

OCENA KRAJOWYCH BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH Z ZAKRESU TURBULENCJI ORAZ AERODYNAMIKI DUŻYCH PRĘDKOŚCI

J. S. OSTROWSKI

Politechnika Warszawska

(koreferat artykułów dra S. Drobnaka i dra W. Kani, — uwagi ogólnej)

Łączne ustosunkowanie się do rozwoju badań w zakresie turbulencji i aerodynamiki dużych prędkości nie jest możliwe. Jedyną cechą wspólną łączącą te ukierunkowania mechaniki płynów jest właściwie tylko wspólny okres intensywnego ich rozwoju (od lat trzydziestych bieżącego stulecia). Turbulencja i zjawiska turbulencji ingerują wprawdzie pośrednio w zjawiska występujące w przepływach z dużymi prędkościami i są źródłem różnych trudności w analizie i badaniach tych zjawisk, jednak metodyka badań, charakter badań, związany ze specyfiką przepływów w tych dwóch ukierunkowaniach, różni się w sposób zasadniczy. Badania turbulentne dotyczą struktury przepływów i zjawisk związanych z wewnętrznymi procesami zachodzącymi w wyniku zaburzeń pola prędkości. Badania z zakresu aerodynamiki dużych prędkości obejmują analizę zjawisk procesów ciepłno-przepływowych, uwzględniającą zmianę wielkości parametrów uśrednionych. Przepływy nieustalone i pulsacje występujące w tych przepływach różni się zasadniczo skalą od pulsacji turbulentnych.

Sprawą drugą jest sprawa doboru odpowiedniej koncepcji opracowania koreferatu. Układ treści koreferatu jest inspirowany przez dobór treści referatu, sposób prezentacji przez referenta materiału i ukierunkowanie dyskusji. Jest on ponadto uwarunkowany poglądami autorów obu prezentacji. Przy wszelkich ocenach sprawą istotną jest określenie i omówienie układu odniesienia. W ocenie dorobku naukowego jest istotne nakreślenie tła, na jakim ten dorobek się ocenia. Dla oceny działalności badawczej w określonej problematyce w skali krajowej tłem może być tylko skala osiągnięć światowych. Obaj Autorzy referatów przeglądowych mniej lub bardziej wyraźnie takie tło szkicują, choć nie są konsekwentni w wyciągnięciu wniosków. Rolę koreferenta było zatem wyciągnięcie i przedyskutowanie wniosków oraz wyraźniejsze zarysowanie tła, w szczególności dokonanie pewnych uzupełnień w naświetleniu i odpowiednim zaakcentowaniu spraw istotnych dla rozwoju badań w dyskutowanych ukierunkowaniach.

1. Omówienie badań w zakresie turbulencji

Turbulencja jest zjawiskiem budzącym ciągle wiele kontrowersji co do jej istoty, możliwości poznawczych, potrzeby i metodologii badań oraz prawdopodobieństwa uzyskania

poprawnych zamkniętych rozwiązań. Nikt nie neguje ważności zjawiska turbulencji w przebiegu procesów w technice i w naturze. Ogromna intensyfikacja procesów transportu w wyniku turbulizacji przepływów ma nie tylko zasadniczy wpływ, ale wręcz umożliwia rozwiązanie techniczne urządzeń dla procesów wymiany ciepła w skali możliwej do stosowania w praktyce, umożliwia realizację niesłychanie ważnych w technice procesów spalania. Wbrew ogólnym poglądom właśnie dzięki tylko turbulencji możemy uzyskać duże siły nośne na powierzchniach nośnych i mały opór konturów opływowych, umożliwiając w ogóle start i lądowanie samolotów oraz uzyskiwanie dużych sprawności maszyn przepływowych. Turbulencja odgrywa zasadniczą rolę wszędzie tam, gdzie w technice i w naturze spotykamy się z przepływami gazów i cieczy, tzn. praktycznie wszędzie.

Niekorzystnym aspektem turbulencji jest jedynie jej wpływ na zwiększenie oporów tarcia (na przykład przy przepływach w instalacjach) lecz w ogólnym bilansie zysków i strat tego typu straty są pomijalnie małe, w stosunku do zysków, jakie turbulizacja przepływów przynosi. Paradoksem jest tu fakt, że mając do czynienia z tak ważnym czynnikiem wpływającym na przebieg zjawisk w naturze i w różnych procesach stosowanych w technice posiadamy bardzo ograniczone możliwości wpływania przez sterowanie strukturą turbulencji na intensyfikację tych procesów. Łatwo możemy turbulizować przepływy w różnych warunkach, i z większymi kłopotami, tłumić pulsacje, nie potrafimy natomiast stworzyć takich struktur i tak sterować procesami turbulizacji aby wymuszać pożądane efekty w zastosowaniach praktycznych.

Jedynym sukcesem w tym względzie jest możliwość laminaryzacji opływów brył wymuszana ujemnym gradientem ciśnienia. W pozostałych przypadkach, jeżeli przepływ uległ już pełnej turbulizacji nawet duże zmiany intensywności turbulencji niewiele wpływają na jej aplikacyjne efekty.

Lepiej z tymi sprawami radzi sobie natura. Ryby, ptaki i owady wytworzyły mechanizmy zaburzeń zmniejszające tarcie i opór i zwiększające siłę nośną. Do tej pory jednak nie udało się w sposób wystarczający wyjaśnić mechanizmów tych procesów ani tym bardziej naśladować ich w technice mimo ciągle podejmowanych prób. Ten aspekt sprawy (trudność sterowania procesów pod kątem aplikacyjnym) jest bardzo istotny dla oceny efektów i potrzeby działalności badawczej w tym zakresie.

Rozwój działalności badawczej miał w Polsce dość specyficzny charakter. Problematyka turbulencji nie znalazła się w programach naukowych stymulowanych centralnie lecz badania na ten temat wynikały z bezpośredniego zainteresowania kilku osób działających w różnych ośrodkach krajowych. Nie bazowały one ponadto na problematyce wymiany masy i ciepła, jak to stwierdza raport przedkongresowy PAN, ponieważ nikt w kraju nie prowadził badań struktury turbulencjonalnej przepływów pod tym kątem. Jedyną pozycją z tego zakresu jest literatura [1], realizowana za granicą, a związana z generacją struktur zwiększających konwekcję poprzeczną przy przepływach w szczelinie.

Specyfikę badań prowadzonych w Polsce było nie badanie procesów turbulencji jako takich, ale pomiary wielkości, na ogół prostych charakterystyk turbulencjonalnych w różnego typu przepływach. Różnorodność tła przepływowego była właśnie cechą szczególną, określającą typ charakteru badań wykonywanych w kraju i różnicującą ukierunkowania działalności poszczególnych ośrodków.

Początkiem badań bliżej związanych z problematyką turbulencji w kraju były prace

zainspirowane budową tunelu niskiej turbulencji w Katedrze Aerodynamiki Politechniki Warszawskiej w początkach lat sześćdziesiątych. Istniała już wówczas w niektórych instytucjach aparatura specjalistyczna do pomiarów turbulencji, lecz nie były i nie zostały później uwidocznione w skali krajowej prace na temat turbulencji z tego okresu. Budowę tunelu niskiej turbulencji podjęto następnie w Instytucie Lotnictwa w Warszawie oraz zainteresowano się problematyką turbulencji w odniesieniu do przepływów palisadowych w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Częstochowskiej. Podkreślić trzeba, że badania w Katedrze Aerodynamiki ukierunkowane były głównie na sprawy opływów profilów laminarnych, w szczególności generację turbulencji w strefach przejścia, a nie jak to sugeruje referat S. Drobniaka na sprawy modelowania przepływów atmosferycznych.

Z uwagi na brak kontaktów pomiędzy ośrodkami istniejących w latach sześćdziesiątych nie można scharakteryzować w sposób poprawny rozwoju tematyki prowadzonych wówczas prac, można jednak przyjąć, że miały one charakter wstępnych kompilacyjnych opracowań i próbnych pomiarów. Szersze na ten temat informacje posiadamy z okresu organizacji ogólnokrajowych konferencji Mechaniki Płynów, które zainicjowała w 1974 roku I Konferencja pod hasłem „TURBULENCJA” w Częstochowie.

W tej sytuacji przyjęty przez autora opracowania do oceny materiał obejmujący głównie publikacje materiałów konferencyjnych wydaje się słuszny. Zwrócić jednak należy uwagę na fakt, że nie wszystkie ogłaszane w streszczeniach referaty były przedstawiane na konferencjach, np. referat pozycja [19], wymieniony w opracowaniu, również nie zawsze tytuł pracy oddawał jej treść. Ponadto referaty wygłaszane na konferencjach nie były kwalifikowane, stąd liczba podanych publikacji nie określa istotnego potencjału działalności badawczej i jej poziomu. Również wiele prac wymienionych w spisie literatury poza oceną pewnych zjawisk występujących w przepływach burzliwych nie zawiera informacji związanych bezpośrednio z badaniami turbulencji.

Stanowi w pewnym sensie osobliwość fakt, że zdecydowana większość prac ma charakter eksperymentalny. Baza badawcza, w szczególności wyposażenie krajowe do badań turbulencji jest daleko niewystarczające i wydawać by się mogło, że w tej sytuacji, jak to bywa w innych ukierunkowaniach mechaniki płynów, rozwiną się w większym stopniu badania teoretyczne. Powodem tego, że tak się nie stało był z jednej strony brak osób przygotowanych odpowiednio do takich badań. Nie bez wpływu był również fakt, że rokowania na uzyskanie znaczących wyników były i są nadal bardzo niske. Natomiast możliwość ukierunkowania badań eksperymentalnych przez zmianę tła przepływu stwarzało możliwość względnie łatwego uzyskiwania oryginalnych przesłanek.

Autor przeglądu upatruje, a uważam to za słuszne, że głównym, podstawowym ukierunkowaniem w zakresie badań turbulentnych powinny być badania struktur koherentnych oraz usiłowania zamknięcia równań. Sprawa pierwsza stanowi istotny postęp w kierunku bliższego zrozumienia mechanizmów transportu, a więc sprawy najważniejszej z punktu widzenia zastosowań. Drugie ukierunkowanie, może doprowadzić do racjonalnego zamknięcia tych równań dla niektórych przypadków przepływu. Pominięto natomiast dwa bardzo istotne problemy, których poznanie również powinno wytyczać kierunki przyszłych badań, zarówno w aspekcie prac eksperymentalnych, jak i teoretycznych. Chodzi mianowicie o kryteria modelowania struktur turbulencji oraz o rozwój metod statystycznych, jedynych za pomocą których można w pełni opisać i wyjaśnić proces stochas-

tyczny, jakim jest turbulencja. Jednak we wszystkich tych kierunkach, badania krajowe nie rokują powodzenia tak w sensie osiągnięcia znaczących wyników w zakresie badań eksperymentalnych, jak i opracowań teoretycznych, a to z uwagi na szczupłość bazy badawczej i kadry naukowej.

Te ograniczenia potencjału krajowego nakazują zwrócenie uwagi na inne aspekty sprawy uzasadniające prowadzenie badań mimo wszystkich aktualnych trudności. Chodzi mianowicie o pogłębienie i upowszechnienie wiedzy o zjawiskach turbulencji w środowiskach zajmujących się problematyką przepływową. Podnieść to niewątpliwie kwalifikacje i przyczyni się do lepszego zrozumienia zjawisk przepływowych wśród osób zajmujących się badaniami przepływów. Będzie to też miało niewątpliwą wpływ na prawidłowość rozwiązań aplikacyjnych. Drugą sprawą stanowiącą również istotną motywację jest potrzeba utrzymania bezpośredniego kontaktu z osiągnięciami nauki światowej w tej dziedzinie, czego nie da się osiągnąć bez prowadzenia własnych prac badawczych.

Już realizacja tych dwóch celów wymaga podtrzymania działalności krajowych ośrodków badawczych przez dostarczenie środków i zapewnienie stażów zagranicznych dla pracowników tych ośrodków. Wszelkie znaczące osiągnięcia, które mogą pojawić się przy realizacji tych celów będą mile widziane. Trzeba bowiem otwarcie przyznać, że aplikacyjność większości krajowych opracowań, tak często podkreślana przez autorów, jest sprawą co najmniej wątpliwą, bowiem ani badania modelowe przepływów, ani założenia przyjmowane odnośnie struktury nie odpowiadają przepływowi modelowemu. Ponadto wyniki badań, które w szeregu przypadkach stanowiąc mogą liczące się osiągnięcia autorów nie wnoszą istotnego wkładu w ogólny postęp wiedzy w tej dziedzinie.

Do omawianej przez Autora tematyki badawczej poszczególnych ośrodków krajowych chciałbym wnieść kilka uwag. W przypadku ośrodka w Politechnice Warszawskiej, nie wszystkie prace z zakresu inżynierii wiatru są bezpośrednio związane z turbulencją. Pominięto natomiast znacznie bardziej istotny dla tego ośrodka ze względów aplikacyjnych problem stateczności warstwy na profilach lotniczych. Na wymienienie i szersze omówienie zasłużył Ośrodek Poznański. W szczególności za podjęcie badań związanych z wymianą ciepła. Natomiast nie uzasadnione jest wymienienie Ośrodka Białostockiego. Sposób realizacji, jedynej zresztą wymienionej pracy (lit. 62) tego Ośrodka budzi poważne zastrzeżenia co do poprawności prowadzonych badań i ich interpretacji. Brak dobrego zrozumienia zjawisk przepływowych jest również widoczny w szeregu opracowań pochodzących z innych ośrodków. Wynika to zapewne z faktu, że wiele ośrodków, zajmujących się problemami turbulencji nie miało tradycji badań z zakresu mechaniki płynów, jak również z faktu, że sprawami turbulencji zajęły się osoby innych specjalności.

Na tle działalności krajowej uderza bardzo mała liczba, wśród prezentowanych prac wykonanych w Instytucie Lotnictwa, którego baza badawcza i wyposażenie niewspółmiernie przewyższa skromne i przestarzałe zaplecze innych ośrodków.

W zakresie metodologii pomiarów i konstrukcji sprzętu dorobek krajowy jest jeszcze skromniejszy. Międzynarodową pozycję osiągnęła grupa konstruktorów z Instytutu Mechaniki Górotworu AGH, lecz działalność tej grupy jest głównie „eksportowa” i nie widoczna na krajowym „rynku”. W innych ośrodkach działalność ta uwzględnia własne potrzeby, a dopracowania metodologiczne służą własnym badaniom.

Pisząc o sprawach aparatury nie sposób nie podkreślić krytycznej sytuacji istniejącej

w tym względzie w skali ogólnokrajowej. Istniał wprawdzie okres, w którym dokonywano dość licznych zakupów, stymulowanych również i modą — bowiem w aparaturę do badań turbulencji zaopatrywały się liczne ośrodki, głównie przemysłowe, które nie wykazały w tym względzie żadnej działalności. Okres ten jest dość odległy i krajowe ośrodki stoją w sytuacji grożącej zatrzymaniem badań z powodu braku aparatury i części zamiennych. Nie wspominam tu zresztą o brakach, jakie istniały zawsze w wyposażeniu w aparaturę umożliwiającą odpowiednią obróbkę sygnałów.

Krytyczna ocena działalności badawczej przedstawiona w koreferacie wynika z odniesienia wyników działalności krajowej do osiągnięć światowych w tym zakresie. Trzeba bowiem zdawać sobie sprawę z dystansu jaki nas dzieli. W tym jednak przypadku ta wielkość dystansu nie jest równoznaczna opóźnieniu naukowemu i technicznemu, jest to po prostu różnica w potencjale i możliwościach badawczych, nie większa zresztą w tej problematyce, niż w wielu innych ukierunkowaniach naukowych. Istnieje bowiem, omówiona na wstępie specyfika badań w zakresie turbulencji. Nie rokują one mianowicie szybkiego dojścia do wyników stanowiących odkrycia naukowe i stwarzających możliwość efektywnego wykorzystania ich w technice.

Natomiast niewątpliwą jest rzeczą, że trzeba bieżące badania i osiągnięcia śledzić tak dla zachowania kontaktu z nauką światową, jak i w celu pogłębiania znajomości ogólnych zjawisk przepływowanych wśród środowisk krajowych.

Autor przeglądu przedstawił obszerną literaturę. Opuścił jednak kilka prac, zasługujących na wymienienie, które zamieściłem w spisie literatury na końcu niniejszego opracowania.

2. Omówienie badań w zakresie aerodynamiki dużych prędkości

Omówieniu działalności badawczej zakresu aerodynamiki dużych prędkości nadał Autor opracowania (dr W. Kania) nieco inny układ, niż uczyniono to w przeglądzie prac z zakresu turbulencji. Dużą część opracowania stanowi szczegółowe referowanie technik badawczych oraz omawianie poszczególnych prac i dyskusja ich wyników. W większości są to prace wykonywane w Instytucie Lotnictwa. Dobór tematyki prac nie stanowi jednak uporządkowanego przeglądu dającego czytelnikowi możliwość śledzenia problematyki badań w ogólnym aspekcie fenomenologicznym bądź aplikacyjnym. Bardziej przeglądowy charakter ma wprowadzenie, oraz ta część artykułu, która przedstawia działalność ośrodków poza rodzimym ośrodkiem Autora (Instytut Lotnictwa). W referacie ograniczył się Autor do badań wykonywanych w tunelach i rurach uderzeniowych, pominął całkowicie problematykę badań strumieni i hałasu aerodynamicznego realizowaną w Instytucie Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej oraz badania opływu brył tępych związane z dość szeroko prowadzonymi pracami teoretycznymi w tymże samym Instytucie.

Brak jest również w artykule informacji o rozwoju tematyki i ukierunkowaniu w czasie działalności badawczej w zakresie aerodynamiki dużych prędkości. By uzupełnić ten brak pozwolę sobie scharakteryzować główne kierunki tego rozwoju. Ułatwi to ocenę działalności krajowej na tle osiągnięć światowych. Z perspektywy czasu i w świetle osiągniętych

wyników wyróżnić można trzy okresy, w których badania w zakresie dużych prędkości ukierunkowane były na osiągnięcie pewnych głównych celów.

Pierwszym takim celem było pokonanie bariery dźwięku i trudności związanych z przejściem przez strefę przepływów mieszanych. Cel drugi stanowiło opracowanie aerodynamiki samolotów wysmukłych (slender) i badania związane z rozwojem techniki raketowej (te dwa cele zostały już w swoich głównych założeniach zrealizowane). Okres trzeci — obecny — jest okresem badań nad rozwojem nowych geometrii układów (za przedstawiciela tego układu może być uważany płat typu „CARRET”) generujących siłę nośną w wyniku wymuszenia odpowiednich układów fal ciśnieniowych i rozrzedzeniowych. Dużo uwagi poświęca się również rozwojowi konstrukcji silników przelotowych z poddźwiękowymi i naddźwiękowymi komorami spalania (RAM-JET, SCRAM-JET).

W okresie pierwszym badania obejmowały głównie zjawiska falowe w przepływach mieszanych. Szczególną trudność sprawiało tu odejście od klasycznej aerodynamiki płatów, w której dominowała dwuwymiarowość (zasada płaskich przekrojów) i konieczność uwzględnienia efektów trójwymiarowych (skos płata i zmniejszenie wydłużenia) co komplikowało znacznie badania i kontrolę zjawisk. Badania nad poprawą właściwości aerodynamicznych samolotu w tym zakresie lotu trwają jeszcze obecnie, lecz główny postęp dokonał się już trzydzieści lat temu. Przykładem ogromu prac i kosztów jakie badania w tym zakresie pochłonęły mogą być prace nad ewolucją tylko jednego typu samolotu — F-86. W ciągu niecałych dziesięciu lat skonstruowano i wyprodukowano około 20 wersji począwszy od znanego z okresu II wojny światowej MUSTANGA przez SABRE'a do F-100. Poszczególne prototypy posiadały skrzydła różniące się geometrią obrysu, profiliów i mechanizacją. Wynikiem tych prac było zwiększenie krytycznej liczby Macha z 0.72 na 0.92, przekroczenie bariery dźwięku, przeszło dwukrotnie zmniejszenie współczynnika oporu falowego i ogromna poprawa zdolności manewrowej samolotów.

Problem główny drugiego okresu, to sprawa zapewnienia stateczności smukłych samolotów naddźwiękowych oraz poprawa właściwości aerodynamicznych tych samolotów przez dopracowanie różnych elementów geometrii (skrzydła nastawne, skrzydła hybrydowe, układ kaczka — „canard”). Przykładem może być tu samolot „CONCORDE” oraz liczne konstrukcje samolotów wojskowych.

Jest sprawą interesującą, że poprawę właściwości aerodynamicznych w zakresie naddźwiękowym uzyskiwano bardzo często przez wymuszanie i odpowiednie sterowanie zjawisk przepływu w obszarach poddźwiękowych. Do badań tego zakresu zaliczyć można jeszcze badania związane z projektowaniem aerodynamicznym raket, ze szczególnym ukierunkowaniem na aerodynamikę gazów rozrzedzonych i problematykę związaną z nagrzewaniem i chłodzeniem.

Podany powyżej przykład produkcji dwudziestu kolejnych wersji samolotów w jednej tylko serii w krótkim okresie czasu (10 lat) wskazuje na dużą trudność zdobywania informacji aplikacyjnych z badań modelowych i obliczeń teoretycznych w tej dziedzinie. Jest natomiast dowodem na efektywność badań prototypowych w zdobywaniu właśnie tych informacji.

Poruszam tę sprawę, gdyż Autor przeglądu dość szeroko dyskutując rozwój i możliwości badań eksperymentalnych nie wspomina o konieczności badań prototypowych dopracowaniu modelowych rozwiązań w oparciu o te badania. Istniały w przeszłości

i istnieją dotychczas niepokonane trudności spełnienia kryterium podobieństwa w badaniach modelowych. I dopiero badania prototypu w locie dostarczyć mogą wiarygodnych informacji, które poza oceną samego rozwiązania służyć mogą do porównań i analiz wyników badań tunelowych i obliczeń teoretycznych. Z kolei wyniki takich analiz umożliwiają bardziej prawidłowe wnioskowanie przy badaniach kolejnych wersji. Śledząc rozwój konstrukcji lotniczych dostrzeżemy wiele przykładów dopracowania nowych rozwiązań w oparciu o badania w locie.

Wymienione przez Autora obszary aplikacji badań eksperymentalnych nie akcentują właściwych proporcji potrzeb. Podany zresztą podział na wymienione trzy grupy jest sztuczny, gdyż postęp w poznaniu ogólnym nie wynika z określonego ukierunkowania badań, jak również weryfikacja opracowań teoretycznych nie następuje wyłącznie w wyniku prowadzonych pod tym kątem badań doświadczalnych. Badania w zakresie dużych prędkości, a zwłaszcza badania dla zastosowań lotniczych, obejmują analizę zjawisk, w których z uwagi na charakterystyczną geometrię konturów opływanych występują różnego rodzaju złożone oddziaływania przepływów w obszarach naddźwiękowych i poddźwiękowych. Bardzo duża czułość tych zjawisk na zmianę czynników kształtujących przepływ jak i na zmiany zakresu prędkości, wymaga każdorazowo prowadzenia bardzo szczegółowych badań każdego przypadku, bowiem bardzo małe zmiany tych czynników spowodować mogą bardzo duże zmiany ilościowe i jakościowe badanego zjawiska. I właśnie te badania szczegółowe stanowią główne źródło informacji dla ogólniejszych opracowań koncepcyjnych i teoretycznych.

Z drugiej strony konieczność dopracowań szczegółowych zmniejsza możliwość zastosowań teoretycznych uwzględniających na ogół wpływ tylko głównych parametrów kształtujących przepływ.

Jako przykład można tu wymienić skrzydła hybrydowe. Uzyskanie poprawnych właściwości aerodynamicznych układu takiego skrzydła zależy od dopracowania elementów generujących wiry krawędziowe i czynników zapewniających stateczność i trwałość tych wirów w określonym zakresie zmian warunków lotu. Elementy te stanowią ok. 10% powierzchni płata lecz dzięki ich dopracowaniu można zwiększyć maksymalną siłę nośną o 50%, poprawić znacznie stateczność i inne właściwości samolotu. Podkreślić trzeba, że zmiany parametrów płata podstawowego (90% powierzchni) mają w tym układzie mniejszy wpływ niż elementów kształtujących wir. Badania tych elementów (leading edge extension-LEX) zainicjowane przez firmę Northrop Corporation są dobrym przykładem podkreślonej powyżej potrzeby badań prototypowych. „LEX” zastosowany w formie szczątkowej na samolocie F-5A w roku 1960 przeszedł szczegółowe badania na samolocie YF-17 w latach 1972 - 75 i znalazł pełne zastosowanie na samolocie F-18 w 1975 roku.

Innym przykładem jest zastosowanie siedmiu kolejnych wersji skrzydła samolotu F-4, w których poprawę właściwości uzyskiwano w wyniku dopracowania poszczególnych elementów geometrii skrzydła i urządzeń nośnych.

Poświęcam tym sprawom tak dużo miejsca, gdyż istnieje ogólne przekonanie, ukształtowane zresztą o rezultaty badań w zakresie poddźwiękowym, że zmiany głównych parametrów geometrycznych płata jednoznacznie określają jego właściwości aerodynamiczne i że właściwości profilu odgrywają podstawową rolę w osiągnięciu dużej doskonałości skrzydeł.

Z drugiej strony to dość szerokie naszkicowanie problematyki badawczej i przedstawione przykłady tworzą tło odniesienia, na którym to tle łatwo ocenić można przytoczone przez Autora opracowania przykładów jak również poziom i możliwości potencjalne w zakresie badań własnych. Ocena ta może być niemal automatyczna. Wystarczy stwierdzić, że do tej pory we własnych opracowaniach konstrukcyjnych nie zdecydowano się odejść od klasycznych układów skrzydeł prostych i zastosowań klasycznych profilów NACA, co umieszcza tego rodzaju badania w sferze badań podejmowanych w początkach okresu ewolucji samolotu F-86. Większość informacji i danych prezentowanych przez Autora w spisie literatury dotyczy informacji znanych z podręczników sprzed lat kilkadziesiąt. Uważniejszy Czytelnik dostrzeże również, że tylko nieliczne, podane w spisie literatury pozycje zostały przedstawione na szerszym forum krajowym — konferencjach krajowych lub publikacjach w czasopismach krajowych, o szerszym zasięgu i ostrzejszej selekcji prezentowanych materiałów.

Istnieje wiele obiektywnych przyczyn takiej sytuacji, natomiast w tej złej sytuacji sprawą bardzo już niedobłą jest brak perspektyw rozwoju kadry. O ile w zakresie badań nad problematyką turbulencji ujawniła się grupa osób względnie młodych o obiecujących możliwościach, o tyle w tematyce eksperymentalnych badań w zakresie dużych prędkości takiej grupy, związanej z tematyką lotniczą, nie widać. Wyszkolenie takiej grupy jest w naszej sytuacji niezmiernie trudne, gdyż nie można jak w przypadku turbulencji, z uwagi na specyfikę omawianych badań, korzystać z ośrodków zagranicznych.

Z uwagi na wspomnianą specyfikę problem ten nie jest problemem środowiskowym, tak jak np. turbulencja, której tematyka wyrosła w środowisku naukowym niezależnie od działań instytucjonalnych. A więc rozwiązanie tego problemu nie zależy od środowiska, choć środowisko nie powinno w tej sprawie pozostawać obojętne.

Podkreśliłem tu sprawy kadrowe, gdyż jak na możliwości krajowe wielkość bazy pomiarowej należy ocenić pozytywnie. Brak jest natomiast urządzeń towarzyszących i aparatury pomiarowej oraz stosunkowo wysokie są koszty prowadzenia badań.

Te dwa ostatnie czynniki nie stanowiły istotnej przeszkody, i nie one są powodem, że w przeszło 40 lat po przekroczeniu prędkości dźwięku przez samoloty w locie nie stać nas na własny projekt aerodynamiczny skrzydła o Ma_{kryt} wynoszącej np. 0.9.

Jak wspomniano na wstępie w przeglądzie nie omówiono wszystkich prac charakteryzujących przedstawioną tematykę badawczą. W szczególności pominięte zostały prace wykonywane w Katedrze Aerodynamiki, a później w Zakładzie Aerodynamiki Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Obejmowały one badania przepływów w rurach uderzeniowych, przepływów przez różnego rodzaju elementy przewodów, badania struktury strumieni i badania opływu ciał tępych. W szczególności prace związane z dysypacją fali uderzeniowej przez rurę perforowaną, prace związane ze strukturą strumieni oraz generacją hałasu aerodynamicznego reprezentują tu wysoki poziom. Prace związane z opływem ciał tępych stanowiły ilustrację eksperymentalną rozwiniętych w tym zakresie prac teoretycznych.

Wiele z tych prac prezentowanych było na konferencjach krajowych i zagranicznych i publikowanych w uznanych czasopismach.

Tematykę tych prac ilustrują bliżej tytuły wybranych publikacji, które zamieściłem w dodatkowym spisie literatury (łączna liczba publikacji w tym zakresie przekracza 60

pozycji). Brak w spisie literatury tych pozycji stanowił istotne zubożenie przedstawionego dorobku krajowego, szczególnie na arenie międzynarodowej.

Dodatkowy wykaz ważniejszych pozycji literatury w zakresie turbulencji¹⁾

1. R. MERONEY, J. OSTROWSKI, *Wind Tunnel Testings of Wood Drying Processes*, Report Nr 6. Colorado State University, s. 70 1967.
2. J. OSTROWSKI, J. WOJCIECHOWSKI, *Generation of the Turbulent Boundary Layer in Unsteady Flow*, Lecture Notes on Physics, 1978 Springer Verlag.
3. P. SIERPOTOWSKI, N. SHIRAIISHI, *On Nonstationary Gusts with Pressure Waves*, Proceedings of National Conference on Disaster Prevention, Fukuoka 1978, Japan.

Dodatkowy wykaz ważniejszych pozycji literatury w zakresie problematyki naddźwiękowej

A. SZUMOWSKI

1. *On the flow pattern behind a shock wave propagating along a perforated tube*, Fluid Dynamics Transactions, Vol. 5, Part II, 1971, PWN.
 2. *Attenuation of a shock wave along a perforated tube. Shock tube Research*, Proceedings of the Eight International Shock Tube Symposium, London 5 - 8, Juli, 1971 Chapman and Hall.
 3. *Motion of shock wave along a uniform perforated duct*, Prace Naukowe, Mechanika, N18, Wydawnictwa PW, W-wa, 1972.
- W. JUNGOWSKI i współpracownicy: K. WITCZAK, W. SELEROWICZ, J. S. ANDERSON, G. GRABITZ, G. E. A. MAYER
1. *Analiza wpływu tarcia gazu i masy tłoka na temperaturę spiętrzenia w hiperdźwiękowym tunelu aerodynamicznym z ruchomym tłokiem*, A. B. M., Zeszyt 1, 1961.
 2. *Metoda obliczania temperatury spiętrzenia w hiperdźwiękowym tunelu aerodynamicznym z ruchomym tłokiem i uwagi o projektowaniu tuneli tego typu*, A. B. M., Zeszyt 3, 1962.
 3. *On the pressure oscillating in a sudden enlargement of a duct section*, Fluid Dynamics Transactions edited by W. Fiszdon, Pergamon Press and PWN, Vol. 3, 1967.
 4. *On the flow in a sudden enlargement of a duct*, Fluid Dynamics Transactions, edited by W. Fiszdon, Pergamon Press and PWN, Vol. 4, 1969.
 5. *Flow Oscillations in a duct with a rectangular cross-section*, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 79, 1977 (trzech współautorów) Part 4, pp. 769 - 784.
 6. *Schwingungen gemischter Unter- und Überschallströmungen in einem Kanal mit Querschnittsspreng*, MPT für Strömungsforschung, Göttingen, Ber. 10, 1976 (trzech współautorów).
 7. *Some features of choked air jets generating discrete frequency noise*, Proceedings of 76 Noise Control, Warsaw, 13 - 15 October, 1976 (dwóch współautorów), pp. 231 - 235.
 8. *Oscillations in supersonic flow in a rectangular duct with an abrupt change in section*, Proceedings of the „DAGA 76” Conference, Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Akustik, 20 - 23 Sept. 1976, Heidelberg (trzech współautorów), pp. 555 - 558.
 9. *Base pressure oscillations in a rectangular duct with a sudend enlargement*, The City University, Research Memorandum, Dept. of Mechanical Engineering, Memorandum No. ML 97, Sept. 1977, London (trzech współautorów) pp. 1 - 54.
 10. *Transsonischer Generator für Resonanzschwingungen in Rohr*, „DAGA 78”, VDE-Verlag, pp. 379 - 382 (dwóch współautorów), 1978.

¹⁾ Nie wykazano publikacji z Politechniki Poznańskiej wskutek nie otrzymania wykazu w terminie umożliwiającym ich druk.

11. *Oscillations of the supersonic flow downstream of an abrupt increase in duct cross-section*, Mitteilungen aus den Max-Planck-Institut für Strömungsforschung und der Aerodynamischer Versuchsanstalt, Nr 65, stron 172 (4 współautorów) 1978.
12. *Generator Hartmanna-Sprengera jako źródło dźwięku o dyskretnej częstotliwości*, Zeszyty Naukowe AGH im. St. Staszica, str. 137 - 145, (1 współautor), 1979.
13. *Prevention of noise generated by the release of gas into the atmosphere*, Proceedings Inter-noise 79, str. 155 - 158, (3 współautorów), 1979.
14. *Influence of closely located solid surfaces on the sound spectra radiated by gas jets*, *Mechanics of Sound Generation in Flows*, IUTAM/ICA/AIAA Symposium Göttingen August 28 - 31, 1979, Editor E.-A. Müller, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, pp. 116 - 122, 1979.
15. *Computation of a cooperation between reciprocating compressor and complex piping system including mufflers*, Proceedings of Purchase Compressor Technology Conference, July 23 - 25, 1980, 6 stron, (jeden współautor).

Praca została złożona w Redakcji dnia 20 lipca 1983 roku.