacją strumienia powietrza.
7. Specjalne rozwiązania konstrukcji nośnej tunelu powinny uwzględnić bliskość linii tramwajowych (al. Niepodległości i ul. Nowowiejska) zapewniające jak najdalej posuniętą redukcję drgań podłoża (oddziaływanie na czułe urządzenia pomiarowe).
8. Konstrukcja kompletnego urządzenia powinna zapewniać osiągnięcie następujących, najważniejszych parametrów pracy:

Wymagane parametry strumienia w przestrzeni pomiarowej „L”:

1. najmniejsza wartość maksymalnej prędkości rdzenia strumienia powietrza 80m/s,
2. minimalna liczba Reynoldsa 2,8 mln, odniesiona do maksymalnej cięciwy profilu, określanej jako 40% wysokości przestrzeni pomiarowej „L”,
3. równomierny rozkład prędkości w obu płaszczyznach w obszarze stanowiącym 80%,
4. minimalny poziom turbulencji < 0,05%,
5. kąt odchylenia strumienia od osi tunelu w obu płaszczyznach < 0,3°.

Wymagane parametry strumienia w przestrzeni pomiarowej „P”:

1. najmniejsza wartość maksymalnej prędkości strumienia powietrza 20m/s mierzonej w dowolnym punkcie, dowolnego przekroju przestrzeni poza warstwą przyścienną.
2. kąt odchylenia strumienia od osi tunelu w obu płaszczyznach < 1o
3. Przestrzeń modelowania poziomu turbulencji powinna zapewniać regulację poziomu turbulencji w przestrzeni pomiarowej „L” w zakresie od co najwyżej 0,05 % do wartości maksymalnej, uzyskanej bez siatek tłumiących turbulencję.
4. Zastosowane rozwiązania i materiały powinny zapewniać maksymalną trwałość obiektu przy minimalnych zabiegach pielęgnacyjnych.
5. Konstrukcja tunelu musi zapewniać odpowiednią sztywność, żeby zapobiegać deformacjom ścian oraz ich drganiom i pulsacjom podczas pracy w dowolnych warunkach, powodującym zwiększenie poziomu turbulencji strumienia powietrza oraz hałasu.
6. Wszystkie otwory rewizyjne, wzierniki i inne nieciągłości w tunelu powinny być odpowiednio do swojej funkcji zaślepione, izolowane i wykonane w sposób nie zaburzający gładkości tunelu.
7. Kanały tunelu powinny być wykonane z materiałów zapewniających odpowiednią wytrzymałość, sztywność i powinny posiadać własności tłumiące drgania spowodowane pulsacją strumienia powietrza.
8. Powierzchnie zewnętrzne tunelu powinny mieć ładną, dekoracyjną fakturę, maskującą niedoskonałości wykonania tych powierzchni.
9. Przewiduje się malowanie powierzchni dopasowane do aranżacji pomieszczenia, z wyjątkiem sytuacji kiedy powłoka malarska wpływa znacząco niekorzystnie na parametry wymiany ciepła.
10. W obu przestrzeniach pomiarowych „L” i „P” powinno być utrzymane ciśnienie zbliżone do ciśnienia otoczenia. W tym celu powinny być wykonane odpowiednie regulowane rozszczelnienia umożliwiające spełnienie tych wymagań.
11. Tunel należy zaprojektować w taki sposób aby umożliwić wejście i poruszanie się wewnątrz tunelu (we wszystkich sekcjach), dwóch osób wykonujących przeglądy lub naprawy.
12. Przewidziana aparatura i inne urządzenia pomiarowe przewidziane do przestrzeni pomiarowych typu „L”:
13. Waga boczna pięcioskładowa - wymaga okna obrotowego,
14. Drenowane modele (pomiar ciśnienia) - wymaga okna obrotowego,
15. Waga wewnętrzna sześcioskładowa - pracuje z urządzeniem do pozycjonowania modelu,
16. Sonda termo-anemometryczna (pomiar prędkości) - pracuje z urządzeniem do pozycjonowania sondy (2D),
17. Grzebień pomiarowy (pomiar ciśnienia) - pracuje z urządzeniem do pozycjonowania grzebienia (3D),
18. Kamery i Lasery (obraz) – wymagają możliwości zamontowania głowic fotograficznych.
19. Przewidziana aparatura i inne urządzenia pomiarowe przewidziane do przestrzeni pomiarowej typu „P”:
20. Waga zewnętrzna sześcioskładowa – instalowana na obrotowej podłodze,
21. Drenowane modele (pomiar ciśnienia) – wymagają podłogi obrotowej,
22. Sonda termo-anemometryczna (pomiar prędkości) – sterowana urządzeniem do pozycjonowania sondy (2D),
23. Kamery i Lasery (obraz) – wymagają możliwości zamontowania głowic fotograficznych.
24. Tunel powinien zostać zaprojektowany tak aby umożliwić poruszanie się po górnej części tunelu osób prowadzących przeglądy i konserwacje.
25. Powinny zostać zaprojektowane podesty umożliwiające dostęp do włazów technologicznych i wzierników pomiarowych umożliwiających dogodny montaż i obsługę modeli, aparatury i urządzeń pomiarowych.
    * 1. **Wymagania szczegółowe dotyczące wykonania oraz parametrów pracy poszczególnych zespołów tunelu.**

Na rysunku nr 2 przedstawiono podział tunelu na elementy.

Komora stabilizacyjna

Przestrzeń pomiarowa „L”

Dyfuzor

Istniejące słupy nośne budynku

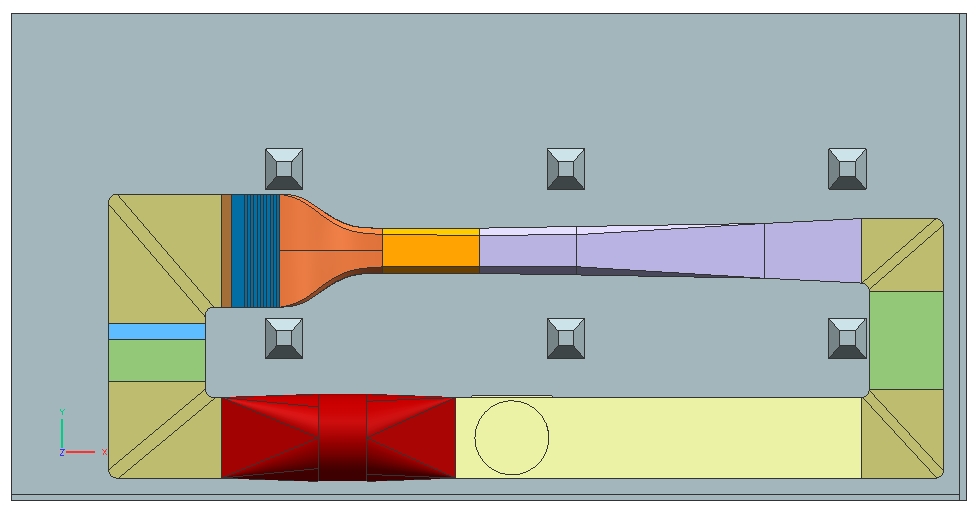
Zakręt z kierownicami

Prostownice ulowe

Konfuzor

Chłodzenie

Zakręt z kierownicami



Przestrzeń

pomiarowa „P”

Zakręt z kierownicami

Zakręt z kierownicami

Zespół napędowy

Kanał modelowania warstwy przyziemnej

*Rys. nr 2 Schemat tunelu z wyszczególnionymi najważniejszymi elementami.*

* + - 1. **Przestrzeń pomiarowa L**

1. Należy wykonać dwie wymienne przestrzenie pomiarowe „L”: jedną przystosowaną do pomiarów wagowych, a drugą do pomiarów ciśnieniowych, termo-anemometrycznych i przeprowadzania wizualizacji opływów.
2. Wymagane parametry strumienia w przestrzeni pomiarowej „L”:
3. najmniejsza wartość maksymalnej prędkości rdzenia strumienia powietrza 80m/s,
4. minimalna liczba Reynoldsa 2,8 mln, odniesiona do maksymalnej cięciwy profilu, określanej jako 40% wysokości przestrzeni pomiarowej „L”,
5. równomierny rozkład prędkości w obu płaszczyznach w obszarze stanowiącym 80%, z tolerancją ±1% prędkości średniej w rdzeniu.
6. minimalny poziom turbulencji < 0,05%,
7. kąt odchylenia strumienia od osi tunelu w obu płaszczyznach < 0,3°.

1. Ponieważ założenia przewidują wykonanie dwóch wymiennych przestrzeni pomiarowych „L” dlatego projekt musi zawierać odpowiednią konstrukcję urządzenia zapewniającą łatwość wymiany tych komór oraz precyzyjne i powtarzalne ich ustawianie.
2. Wymiary boków przestrzeni pomiarowej „L” powinny wynosić co najmniej: wysokość - 1,0m szerokość - 1,4m, a jej długość - 3m.
3. Na ścianach górnych obydwu wariantów przestrzeni pomiarowych powinny być wykonane okna obrotowe, których wymiary i konstrukcja zostaną uszczegółowione na etapie projektu wstępnego. Do okien obrotowych będą mocowane badane modele (bezpośrednio do okna lub pośrednio, tj. z układem wagi połączonej z oknem). Powierzchnia do której będzie mocowany model powinna zawierać się w płaszczyźnie wewnętrznej ściany przestrzeni pomiarowej. Takie okno powinno być wyposażone w mechanizm do zmiany kąta natarcia modelu w zakresie (–30; +30) stopni ze sterownikiem i oprogramowaniem umożliwiającym połączenie z komputerem przez USB. Pomiar położenia absolutny z dokładnością 6 min kątowych.
4. W przestrzeni dla wariantu pomiarów wagowych z wagą boczną przewidziano badanie modeli montowanych do okna obrotowego za pośrednictwem wagi bocznej, tzw. modeli połówkowych o rozpiętości – 0,7 wymiaru krótszego boku przekroju przestrzeni pomiarowej. Na schemacie obok model w rzucie prostopadłym do kierunku napływu. W tej konfiguracji ściany boczne nie powinny posiadać zbędnych elementów zubażających przepływ takich jak otworki, szczeliny.

Przestrzeń pomiarowa

Waga boczna

Okno obrotowe

Model

Przewidziano także prowadzenie pomiarów metodami optycznymi.

1. W przestrzeni dla wariantu pomiarów ciśnieniowych przewidziano modele montowane do okna obrotowego, o wydłużeniu nieskończonym tj. od jednej ściany bocznej do drugiej, w odpływie dwuwymiarowym i cięciwie 0,4 dłuższego boku przekroju przestrzeni pomiarowej. Na schemacie obok model w rzucie prostopadłym do kierunku napływu.

Przestrzeń pomiarowa

Okno obrotowe

Model

Przewidziane jest także prowadzenie pomiarów rozkładu ciśnień dynamicznych w śladzie za modelem oraz pomiarów metodami optycznymi.

1. W obydwu przestrzeniach „L” przewidziano możliwość badań modeli z wagą aerodynamiczną wewnętrzną na żądle montowanym do stanowiska pozycjonowania modeli. Wymiary przewidzianych modeli to: długość – do 0,8m, rozpiętość - 0,7 wymiaru krótszego boku przekroju przestrzeni pomiarowej. Na schemacie obok model w rzucie prostopadłym do kierunku napływu. W tej konfiguracji ściany boczne powinny posiadać otworki opisane w punkcie 10.

Przestrzeń pomiarowa

Model

Urządzenie do pozycjonowania modeli

Przy tego rodzaju zamocowaniu przewidziano także możliwość przeprowadzenia pomiarów metodami optycznymi.

1. W obydwu przestrzeniach „L” przewidziano możliwość badań przy użyciu sond termo-anemometrycznych, w tym celu ściany boczne powinny być zdejmowane w celu montażu ściany przystosowanej do pomiarów termo-anemometrycznych. W tym celu w bocznej ścianie w połowie wysokości przestrzeni pomiarowej powinien zostać wykonany otwór podłużny z uszczelnieniami umożliwiający wprowadzenie oraz przesuw sondy. Wymiary tego otworu zostaną ustalone na etapie projektu wstępnego. Przesuw sond pomiarowych będzie odbywał się w przestrzeni pomiarowej w dwóch kierunkach w poziomie: w kierunku środka przestrzeni pomiarowej i wzdłuż jej osi – z pulpitu operatora. Szczegóły dotyczące przewidzianej aparatury zamieszczono w Dodatku D.
2. W przestrzeni dla wariantu pomiarów ciśnieniowych powinny zostać wykonane otworki (Φ1mm) z odpowiednimi przyłączami do pomiaru ciśnienia przy pomocy manometru w celu pomiaru ciśnienia statycznego wzdłuż bocznych ścian przestrzeni pomiarowej „L” w odległościach co 10cm.
3. Przestrzeń pomiarowa powinna zapewnić jak największą sztywność tak aby mocowane do jej konstrukcji przyrządy pomiarowe nie podlegały drganiom.
4. W przestrzeni dla wariantu pomiarów ciśnieniowych powinien zostać zamontowany grzebień pomiarowy do pomiaru rozkładu prędkości w śladzie za modelem. W tym celu ściana boczna przestrzeni pomiarowej powinna zostać wyposażona w urządzenie do pozycjonowania grzebienia 3D Dodatku D.
5. Powinno być wykonane urządzenia do mocowania i przesuwu sond pomiarowych (ciśnieniowe i termo-anemometryczne) instalowane na ścianie bocznej, które nie powinno zakłócać przepływu w przestrzeni pomiarowej, jak pokazano w Dodatku D.
6. Konstrukcja przestrzeni pomiarowej powinna zakładać możliwość sztywnego zamocowania optycznej aparatury takiej jak aparaty fotograficzne, lampy, kamery, lasery, w odległości od 0,5m do 2m od przestrzeni pomiarowej w rzutach poziomym i pionowym w całej jej długości, jak pokazano w Dodatku D
7. Ściany przestrzeni pomiarowych powinny być wykonane z materiału przezroczystego i przystosowane do pomiarów metodami optycznymi (Laser), jak pokazano w Dodatku D. Materiał przeznaczony do tego celu nie powinien być barwiony oraz powinien przepuszczać wszystkie długości światła widzialnego oraz UV.
8. Na ścianach bocznych przestrzeni pomiarowej „L” powinny być wykonane odpowiednie wzierniki, które będą wykorzystane przy pracach montażowych i umożliwią manipulacje i kontrole poprawności ustawień. Wzierniki powinny umożliwiać włożenie głowy do tunelu.
   * + 1. **Przestrzeń pomiarowa „P” z kanałem modelowania warstwy przyściennej**
9. Wymagane parametry strumienia w przestrzeni pomiarowej „P”:
10. najmniejsza wartość maksymalnej prędkości strumienia powietrza 20m/s mierzonej w dowolnym punkcie, dowolnego przekroju przestrzeni pomiarowej poza warstwą przyścienną.
11. kąt odchylenia strumienia od lokalnej osi wzdłużnej przestrzeni pomiarowej w obu

płaszczyznach < 1o

1. Wymiary przestrzeni pomiarowej „P” powinny wynosić co najmniej 1,7x2,5m, a długość kanału przed przestrzenią pomiarową w której formowana jest warstwa przyziemna powinna wynosić co najmniej 5 wysokości kanału.
2. Kanał modelowania warstwy przyściennej powinien być wyposażona w elementy generujące odpowiednią warstwę przyziemną dla pięciu kategorii terenu zgodnie z polską normą i te elementy turbulizujące przepływ powinny być sterowane komputerowo.
3. W przestrzeni pomiarowej na dolnej ścianie powinno być zainstalowana podłoga obrotowa do umieszczenia makiety kołowej o jak największej średnicy. Podłoga obrotowa musi mieć możliwość obrotu makiety o 360° w jedną lub w drugą stronę z dokładnością do 1°. Górna płaszczyzna makiety powinna zawierać się w płaszczyźnie dolnej ściany tunelu. Łoże powinno zapewnić możliwość podłączenia rurek manometru do dolnej powierzchni makiety w obszarze centralnym zajmującym 80% makiety. Podłoga obrotowa powinna mieć możliwość sterowania cyfrowego (komputer) oraz z panelu kontrolnego.
4. Ściana boczna przestrzeni pomiarowej „P” powinna być przezroczysta i wykonana w strefie przestrzeni pomiarowej ze szkła, a w pozostałej części badawczej z plexi o odpowiedniej grubości i konstrukcji zapobiegającej jej deformacjom i drganiom.
5. W bocznej ścianie przestrzeni pomiarowej powinno być wykonane okno nie dzielone. Okno powinno znajdować się w osi makiety oraz powinno być przeźroczyste o szerokości co najmniej takiej jak obrotowa podłoga. Okno jest przewidziane do obserwacji makiety z boku, oraz zastosowania optycznych metod pomiarowych.
6. W górnej ścianie przestrzeni pomiarowej nad makietą powinien być wykonany wizjer przeźroczysty o wymiarach zbliżonych do obrotowej podłogi, służący do obserwacji makiety od góry w rzucie prostopadłym, oraz zastosowania optycznych metod pomiarowych.
7. Otworki do pomiaru ciśnienia statycznego powinny być wykonane wzdłuż dolnej i górnej ściany przestrzeni pomiarowej „P”, tak jak opisano w punkcie 1.2.2.1, podpunkt 9.
8. Konstrukcja przestrzeni powinna zakładać możliwość sztywnego zamocowania optycznej aparatury takiej jak aparaty fotograficzne, lampy, kamery, lasery, w odległości od 0,5m do 2m od okna oraz wizjera przestrzeni pomiarowej.
   * + 1. **Zespół napędowy**
9. Zespół napędowy powinien zapewniać stabilną pracę tunelu bez oderwań na wentylatorze i na kierownicach oraz jednorodne pole prędkości w przekroju za wentylatorem, a także osiągnięcie parametrów przepływu określonych w obu przestrzeniach pomiarowych.

1. Zespół napędowy powinien być dobrze wyważony dynamicznie, tak aby nie powodować drgań konstrukcji tunelu. Oba powyższe czynniki powodują zwiększenie poziomu turbulencji strumienia powietrza.

1. Prędkość obwodowa końca łopat wentylatora powinna być mniejsza niż 95m/s.
2. Hałas mierzony w odległości nie mniejszej niż 0,5m od zespołu napędowego powinien być mniejszy od 100dB.
3. Wentylator powinien mieć sprawność na poziomie 90%.
4. Zespół napędowy powinien być wyposażony w układ sterowania prędkością. Układ sterowania pracą silnika powinien umożliwiać płynne sterowanie bezpośrednio z komputera lub ze sterownika umieszczonego na pulpicie pomiarowym.
5. Instalacja elektryczna dedykowana do podłaczenia zespołu napędowowego została opisana w dokumentacji projektowej modernizacji Gmach Aerodynamiki (Dodatek C).
   * + 1. **Wagi aerodynamiczne tensometryczne**

Przestrzenie pomiarowe mają zostać wyposażone w wagi tensometryczne:

1. Waga boczna 6-cio składowa, powinna zostać zamontowana na kole obrotowym przestrzeni pomiarowej „L”.
2. Waga wewnętrzna przestrzeni „L” 5-cio składowa (3 momenty i 2 siły), powinna zostać zamontowana w urządzeniu pozycjonującym przestrzeni pomiarowej „L”.
3. Waga 5-cio składowa (3 momenty i 2 siły) , powinna zostać zamontowana w podłodze obrotowej przestrzeni pomiarowej „P”.
   * + 1. **Zakręty tunelu z kierownicami**
4. Szczególna uwaga powinna być zwrócona na geometrię kierownic (lokalizowanych w narożach tunelu) zapewniających uzyskanie równomiernego rozkładu prędkości za zakrętami tunelu, co umożliwi osiągnięcie parametrów przepływu określonych w obu przestrzeniach pomiarowych.
5. Konstrukcja mocowania kierownic powinna zapewnić łatwy i szybki sposób zmiany kątów ich ustawienia przy prowadzeniu kalibracji tunelu.
   * + 1. **Komora stabilizacyjna**
6. Projekt konstrukcji ram, w których będą zainstalowane siatki tłumiące powinien zapewnić poprawne zrealizowanie ich naciągu oraz umożliwić ich wymienność w przypadku uszkodzenia lub okresowego czyszczenia siatek albo do zmiany liczby siatek w celu zmiany poziomu turbulencji. Konstrukcja ram musi zapobiegać ich deformacji podczas eksploatacji tunelu.
7. Liczba siatek powinna zostać ustalona na etapie projektowania, tak aby zapewniać osiągnięcie pożądanego poziomu turbulencji.
8. Siatki powinny być wysuwane w górę.
   * + 1. **Konfuzor**
9. Konfuzor ma zapewnić przyspieszenie strumienia i być zaprojektowany tak aby wykluczyć oderwania oraz aby spełnić warunek jednorodności profilu prędkości rdzenia strumienia (odchyłka ma być nie większa niż 1% wartości średniej prędkości rdzenia strumienia).
10. Konfuzor ze względu na jego skomplikowaną geometrię, wymaganą dokładność i gładkość wykonania wewnętrznych powierzchni powinien być wykonany z kompozytu przekładkowego.
11. W konfuzorze powinny być zaprojektowane i wykonane otworki do pomiaru ciśnienia”, takie jak opisano w punkcie 1.2.2.1, podpunkt 5, wykonane na całej długości ściany konfuzora w odległościach co 10cm.
    * + 1. **Dyfuzor**

Dyfuzor ma zapewniać rozprężanie strumienia za przestrzenią pomiarową tak aby nie doszło do oderwania warstwy przyściennej na jego ścianach w całym użytkowym zakresie prędkości.

* + - 1. **Kanał tunelu**

1. Geometria kanałów przepływowych powinna zagwarantować zminimalizowanie strat w tunelu oraz zapewnić uzyskanie w całym tunelu przepływów bez oderwań strumienia.
2. W każdym z kanałów tunelu powinny być wykonane włazy technologiczne do wnętrza tunelu oraz wzierniki pomiarowe, przez które będą wprowadzane sondy do pomiarów rozkładów ciśnienia i prędkości oraz turbulencji strumienia powietrza za każdym zakrętem.

1. W obu przestrzeniach pomiarowych i w dyfuzorze w płaszczyznach pionowych i poziomych powinny zostać wykonane wzierniki pomiarowe, przez które będą wprowadzane sondy do pomiarów rozkładów ciśnienia i prędkości oraz turbulencji strumienia powietrza.
2. Konstrukcja tunelu musi zapewniać odpowiednią sztywność, żeby zapobiegać deformacjom ścian oraz ich drganiom i pulsacjom powodującym zwiększenie poziomu turbulencji strumienia powietrza.
   * + 1. **Chłodnica**

W tunelu powinny być zapewnione stabilne warunki pracy przy temperaturach strumienia powietrza poniżej 30oC przy temperaturze zewnętrznej 25oC w całym zakresie prędkości (od zera do maksymalnej).

* + - 1. **Urządzenie do pozycjonowania modelu**

Urządzenie do pozycjonowania modelu powinno zapewnić wymagane zmiany kątów natarcia (pochylenia) w zakresie od –30o  do +30o i kątów ślizgu (odchylenia) w zakresie od –20o  do +20o oraz sterowania nastawami i zapewnienie komunikacji z komputerem nadrzędnym użytkownika. Wymagany pomiar absolutny położenia modelu z dokładnością 6 minut kątowych. Zakres ruchu zmienny – ograniczany programowo. Urządzenie to musi być wyposażone w wyłączniki krańcowe i z pulpitem operatorskim z odczytem położenia obu osi i z możliwością zadawania pozycji i prędkości ruchu.

Przy realizacji przemieszczeń kątowych środek aerodynamiczny modelu nie powinien przemieszczać się pionie i w poziomie o więcej niż 1cm.

* + - 1. **Konstrukcja nośna**

1. Oś tunelu we wszystkich przekrojach nie powinna być odchylona od poziomu o więcej niż 1 cm.
2. Konstrukcja nośna tunelu powinno umożliwiać regulację konieczną przy ustawianiu (poziomowaniu) tunelu.
3. Konstrukcja nośna tunelu powinno zapewniać równomierne rozłożenie obciążenia oraz minimalizowanie obciążeń na podłoże (w tym redukcję obciążeń dynamicznych) i na konstrukcję samego tunelu, ze szczególnym uwzględnieniem efektów obciążeń długotrwałych – pełzania, wytrzymałości zmęczeniowej i innych podobnych efektów zmniejszających żywotność konstrukcji.
4. Podstawy, na których będzie posadowiony tunel powinny być wyposażone w elementy amortyzujące drgania tunelu na poszczególnych jego odcinkach i oraz elementy zabezpieczające przed przenoszeniem drgań na kolejne segmenty tunelu.
5. Posadowienie całego tunelu należy wykonać na specjalnie w tym celu przygotowanych fundamentach F-1, F- 2 w pomieszczeniu LM.01 (pomieszczenie wraz z konstrukcją fundamentów zostało przedstawione w Dodatku B).
6. Konstrukcja nośna w obszarze zespołu napędowego powinno zostać zaprojektowanie szczególnie dokładnie z zapewnieniem przeniesienia obciążeń na specjalnie przygotowany obszar fundamentu F-1 pomieszczenia LM.01 (pomieszczenie wraz z konstrukcją fundamentów zostało przedstawione w Dodatku B).

UWAGA: na każdym etapie realizacji prac projektowych i wykonawczych należy realizować przedstawione powyżej wymagania dotyczące części, podzespołów, zespołów jak i tunelu jako całości.**Harmonogram prac**

* 1. **Lista etapów**

Przedstawienie wstępnej koncepcji tunelu celem zatwierdzenia

przez Zamawiającego - 15.10.2010

Przedstawienie projektu wstępnego tunelu celem zatwierdzenia

przez Zamawiającego - 31.03.2011

Przedstawienie dokumentacji technicznej tunelu celem zatwierdzenia

przez Zamawiającego - 30.09.2011

Przedstawienie projektu zespołu napędowego celem zatwierdzenia

przez Zamawiającego - 30.09.2011

Wykonanie i kompletacja elementów tunelu - 30.09.2012

Montaż i uruchomienie tunelu - 31.12.2012

Kalibracja tunelu - 30.09.2013

* 1. **Szczegółowy opis etapów**
     1. **Wstępna koncepcja tunelu, opracowana w oparciu o wymagania**
        1. Wstępna koncepcja tunelu aerodynamicznego powinna przedstawiać układ tunelu, jego gabaryty, podstawowe przekroje kanałów z komorą stabilizacyjną i z konfuzorem oraz z dwoma przestrzeniami pomiarowymi do badań podstawowych i lotniczych w jednym długim kanale (przestrzeń „L”) i do badań przemysłowych i środowiskowych w drugim długim kanale (przestrzeń „P”).
        2. Powinny również być podane wymiary przestrzeni pomiarowych, kontrakcja strumienia, lokalizacja wentylatora z silnikiem z wstępnie określoną jego mocą oraz prędkości i liczby Reynoldsa w przestrzeniach pomiarowych oraz szacunkowe obciążenia statyczne i dynamiczne projektowanej konstrukcji budynku i fundamentów.
        3. Koncepcja powinna być dostosowana do posiadanego pomieszczenia.
        4. Opracowana wstępna koncepcja będzie przedmiotem odbioru i po jej zaakceptowaniu uruchomione zostaną dalsze etapy pracy.
        5. Wstępna koncepcja powinna być przekazana w 3 egzemplarzach w formie drukowanej i 2 egzemplarzach w wersji elektronicznej.
     2. **Projekt wstępny tunelu** 
        1. Projekt wstępny powinien zawierać szczegółową geometrię kanałów, naroży z kierownicami, przestrzeni stabilizacyjnej z ulownicą i siatkami tłumiącymi, przestrzeni pomiarowych, konfuzora i dyfuzora oraz koncepcje rozwiązań technicznych, dotyczących sposobu montażu i demontażu całej lotniczej komory pomiarowej i jej ścian, konstrukcja grzebienia pomiarowego, i mechanizmu trawersującego instalowanego na bocznej ścianie do pomiarów termo-anemometrycznych w przestrzeni pomiarowej.
        2. W porojekcie wstepnym powinna być przeprowadzona analiza cieplna tunelu, przewidująca ewentualne zastosowanie instalacji chłodzenia powietrza w tunelu lub systemu wymiany powietrza, które zapewniłyby stabilne warunki pracy przy temperaturach strumienia powietrza poniżej 30oC przy temperaturze zewnętrznej 25oC.
        3. Projekt wstępny powinien przedstawiać koncepcje dotyczące kanału środowiskowego w zakresie łatwego i funkcjonalnego dostępu zarówno w strefie pomiarowej, w której instalowane są badane obiekty jak i w strefie modelowania warstwy przyziemnej, w której montowane są elementy generujące pożądany profil prędkości i turbulencji.
        4. Projekt wstępny powinien zawierać koncepcję wykonania włazów technologicznych do wnętrza tunelu oraz wzierników pomiarowych, przez które będą wprowadzane sondy do pomiarów rozkładów ciśnienia i prędkości oraz turbulencji strumienia powietrza za każdym zakrętem, w przestrzeni pomiarowej i w dyfuzorze.
        5. W ramach projektu wstępnego powinny być przeprowadzone kompleksowe obliczenia aerodynamiczne w celu określenia strat i eliminacji oderwań w kanałach tunelu. W efekcie przeprowadzonych obliczeń powinna powstać zoptymalizowana geometria kanałów tunelu i określona niezbędna moc silnika.
        6. W ramach projektu wstępnego powinna powstać koncepcja stanowiska do pozycjonowania modeli zgodnie z wymaganiami okreslonymi w punkcie 1.2.2.11.
        7. Przestrzeń pomiarowa „L” powinna zostać zaprojektowana zgodnie z wymaganiami okreslonymi w punkcie 1.2.2.1. wraz z urządzeniem trawersowania sondy termo-anemometrycznej i urządzeniem pozycjonującym grzebienia pomiarowego i grzebieniem pomiarowym.
        8. Przestrzeń pomiarowa „P” powinna zostać zaprojektowana zgodnie z wymaganiami okreslonymi w punkcie 1.2.2.2.
        9. Projekt wstępny powinien również zawierać ogólną koncepcję rozwiązania zespołu napędowego tzn. rodzaju wentylatora, silnika i jego posadowienia oraz układu sterowania.
        10. Projekt wstępny będzie przedmiotem odbioru i po jego zaakceptowaniu uruchomione zostaną następne etapy pracy.
        11. Projekt wstępny powinien być przekazany w 3 egzemplarzach w formie drukowanej i 2 egzemplarzach w wersji elektronicznej
     3. **Dokumentacja techniczna tunelu**
        1. Dokumentacja techniczna powinna zawierać szczegółowe rozwiązania całego tunelu zgodnie z zatwierdzonym projektem wstępnym.
        2. Ponadto w ramach tego etapu prac powinna być opracowana dokumentacja elementów do posadowienia tunelu, umożliwiająca odpowiednie wypoziomowanie całej konstrukcji tunelu i zapobiegająca przeniesieniu drgań podłoża na konstrukcję tunelu oraz drgań podłoża na konstrukcję budynku. W celu oceny skuteczności eliminacji drgań przez elementy aktywne posadownienia i podłoża (fundamentów) należy wykonać ekspertyzę wpływu drgań generowanych przez tunel na konstrukcję budynku zawierającą ocenę wpływu urządzenia na konstrukcję budynku wraz z opinią na temat wpływu eksploatacji urządzenia na trwałość budynku. Urządzenie powinno być zaprojektowane tak aby jego odziaływanie na budynek wyrażone powyższą opinią było pomijalnie małe i nie zagrażało jego wieloletniej eksploatacji oraz nie wpływało na komfort osób korzystających z budynku. Ekspertyzę należy powtórzyć przed zakończeniem kalibracji urządzenia, opisanej w punkcie 1.4.7.
        3. Dokumentacja techniczna powinna zostać przygotowana z uwzględnieniem przepływu generowanego przez projektowany zespół napędowy.
        4. Dokumentacja techniczna tunelu powinna być przekazana w 3 egzemplarzach w formie drukowanej i 2 egzemplarzach w wersji elektronicznej.
     4. **Projekt zespołu napędowego.**
        1. Zespół napędowy powinien zostać zaprojektowany zgodnie z wymaganiami określonymi w punkcie 1.2.2.3.
        2. Obliczenia aerodynamiczne tunelu powinny być powtórzone po opracowaniu projektu wentylatora wraz z kierownicami w celu ponownego sprawdzenia przepływów w tunelu ze szczególnym uwzględnieniem stref oderwania.
        3. Projekt zespołu napędowego powinien być przekazany w 3 egzemplarzach w formie drukowanej i 2 egzemplarzach w wersji elektronicznej.
     5. **Wykonanie i kompletacja elementów tunelu.**
        1. Wykonane wszystkich zespołów, urządzeń i elementów, które są przedmiotem wszystkich omawianych projektów oraz okazanie wsztkich powyższych elementów celem oceny zgodności z dokumentacją techniczną.
        2. Należy wykonać i przedstawić do oceny następujące elementy tunelu, łącznie stanowiące kompletne, w pełni funkcjonalne urządzenie:

1. Przestrzenie pomiarowe „L” wraz z urządzeniem trawersowania sondy termo-anemometrycznej i urządzeniem pozycjonującym grzebienia pomiarowego i grzebieniem pomiarowym, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.1 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
2. Przestrzeń pomiarową „P” z kanałem modelowania warstwy przyściennej wraz z podłogą obrotową, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.2 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
3. Zespół napędowy, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.3 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
4. Wagi aerodynamiczne tensometryczne, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.4 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
5. Zakręty tunelu z kierownicami, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.5 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
6. Komora Stabilizacyjna tunelu, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.6 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
7. Konfuzor, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.7 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
8. Dyfuzor, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.8 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
9. Kanał tunelu, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.9 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
10. Układ chłodzenia, umożliwiający osiągnięcie parametrów opisanych w punkcie 1.2.1 i 1.2.2.10. w trybie pracy ciągłej (co najmniej 2 godziny).
11. Urządzenie do pozycjonowania modelu, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.11 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.
12. Konstrukcja nośna, zgodnie z opisem z punktu 1.2.2.12 oraz wymaganiami ogólnymi opisanymi w punkcie 1.2.1.

**UWAGA: Punkty od a) do l) należy uwzględnić w Szczegółowej Specyfikacji Technicznej stanowiącej Załącznik nr 2 do niniejszej SIWZ oraz w formularzu Szczegółowej Kalkulacji Ceny w Zadaniu, stanowiącym Załącznik nr 1b do niniejszej SIWZ. W formularzu Szczegółowej Kalkulacji Ceny w Zadaniu, stanowiącym Załącznik nr 1b do niniejszej SIWZ należy dodatkowo uwzględnić wycenę poszczególnych etapów projektowania.**

* + - 1. Warunkiem odbioru etapu jest skompletowanie wszystkich elementów tunelu wykonanych zgodnie z zaakceptowaną Dokumentacją Techniczną.
    1. **Montaż i uruchomienie tunelu**
       1. Celem etapu jest przeprowadzenie pełnego montażu tunelu z całym jego wyposażeniem oraz przprowadzenie uruchomienia i prób funkcjonalnych wszystkich przewidzianych konfiguracji.
       2. Warunki odbioru etapu zostana określone na etapie projektowania (w Dokumentacji technicznej).
    2. **Kalibracja tunelu**
       1. Wykonawca jest zobowiązany do przeprowadzenia pełnej kalibracji tunelu z pomiarami rozkładów prędkości i turbulencji oraz skoszenia strumienia w dwóch płaszczyznach za każdym zakrętem tunelu i w przestrzeni pomiarowej jak również przekazanie raportu, dokumentującego spełnienie wymagań ogólnych. Raport powinien być przekazany w 3 egzemplarzach w formie drukowanej i 2 egzemplarzach w wersji elektronicznej.
       2. Wykonawca jest zobowiązany do przeprowadzenia wszystkich prób i zatwierdzeń oraz przygotowania dokumentacji urządzenia wymaganych prawem obowiązującycm na terenie Rzeczpospolitej Polskiej.
       3. Wykonawca jest zobowiązany do przeprowadzenia pomiarów hałasu i jego widma przy kilku prędkościach strumienia powietrza w tunelu w miejscu usytuowania stanowiska operatora tunelu i przekazania raportu z tych pomiarów w 3 egzemplarzach w formie drukowanej i 2 egzemplarzach w wersji elektronicznej.
       4. Wykonawca jest zobowiązany do wykonania końcowej ekspertyzy wpływu drgań generowanych przez tunel na konstrukcję budynku zawierającej ocenę wpływu urządzenia na konstrukcję budynku wraz z opinią na temat wpływu eksploatacji urządzenia na trwałość budynku. Urządzenie powinno być zaprojektowane tak aby jego odziaływanie na budynek wyrażone powyższą opinią było pomijalnie małe i nie zagrażało jego wieloletniej eksploatacji oraz nie wpływało na komfort osób korzystających z budynku.
       5. Warunkiem odbioru końcowego urządzenia jest spełnienie wszystkich wymagań określonych w punkcie 1.4, w szczególności spełnienie wymagań opisanych w punktach 1.4.7.1 – 1.4.7.4

1. **Tryb realizacji inwestycji**
   1. Ze względu na specyfikę tematu i skomplikowany zróżnicowany charakter urządzeń badawczych Wykonawca zobowiązany jest do bieżącego informowania Zleceniodawcy o stanie zaawansowania prac i pojawiających się problemach technicznych i zagrożeniach w realizacji harmonogramu prac.
   2. W tym celu Zamawiający zobowiązuje Wykonawcę do uczestnictwa w spotkaniach informacyjnych odbywających się w siedzibie Zamawiającego w terminie ustalonym zgodnie przez strony, jedank nie rzadziej niż co dwa tygodnie.
   3. Dodatkowe wytyczne i uwarunkowania inwestora związane z budową i jej prowadzeniem - Zamawiający zastrzega sobie możliwość chwilowych przerw w prowadzeniu robót. Przerwy te – wcześniej uzgodnione z Wykonawcą – mają na celu ochronę prawidłowości odczytu aparatury włączanej w czasie badań i ćwiczeń naukowych.
2. **Gwarancje**

Wykonawca udzieli gwarancji na zrealizowany tunel aerodynamiczny na okres 5 lat od momentu oddania tunelu do użytku i zobowiąże się do przeprowadzania przeglądów serwisowych w tym okresie.