



ANALÝZA NEKONVENČNÝCH AERODYNAMICKÝCH KONFIGURÁCIÍ LIETADIEL

Emil Šlachtič
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Patrik Veľký
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article deals with the research and analysis of unconventional aerodynamic configurations of aircraft, developed in the aerospace industry. Primary CFD simulations of the respective models were used for the purpose of research and analysing the configurations, as well as analysis of the airflow around the 3D models in the wind tunnel of Air Transport Department. The aim was to find out why these configurations are not being used, or why they should be used in the aviation industry nowadays. The analysis was carried out mainly from an aerodynamic point of view. The different models were chosen based mainly on IATA's forecast of trends in air transport. From the analyses, it was found that certain models are more efficient than their conventional counterparts, mainly due to the reduction in induced drag. However, these configurations are also much more sensitive to flutter due to the high aspect ratio, which poses a challenge especially from a structural point of view. It can therefore be assumed that the reason for not using these configurations represent a significant reduction in operating costs, they are unprofitable for operators. In contrast, BWB configurations appear very promising in terms of both efficiency and fuel savings, and it is therefore assumed that these models may enter service in 2030.

Keywords

Unconventional aerodynamic configurations, BWB, Aerodynamics, Induced drag, Flutter

1. Úvod

Od prvého letu v roku 1903 sa lietadlá vyvíjali z jednoduchých drevených trupov, do zložitých konštrukcií, ktoré dokážu prepravovať státisíce ľudí a náklad na celom svete. Napriek tomu, že klasický dizajn lietadiel, ako ho poznáme dnes, dominuje na oblohe, existuje stále nespočetný počet nekonvenčných konfigurácií, ktoré si zaslúžia pozornosť. Tieto nekonvenčné konfigurácie ponúkajú rôzne výhody a riešenia pre budúcnosť leteckej dopravy a technológie. Konvenčnému chápaniu konštrukcie lietadiel dlho dominovali známe konvenčné konfigurácie priamych krídiel. Ako však technológia pokročila a výpočtové schopnosti dozreli, leteckí inžinieri čoraz viac obracali svoju pozornosť na alternatívne konfigurácie, ktoré ponúkajú potenciálne výhody z hľadiska výkonu, efektívnosti a všestrannosti. Tradične bol dizajn lietadla obmedzený súborom zavedených princípov a konvencií, ktoré určujú usporiadanie a geometriu komponentov lietadla. Keďže sa však leteckí inžinieri snažia optimalizovať výkon naprieč celým radom kritérií, od palivovej účinnosti až po manévrovateľnosť, čoraz viac sa uznáva, že nekonvenčné konfigurácie môžu ponúkať nevyužitý potenciál. Konštrukcie konvenčných lietadiel sú často obmedzené faktormi, ako je indukovaný odpor vzduchu a víry na konci krídiel, ktoré môžu znížiť celkovú účinnosť a výkon. Odchýlením sa od konvenčného usporiadania a skúmaním alternatívnych konfigurácií, ako sú zmiešané krídlové telesá alebo lietajúce krídla, sa inžinieri snažia minimalizovať tieto neefektívnosti a odomknúť nové možnosti aerodynamickej optimalizácie. Vymanením sa z obmedzení, vyplývajúcich z tradičného usporiadania, môžu inžinieri navrhnuť lietadlá, ktoré sú vhodnejšie pre konkrétne trasy alebo prevádzkové prostredia. Či sa jedná o operácie s krátkym vzletom a pristátím alebo vysokorychlostný transsonický let, nekonvenčné

konfigurácie majú potenciál prispôbiť lietadlá jedinečným požiadavkám rôznych aplikácií.

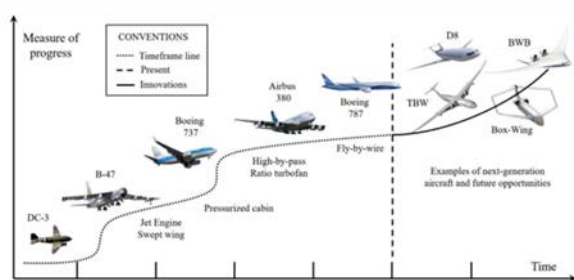
2. Nekonvenčné konfigurácie

Táto časť je zameraná na dôležitý výskum nekonvenčných konštrukcií lietadiel, ktorý vykonal priemysel, vládne subjekty a akademické obce. V priemysle sa nové lietadlá a motory navrhujú tak, aby vytvárali príjmy pre výrobcu, čo znamená, že musia poskytovať finančnú návratnosť pre prevádzkovateľa. Preto nové lietadlá zvyčajne minimalizujú kombináciu priamych prevádzkových nákladov a čistej súčasnej hodnoty (Net present value), s výhradou, v súlade s predpismi. V tomto prípade spotreba paliva prichádza prostredníctvom priamych prevádzkových nákladov, regulácie hluku sa dosiahnu prostredníctvom predpisov a zníženie emisií prostredníctvom zníženia spotreby paliva a určitého regulačného tlaku (ICAO - nová norma CO₂) [1].

Naopak, na akademickej pôde a vo výskumných ústavoch, sa poskytuje väčšia flexibilita v cieľových funkciách a priestore návrhu. Keďže tieto štúdie sa často zameriavajú na dlhšie obdobie, očakávajú sa vyššie ceny palív a ďalší regulačný tlak. V každom prípade, bez ohľadu na to, či technológia bude alebo nebude prijatá v priemysle, bude v konečnom dôsledku závisieť od jej finančnej životaschopnosti. Na výskume lietadiel novej generácie sa aktívne podieľa viacero subjektov na celom svete, pričom ako potenciálni nástupcovia súčasných lietadiel CTW bolo predložených viacero nápadov. Konceptie ako SBW a TBW majú krídlo s veľmi vysokou štihlosťou a ich cieľom je znížiť indukovaný odpor počas letu, pričom sa snažia udržať čo najnižšiu hmotnosť. Vychádzajú však zo súčasných konštrukcií trupu, čo predstavuje nižšie náklady a riziko ako iné konceptie, napríklad BWB alebo koncepcia Flying-V. Najmä posledné

menované koncepcie zvyšujú aerodynamickú účinnosť využívaním mnohých efektov, ktoré v konečnom dôsledku zvyšujú plošnú štihlosť a znižujú hmotnosť. Umožňujú zväčšiť rozpätie krídla, a tým prinášajú výhody z hľadiska indukovaného, aj trecieho odporu. Problémom týchto koncepcií sú však obmedzené skúsenosti s návrhom a väčšia neistota, napríklad pri odhade konštrukčnej hmotnosti a správania sa pri stabilite. V dôsledku toho musí byť predpokladaný prínos a dôvera v túto predpoveď v prípade týchto koncepcií vyššia, aby sa odôvodnilo riziko a investície potrebné zo strany priemyslu [1].

Napriek týmto obmedzeniam, ktoré zároveň predstavujú príležitosť pre budúce štúdie, existujú potenciálne technológie schopné konkurovať súčasnej konfigurácii CTW (viď. obrázok 1). IATA uviedla odhadované prínosy takýchto technológií v oblasti palivovej úspornosti, vrátane klasifikácie úrovne technologickej pripravenosti a uvedenia do prevádzky. Vidíme, že niektoré nekonvenčné konfigurácie majú potenciál zlepšiť palivovú účinnosť rádovo o 30 %, ale plne elektrické alebo hybridné elektrické lietadlá pravdepodobne pokryjú veľkú časť zvýšenia tejto účinnosti. Preto existuje veľká snaha zlepšiť účinnosť budúcich lietadiel zavedením nových technológií a nových konštrukčných koncepcií. Podľa poslednej nezávislej odbornej skupiny pre integrovaný výskum je však nepravdepodobné, že nekonvenčné konfigurácie budú v prevádzke pred rokom 2037 [1].



Obrázok 1. Pokrok v konštrukcii komerčných lietadiel, od konvenčných návrhov až po lietadlá novej generácie. Zdroj: [6]

2.1. Koncepcia Blended/hybrid wing bodies

Koncepcia BWB je jednou z najslubnejších nekonvenčných konfigurácií, ktorá poskytuje niekoľko rôznych výhod v porovnaní s lietadlami CTW. V tejto konštrukcii je tvar trupu lietadla upravený tak, aby mohol prispievať k vytváraniu vztlaku, t. j. trup a krídla sú spojené a chvostové plochy sú väčšinou odstránené, čím vzniká jediné vztlakové teleso, ktoré ponúka výrazné zníženie interferenčného odporu. Tým sa zvyšuje aerodynamická účinnosť a sprístupňuje sa ďalší priestor v kabíne na zvýšenie kapacity pre cestujúcich a náklad. BWB tiež umožňuje lepšie upraviť rozloženie nákladu, čím sa znižujú ohybové momenty. To umožňuje väčšie rozpätie krídla, čo prináša výhodu indukovaného odporu [1].

Integrálne usporiadanie "blended wing body" (BWB) sa považuje za aerodynamicky najdokonalejšie usporiadanie pre lietadlá s dlhým doletom. Koncepcia BWB je zameraná na úplnú elimináciu trupu, ako hlavnej časti odporu vzduchu. Teoreticky by pomer vztlaku a odporu týchto konfigurácií mohol byť pri rovnakej štihlosti krídla o 40% vyšší ako pri klasickom usporiadaní [2].

V civilnom letectve sa konfigurácia BWB vždy považovala za typický príklad futuristického lietadla, ktoré by mohlo vstúpiť do služby v priebehu niekoľkých nasledujúcich desaťročí. Vedci z NASA, Boeingu, Airbusu a DLR okrem iného pracujú na svojej novej generácii lietadiel a testujú koncepty BWB na budúce komerčné účely. Na preskúmanie jeho aerodynamických schopností, ako aj stability a vlastností riadenia a ovládania boli vyrobené a testované niektoré experimentálne bezpilotné koncepty v malom merítku, ako napríklad X-48 (viď. Obrázok 9) a koncept MAVERIC so zmiešanou konštrukciou krídla. V prípade X-48 letové testy ukázali, že lietadlo bolo tichšie, ako sa očakávalo a malo lepšiu spotrebu paliva pri lete s väčšou hmotnosťou. Podobne v júni 2019 prvýkrát vzlietlo lietadlo MAVERIC, ktoré preukázalo potenciál znížiť spotrebu paliva až o 20% v porovnaní so súčasnými lietadlami [4].

2.2. Koncepcia Box Wing

Konfigurácia BW sa vyznačuje uzatvoreným krídlom, ktoré sa intenzívne skúma od roku 1924, keď Prandtl vynašiel "najlepší systém krídla". Podľa Prandtla je najlepším systémom krídla práve BW, ktoré by mohlo dosiahnuť oveľa nižšie hodnoty indukovaného odporu, ako ekvivalentné jednoplošníky, ktoré majú rovnaké rozpätie a vztlak. Tento teoretický základ viedol k viacerým snahám, ktoré sa zamerali na štúdium problému indukovaného odporu v uzavretých krídlach a ich optimálneho rozloženia vztlaku. Neskôr Frediani a Montanari skúmali systém BW za predpokladu, že vztlak je rovnomerne rozložený na predných a zadných krídlach. Výskumy Demasiho a kol. však neskôr ukázali, že rozloženie optimálneho aerodynamického zaťaženia/prúdenia na BW sa neriadi eliptickým zákonom. Skutočné riešenie má totiž tvar, ktorý sa mení od kvázi eliptického, pre nulovú medzeru medzi krídlami až po konštantné rozloženie, keď sú krídla od seba extrémne vzdialené. Moderná výpočtová aerodynamika poskytla ďalší pohľad, ktorý dokazuje silnú koreláciu medzi numerickými výsledkami a Prandtlovou predpoveďou [3].

Neskôr štúdie koncepcného návrhu na rôznych úrovniach presnosti dospeli k záveru, že BW ponúkajú lepšiu výkonnosť ako konvenčné krídla bez toho, aby prekročili obmedzenia rozpätia krídla kvôli letisku alebo sa výrazne odchýlili od koncepcie CTW. O komplexných prehľadoch konfigurácií krídiel, ktoré nie sú rovinné, poukazujú: Cavallaro a Demasi, Wolkovitch, Buttazzo a Frediani. V týchto publikáciách sa rozoberajú konštrukčné výzvy a inovácie rôznych konfigurácií nerovinných krídiel, ktoré pokrývajú rôzne technické oblasti, ako sú aerodynamika, konštrukcie, aeroelasticita, stabilita a riaditeľnosť [5].

2.3. Strut a truss braced konfigurácie

Hlavný rozdiel spočíva v tom, že koncepcie TBW majú vzperu a prvky spájajúce vzperu a krídlo, čo umožňuje ďalšie zvýšenie štihlosti. Dlhšie krídla však podliehajú trepotaniu, preto sa na zmiernenie tohto javu používajú priehradové nosníky. Výsledkom takejto konfigurácie je podstatne väčší konštrukčný priestor, pretože priehradové prvky si vyžadujú ďalšie konštrukčné premenné, ktoré zohľadňujú veľkosť a tvar každého prvku priehradového prierezu. Dve hlavné výzvy, ktorým čelia koncepcie SBW a TBW, sú preto trepotanie a rázové vlny v oblastiach spojov a v "kanáli" vytvorenom priehradovým nosníkom. Vzpera je tiež výzvou pre konštrukciu SBW, pretože vzpera podlieha tlaku počas záporných podmienok zaťaženia a

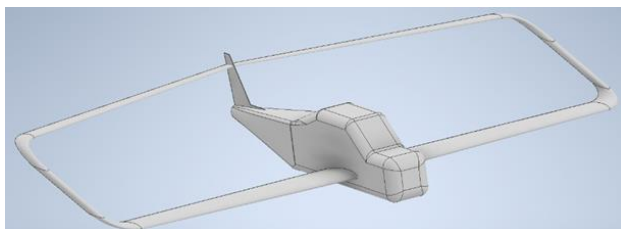
vnútorný segment krídla je ovplyvnený tlakom počas kladných podmienok zaťaženia, čo si vyberá svoju daň. Toto všeobecne platí pre všetky spojené systémy krídla, vrátane BW, ktoré sú staticky neurčitými konštrukciami. Je dôležité poznamenať, že hlavné problémy z hľadiska aerodynamických a konštrukčných nelinearít predstavujú konštrukčnú výzvu, pretože podrobný návrh a certifikácia si vyžadujú presnejšie postupy [19]. Najdôležitejšie výsledky ukazujú výhodu vzperových a jednoduchých priehradových konfigurácií oproti konzolovým lietadlám CTW z hľadiska spotreby paliva. Veľké rozpätie krídla týchto koncepcií, ktoré môže byť citlivé na aeroelastické javy, predstavuje v počiatočných štádiách značnú konštrukčnú a aerodynamickú neistotu [19]. Koncepty SBW a TBW vykazujú vyššie hodnoty L/D ako ekvivalenty CTW. Je to očakávaný výsledok, keďže tieto koncepty majú krídla s väčšou štihlosťou a sú navrhnuté na prevádzku vo väčších cestovných hladinách ako bežné lietadlá. Okrem toho štúdie uvádzali rôzne prístupy k návrhu, z hľadiska cieľových funkcií, konštrukčných obmedzení a technologickej realizovateľnosti. Niektoré lietadlá využívali súbor aerodynamických úvah na zníženie odporu pri trení pláštá, ako je relaminarizácia trupu a bezchvostové usporiadanie, ktoré podstatne zvýšili hodnoty L/D . Takéto konfigurácie predstavujú optimistické hodnoty L/D v dôsledku zahrnutia agresívnych technológií. Naopak, niektoré lietadlá sú obmedzené účinkami trepotania a tiež penalizované odporom. Preto dochádza k rozporu v uvedených hodnotách [19].

3. Metodika a metódy skúmania

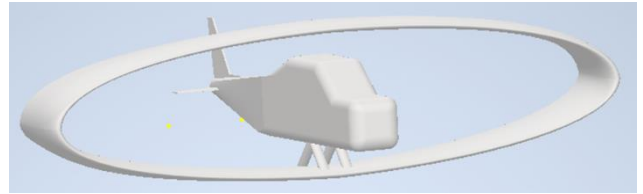
Táto kapitola je zameraná na to, ako bola vykonávaná tvorba a analýza nekonvenčných konfigurácií. Najskôr prebehol výber nekonvenčných modelov, ktoré boli analyzované. Následne sa vybrali patričné profily krídiel. Analýza zahŕňovala prácu v 3D prostredí a simulačnom programe. Vytlačené modely sa následne analyzovali vo veternom tuneli.

3.1. Autodesk inventor

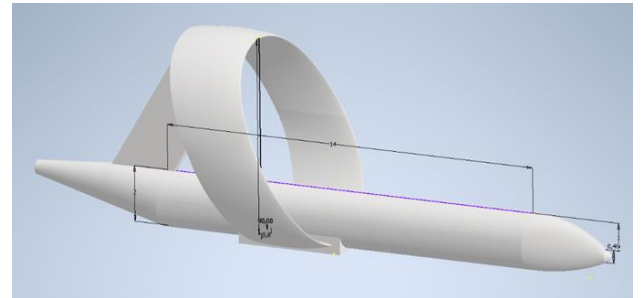
Základom tvorby 3D modelov sa využívalo prostredie Autodesk Inventor. Tu boli vymodelované príslušné modely. Výber každého modelu bol individuálny. 1. model bol podobný takzvanému „PrandtlPlane“. Ďalej bol analyzovaný model, podobný ako „Narushevich Ring Wing OW-1 s oválnymi krídlami. Dopravné lietadlá boli založené na predpovedi IATA, aké trendy by mohli vstúpiť do komerčnej prevádzky v nasledujúcich rokoch. Konfigurácia BW, BWB. Posledný Lockheed Ring Wing model bol vybratý z hľadiska analýzy, či by vôbec dokázal produkovať vztlak.



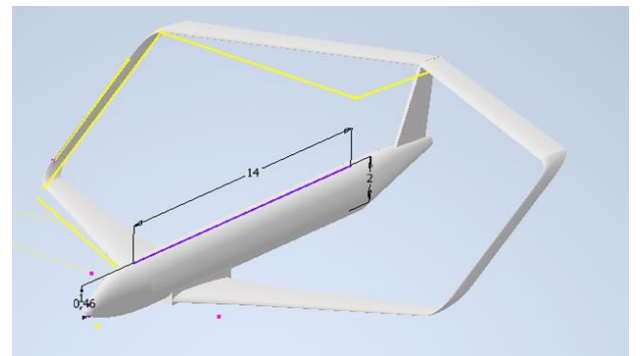
Obrázok 2. model BW určený pre GA.



Obrázok 3. model oválneho krídla určený pre GA



Obrázok 4. model konfigurácie Ring Wing



Obrázok 5. konfigurácia BW



Obrázok 6. Airbus MAVERIC

3.2. Použité profily

Na konfigurácie sa použili rôzne profily krídiel. Na modely GA sa použil profil NACA 2412. Tento profil bol zvolený z toho hľadiska, že ho využíva napríklad Cessna 172, čo môžeme považovať za rozšírený model vo všeobecnom letectve. Ďalej bolo nutné použiť symetrický profil na kolmé plochy krídiel. Na tento účel bol použitý profil NACA 0015. Čo sa týka dopravných lietadiel, na tých došlo k použitiu profilu NACA 23012, ktorý poskytuje nižšiu hodnotu vztlaku ako NACA 4412. Pre väčšie uhly nábehu však vykazujú obe takmer identické hodnoty. V prípade NACA 23012 dochádza tiež k odtrhnutiu prúdu neskôr ako v porovnanom profile. Opäť bolo potrebné použiť aj symetrický profil, ktorým bol tentokrát profil NACA 0012, ktorý je na porovnanie od NACA 0015 tenší.

3.3. ANSYS

Po úspešnom vymodelovaní všetkých modelov sa následne vkladali do simulačného programu ANSYS. Tu bolo nutné nastaviť testovaciu sekciu každého modelu a taktiež uhol nábehu. Následne program vytvoril okolo modelu takzvaný „mesh“, (viď. obrázok 18) pridali sa nastavenia medznej vrstvy. Na výpočet hrúbky 1. dielu medznej vrstvy sa využila y+ kalkulačka, (viď. Obrázok 17) kde sa zadali hodnoty rýchlosti prúdenia, hustoty, dĺžky tetivy a požadované diely medznej vrstvy. Využívali sa čísla ako 15 a 10 v závislosti od konkrétneho modelu. Ďalším krokom bolo už len nastavenie parametrov prúdenia v programe ANSYS. To zahŕňalo rýchlosť prúdenia, teplotu, tlak, viskozitu. Kvôli zachovaniu Reynoldsovho čísla profilu bola znížená hustota pre potreby čo najreálnejšej simulácie. Tá sa pohybovala okolo hodnoty 0.440011 kg/m³. Ďalej boli definované požadované číselné výstupy. Bola to hodnota vztľaku a odporu, ktorý produkuje konkrétny model.

3.4. Veterný tunel

Modely boli zostavované tak, aby sa zmestili do testovacieho priestoru veterného tunela Katedry leteckej dopravy. Keďže testovacia sekcia je v rozmeroch 30 x 30 cm, príslušné modely boli modelované v zmenšenej mierke. Kvôli nedostatku meracích prostriedkov v aerodynamickom tuneli, bolo prúdenie analyzované len vizuálne a to na dvoch modeloch, konkrétne na modeli číslo 4 a modelu Airbus Maveric, kvôli overeniu výsledkov simulácií.

4. Výsledky

4.1. Analýza 1. Modelu

Model BW, podobný typu „Prandtlplane“, okolo ktorého prúdenie bolo analyzované v prostredí ANSYS, s rozpätím 38 cm a výškou 5 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a zníženou hustotou vzduchu. Najprv s uhlom nábehu 0° a následne aj 15° kvôli zisteniu turbulentného prúdenia a taktiež hodnôt vztľaku a odporu pre porovnanie s konvenčnou konfiguráciou priameho krídla. Hodnota odporu konfigurácie s 0° uhlom nábehu bola 0,19 N. Hodnota vztľaku 1,99 N.

Analýza prúdenia vzduchu na konci krídla, kde bol očakávaný pokles vírenia vzduchu na konci krídla, a tým pádom zníženia indukovaného odporu, toto tvrdenie vyvrátila. Vírenie je dokonca väčšie ako v konvenčnej konfigurácii a vír sa zviezol po konštrukcii krídla a pokračoval aj cez profil 2. krídla.

4.2. Analýza 2. Modelu

Model s oválnym uzavretým krídlom, podobný typu OW-1. S rozpätím 35 cm a výškou 8,5 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a uhlom nábehu 0° aj 15°. Pri 0° uhle nábehu odpor konfigurácie dosahoval 0,38 N. Vztlak dosahoval 1,7 N.

Analýza prúdenia vzduchu okolo modelu odhalila, že táto konfigurácia je citlivá na vyššie uhly nábehu, prúdenie sa odtrhávalo, najmä na vrchnej strane oválneho krídla. Toto môže byť spôsobené tým, že už drak z časti tieni nabiehajúci vzduch. Taktiež to mohlo byť tým, že tetiva profilu bola príliš veľká, možno ak by bola menšia, tak by nenastala až taká výrazná separácia.

Ďalším problémom by mohlo byť taktiež spojenie profilu s trupom, nehovoriac o prenose zaťaženia. Vidíme tu separáciu prúdenia, následkom uchytienia krídla s trupom, čo v značnej miere ovplyvňuje aj odpor. Na rozložení statického tlaku môžeme vidieť, že aj uchytienie krídla pod trupom predstavovalo značný odpor.

Analýza prúdenia vzduchu však odhalila, že síce sa tvoria víry následkom indukovaného odporu, ale nie sú až také výrazné, ako v konvenčnej konfigurácii, kde sa tvoria už hneď na profile. V tomto prípade sa vírenie začalo tvoriť až za profilom.

4.3. Analýza 3. Modelu

Model s okrúhlym uzavretým krídlom, podobný typu „Lockheed ring wing“. S rozpätím 7 cm a výškou 7 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a uhlom nábehu 15°. Odpor mal hodnotu 0,1 N. Vztlak dosahoval 0,3 N.

U tohto modelu bolo zistené, že pri 15° uhle nábehu dosahuje kĺzavosť 1:3, avšak pri veľmi nízkych číslach vztľaku a odporu. Vychádzajúc z tohto tvrdenia je možné povedať, že táto konfigurácia by nebola schopná prevádzky. Vztlak by sa tvoril najmä pri koreni krídla a na vrchnej časti okrúhleho krídla.

Analýza prúdenia vzduchu odhalila, že vzduch má tendenciu skĺzavať na vrchnú stranu krídla, kde sa následne turbulizuje, to vysvetľuje ďalšiu separáciu.

4.4. Analýza 4. Modelu

Model BW konfigurácie. S rozpätím 21 cm a výškou 5 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a uhlom nábehu 15°. Odpor mal hodnotu 0,3 N. Vztlak dosahoval 1,35 N.

4.4.1. Analýza vo veternom tuneli

Prúdenie okolo tejto konfigurácie bolo skúmané aj vo veternom tuneli, s rýchlosťou prúdenia 100 km/h. Pozorovania z veterného tunela potvrdili výsledky simulácií, kde nebolo pozorované žiadne výrazné turbulentné prúdenie. Pri zvýšení uhlu nábehu o viac ako 15° je vidieť už aj vírivé prúdenie, ale taktiež sa tvorilo až za krídlom a nie priamo na krídle. Pri simuláciách je vidno, ako sa podieľa aj vrchné krídlo na tvorbe vztľaku.

Počas experimentu vo veternom tuneli bolo zistené, že pri väčšom uhle nábehu sa objavilo samobudené ohybovo-trozné kmitanie lietadla, čím môžeme zároveň konštatovať, že bude náchylný na trepotanie.

4.5. Analýza modelu Airbus Maveric

BWB konfigurácia modelu MAVERIC s rozpätím 3,7 m a výškou 0,7 m, bola simulovaná s 25° uhlom nábehu a rýchlosťou prúdenia 25 m/s. Hodnota odporu tejto konfigurácie je 162 N. Hodnota vztľaku 362 N.

Prúdenie vzduchu na konci krídla sa správalo podobne ako pri konvenčných krídlach dopravných lietadiel. Hodnoty odporu a vztľaku však nemôžeme porovnávať, pretože tento model mal výrazne väčšie rozmery ako ostatné modely. Celkové prúdenie okolo tohto modelu je optimalizované pre čo najvyššiu efektivitu konfigurácie BWB. Simulácie toto tvrdenie potvrdili, a čo sa

prúdenia týka, je vidieť značný rozdiel oproti konvenčným lietadlám. Môžeme predpokladať, že uvedením tejto konfigurácie do prevádzky sa výrazne znížia prevádzkové náklady. Simulácia tohto modelu bola zameraná primárne na problémy s nasávaním vzduchu do pohonnej jednotky následkom odtrhávania prúdnic pri vysokom uhle nábehu. V simuláciách je však vidieť, ako sa nabiehajúci prúd vzduchu vďaka konštrukcii práve vyhýba motorovej časti. Tým pádom to spôsobuje pokles rýchlosti prúdenia, práve pri motorovej časti, kde tento vzduch následne začína prúdiť v slučke, nakoľko pri simulácii motory neposkytovali žiaden ťah. Avšak, ak by motory začali produkovať ťah, táto oblasť by sa tam vôbec nemusela vyskytovať a prúdenie by ostalo naďalej laminárne.

4.5.1. *Analýza vo veternom tuneli*

Ako bolo spomenuté, v simuláciách sa ukázalo, že pred pohonnými jednotkami sa točí prúd vzduchu, v aerodynamickom tuneli sa toto tvrdenie potvrdilo. Tento jav by mohol mať samozrejme významný vplyv na pohonné jednotky, ako je napríklad nestabilná práca. Taktiež by mohli trpieť na nedostatok vzduchu vo vstupnom ústrojenstve. Ďalším krokom pre overenie tohto tvrdenia by bolo užitočné spraviť experiment, ako by sa toto zmenilo ak by motory nasávali vzduch.

5. Záver

Skúmanie nekonvenčných konfigurácií lietadiel predstavuje výzvu pre letecké inžinierstvo, kde sa inovácia prelína s tradíciou a predstavivosť poháňa pokrok. Integráciou poznatkov z disciplín od aerodynamiky po konštrukcie, môžu inžinieri prechádzať zložitými nekonvenčného dizajnu s väčšou istotou a presnosťou. Z analýzy dát, ktoré boli získané simuláciami sa zistilo, že príčiny nevyužívania týchto konfigurácií nesopčujú v aerodynamike, kde boli výsledky prúdenia lepšie, ako v porovnaní s konvenčnými konfiguráciami. Ako kľúčový bod tejto práce sa potvrdilo zníženie indukovaného odporu nekonvenčných konfigurácií. Zhrnuli sa súčasné poznatky z hľadiska efektivity a úspory paliva. V dnešnej dobe sa väčšinou skúmajú modely, ktoré by hlavne znížili spotrebu paliva, či to je už konfiguráciou alebo pohonnými jednotkami. Vývoj a výskum nekonvenčných konfigurácií sa rozvetvuje a testujú sa riešenia, ktoré by mohli nahradiť konvenčné modely. Najsľubnejším je konfigurácia typu BWB, pri ktorej hlavnou výhodou je jednoliatosť krídiel a trupu. Taktiež TBW, kde vďaka vysokej štíhlosti krídiel, je možné dosiahnuť oveľa nižšie hodnoty odporu. Samozrejme aj tieto konfigurácie majú určité nevýhody, ktoré sú spojené najmä s aeroelastickými javmi a konštrukčnou náročnosťou. Regulačné schválenie, realizovateľnosť výroby a uvedenie na trh, však predstavujú značné prekážky na ceste k implementácii.

Referencie

- [1] Bravo-Mosquera, D. Pedro; Catalano, M. Fernando a Zingg, W. David (2022). Unconventional aircraft for civil aviation: A review of concepts and design methodologies. Progress in Aerospace Sciences. ISSN 03760421
- [2] Chernyshev, S. L.; Lyapunov, S. V. a Wolkov, A. V. (2019). Modern problems of aircraft aerodynamics. Advances in

Aerodynamics. doi:<https://doi.org/10.1186/s42774-019-0007-6>

- [3] Prandtl, L. (1924). Induced Drag of Multiplanes. National Advisory Committee for Aeronautics. Document ID: 19930080964
- [4] Liou, M.-S.; Kim, H. a Liou, M.-F. Challenges and Progress in Aerodynamic Design of Hybrid Wingbody Aircraft with Embedded Engines, National Aeronautics and Space Admin Langley Research Center (2016). [Online]. Dostupné na: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20160007898/downloads/20160007898.pdf>
- [5] Demasi, L.; Monegato, G. a Cavallaro, R. (2016). Minimum induced drag theorems for nonplanar systems and closed wings, in: Variational Analysis and Aerospace Engineering, Springer.
- [6] IATA, „www.iata.org,“ IATA Aircraft technology roadmap to 2050. [Online]. Dostupné na: <https://www.iata.org/en/programs/environment/roadmaps/> [citované 2024-10-04]