

NÁVRH A KONŠTRUKCIA MODELU DEMONŠTRAČNÉHO AERODYNAMICKÉHO TUNELA

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DEMONSTRATION AERODYNAMIC TUNNEL MODEL

Michal Hruz

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
hruz1@stud.uniza.sk

Pavol Pecho

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

Abstract - The paper is focused on the creation of a fully functional demonstrational model of a subsonic wind tunnel with integrated accessories, using low air velocities to perform test analyses. The analyses take place in the form of visual demonstrations of the air flow behavior around various solids and also in the form of computational tasks. The paper describes the use of theoretical knowledge and laws in the field of aerodynamics and their subsequent connection to the design and construction of the model, while its dimensions must meet the strict requirements for subsequent placement. The demonstrational model provides the necessary equipment for research in the aerospace and, in part, automotive industries. It provides conditions for student research and fully covers the teaching processes of Air Transport Department.

Key words: subsonic wind tunnel, wind tunnel, aerodynamics, fluid flow simulation, demonstration of fluid flow behavior around solids

I. ÚVOD

V dnešnom svete je aerodynamika primárne využívaná pri konštruovaní automobilových vozidiel, lietadiel, motocyklov ale taktiež aj pri navrhovaní a testovaní konštrukčných stavieb. Samotný aerodynamický dizajn ovplyvňuje najdôležitejšie prevádzkové a limitujúce faktory, ako sú: spotreba paliva, maximálna rýchlosť a zrýchlenie, alebo nápor vetra pôsobiaci na budovu. Na experimentálne merania aerodynamických problémov na rôznych modeloch sa spolu s počítačovým simulačným prostredím využívajú aerodynamické tunely, pretože zahŕňajú úplnú zložitosť reálneho prúdenia tekutín a ich výstupom je veľké množstvo relevantných údajov. Kľúčovú časť aerodynamického tunela tvoria meracie zariadenia, ktoré sú nevyhnutné pre určenie

aerodynamických vlastností skúmaného telesa. Kvalita meracích zariadení priamo súvisí s presnosťou nameraných výsledkov, preto je dôležité zabezpečiť, aby ovplyvňovali meranie v čo najmenšej miere. Z hľadiska kategorizácie aerodynamických tunelov sa tunely delia do dvoch základných kategórií, na tunely s otvoreným okruhom a tunely s uzavretým okruhom. Ďalej sa aerodynamické tunely delia v závislosti od spôsobu prevádzky, od rýchlosti a orientácie prúdenia vzduchu v tuneli. Každý typ má svoje špecifické využitie v konkrétnej oblasti skúmania, pričom ich ekonomické a konštrukčné požiadavky sú diametrálne odlišné. [1] [2]

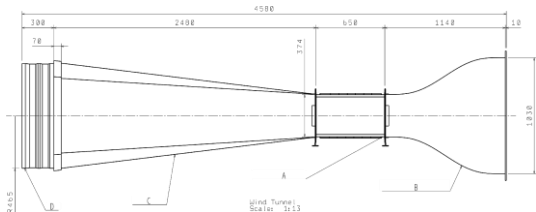
V súčasnosti na Slovensku nie je veľké technické zázemie pre výskum a vzdelávanie v danej oblasti zameranej na aerodynamiku, avšak sú k dispozícii tri aerodynamické tunely, pričom jeden je určený pre stavebné inžinierstvo. Žilinská univerzita v Žiline priamo nedisponuje akýmkoľvek zariadením v oblasti zameranej na problematiku aerodynamiky, ktoré by následne mohli využívať študenti leteckej, stavebnej alebo strojníckej fakulty. Na základe súčasného stavu bol vytvorený projekt zameraný na návrh a konštrukciu modelu demonštračného podzvukového aerodynamického tunela s plne funkčným integrovaným príslušenstvom. Hlavnou funkciou modelu bude vykonávanie demonštračných simulácií prúdenia vzduchu okolo pevných telies a analýz v oblasti monitorovania aerodynamických parametrov.

Kvôli náročnosti projektu boli samotné jeho ciele rozdelené do niekoľkých čiastkových cieľov. Ako prvé bolo potrebné vytvorenie samotného návrhu modelu a jeho verifikovanie využitím teoretických znalostí a analýzami vo virtuálnom prostredí PC softvérov. Pri samotnom navrhovaní sa kládol dôraz na mnoho markantných faktorov ako sú: zvolenie správneho typu aerodynamického tunela, stanovenie konkrétnych rozmerov a pohonnej jednotky demonštračného modelu. Druhým cieľom bola samotná konštrukcia a stavba demonštračného modelu v skutočnej mierke. Posledným

cieľom bolo uvedenie do prevádzky a následná kalibrácia meracích prístrojov a zapojenie dymovej sústavy. [1]

II. NÁVRH

Pre podmienky Katedry leteckej dopravy je nutné stanoviť typ aerodynamického tunela z hľadiska čo najmenších konštrukčných nákladov, pri zachovaní čo najpresnejších dátových výstupov. Z hľadiska rýchlosti prúdiaceho vzduchu v tuneli je potrebné využitím teoretických znalostí stanoviť maximálne hodnoty rýchlosti vzduchu, na základe ktorých sa následne vyberie príslušná pohonná jednotka modelu, pričom podmienkou bolo dosiahnutie prúdenia vzduchu s rýchlosťou 107 km/h (29,72 m/s). Je nutné stanoviť rozmery samotnej konštrukcie experimentálneho modelu vrátane výberu vhodného materiálu na jej jednotlivé časti, aby sa dosiahla požadovaná pevnosť spolu s vylúčením prípadných vibrácií a nerovností. [3] Vybraný typ s otvoreným okruhom a stálou prevádzkou (Obrázok 14) využíva konštantne prúdiaci vzduch, ktorý simuluje pohyb ľubovoľného pevného telesa pri určitej rýchlosti. Aerodynamický tunel je delený na štyri navzájom prepojené segmenty. Vstup tvorí zužujúci sa kužeľ, ktorý je napojený na testovaciu sekciu. Pohonná jednotka, v našom prípade ventilátor je osadený na výstupe difúzora. Návrhy jednotlivých segmentov sú podmienené návrhu testovacej sekcie, ktorej veľkosť musí poskytnúť dostatočné priestory pre manipuláciu a inštaláciu skúmaného telesa a osadenie meracích prístrojov.



Obrázok 14: Finálna schéma aerodynamického tunela [zdroj: autor]

Testovacia sekcia (A)

Z hľadiska rozmerov testovacej časti (Obrázok 15) platí, že jej dĺžka by mala byť v rozsahu 0,5 - 3 násobku jej hydraulického priemeru D_H . Hydraulický priemer možno chápať ako funkciu hydraulického polomeru R_H , ktorý je definovaný ako pomer plochy prierezu potrubia ku zmáčanému obvodu. V prípade štvorcového potrubia je hydraulický priemer rovný dĺžke hrany (šírke) potrubia. [4] [5]

Z hľadiska konštrukčnej jednoduchosti a ekonomickej náročnosti je nosná konštrukcia testovacej sekcie zložená z oceľových pásovín, ktoré sú zozvárané do požadovaného profilu. Pre zabezpečenie dôkladnej viditeľnosti prúdenia sú steny testovacej sekcie opatrené LED prvkami a plexisklom, ktoré dodatočne vystužuje

konštrukciu a tlmí možné vibrácie. Plexisklo na čelnej strane testovacej sekcie je odnímateľné, čím zabezpečuje prístup k uchyteniu skúmaného telesa.

S narastajúcou dĺžkou testovacej sekcie rastie koeficient poklesu tlaku, preto dĺžka testovacej sekcie musí byť čo najkratšia ale zároveň dostatočne dlhá, aby poskytla priestor pre skúmané teleso. Bola použitá dĺžka 0,65 m, tj. 1,86 násobok hydraulického priemeru D_H . [5]



Obrázok 15: Pohľad na testovaciu sekciu s uchyteným testovacím profilom [zdroj: autor]

Výpočty boli realizované pri laboratórnych podmienkach:

Teplota okolia $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Hustota vzduchu $\rho = 1,204 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Dynamická viskozita vzduchu $\mu = 1,825 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

Rýchlosť zvuku vo vzduchu $c = 343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Vzorec pre výpočet hydraulického priemeru pre štvorcové potrubie:

$$D_H = \frac{4a^2}{4a} = a = 350 \text{ mm} \quad (1)$$

Výpočet rýchlosti prúdenia vzduchu
v testovacej sekcii:

Q – Prietokové množstvo vzduchu

S – Plocha potrubia

$$v_{TS} = \frac{Q [m^3/h]}{S [m^2]} \quad (2)$$

$$v_{TS} = \frac{13\,200 \text{ m}^3/h}{0,1225 \text{ m}^2} \quad (3)$$

$$v_{TS} = 29,93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4)$$

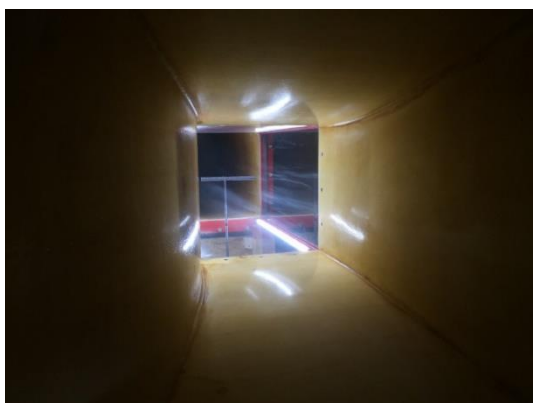
Výpočet strednej rýchlosti v tuneli:

M – Machovo číslo

$$M = \frac{v_{TS}}{c} \quad (5)$$

$$0,0335 = \frac{v_{TS}}{343}$$

$$v_{TS} = 11,490 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



Obrázok 16: Pohľad do testovacej sekcie s dymovou demonštráciou prúdenia vzduchu [zdroj: autor]

Výpočet laminárneho prúdenia vzduchu v tuneli:

D – vnútorný priemer testovacej sekcie

$$Re = \frac{\rho \cdot v_{TS} \cdot D}{\mu} \quad (6)$$

$$Re = \frac{1,204 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 34,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,35 \text{ m}}{1,825 \cdot 10^{-5}}$$

$$Re = 265320,3$$

Výsledná hodnota Reynoldsovho čísla [6] je vyššia než je požadovaná hodnota, avšak prostredníctvom frekvenčného meniča (Obrázok 17) je možné meniť rýchlosť prúdenia na nižšiu, a tým pádom je možné doceliť menšie hodnoty Reynoldsovho čísla. Čím menšia hodnota tým je prúdenie laminárnejšie (Obrázok 16).



Obrázok 17: Frekvenčný menič na reguláciu otáčok ventilátora [zdroj: autor]

VSTUPNÝ KUŽEĽ (B)

Pri navrhovaní vstupného zužujúceho sa kužeľa sme vychádzali z dvoch návrhov. Použiteľné boli dva tvary a to so štvorcovým alebo kruhovým prierezom. Zúženie a následné spojenie vstupného kužeľa s testovacou sekcii bolo možné uskutočniť buď tangenciálne alebo pod konkrétnym uhlom. Technika ohýbania preglejok umožnila jednoduchú konštrukciu tangenciálneho spojenia.

Zužujúci sa kužeľ (Obrázok 18) zabezpečuje zrýchlenie a ustálenie prúdu vzduchu do testovacej časti. Dôležitým parametrom je pomer zúženia (CR), pričom pre malé tunely je odporúčaná hodnota 6 – 9. [2] Dĺžka zužujúcej sa časti by mala byť medzi 0.15 R a R, kde R reprezentuje hydraulický polomer vstupu zužujúcej sa časti, v našom prípade štvorec. [1] Finálna dĺžka vstupného zužujúceho sa kužeľa L je stanovená na 1 meter. Aby sa zabránilo oddeleniu prúdu vzduchu, dĺžka zúženej časti bola stanovená na 900 mm, čo je o 20% dlhšie ako maximálna odporúčaná hodnota, pričom pomer zúženia má hodnotu 8.16.

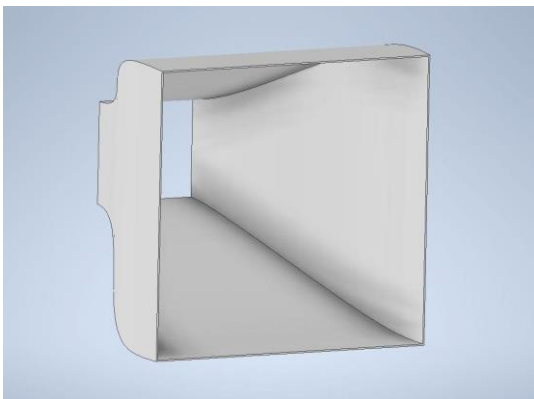
Aby sa zabezpečilo dostatočné priliehanie prúdu vzduchu bolo potrebné zvoliť pomer:

$$L = 1 \text{ m}$$

$$y_0 = 0,5 \text{ m}$$

$$\frac{L}{2 \cdot y_0} \cong 1$$

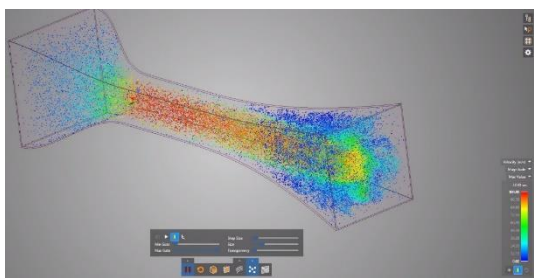
Vnútorné povrchy zužujúceho sa kužeľa boli podrobené dôkladnému mechanickému odpracovaniu a pre zabezpečenie laminárneho prúdenia opatrené epoxidovým lakom.



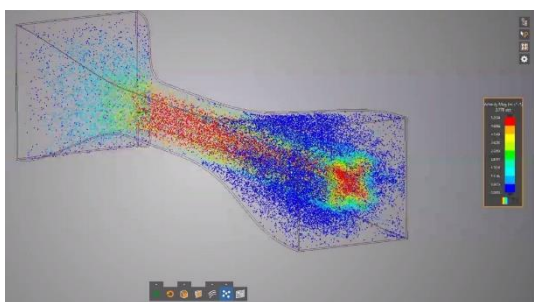
Obrázok 18: Návrh vstupného kužela v PC softvéri Inventor 2019 [zdroj: autor]

DIFÚZOR (C)

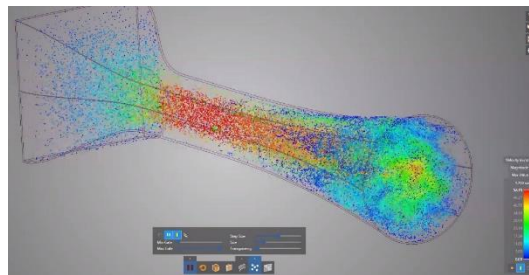
Pri navrhovaní difúzora sme vychádzali z troch návrhov. Návrhy sa líšili výstupným prierezovým profilom difúzora, kde je možné použiť buď kruhový (Obrázok 21) alebo štvorcový prierez, avšak pri štvorcovom priereze bolo možné použiť prepojenie s testovacou časťou buď tangenciálne (Obrázok 20) alebo pod konkrétnym uhlom (Obrázok 19). Prvý variant je konštrukčne menej náročný v porovnaní s druhým variantom, pretože nevyžaduje dodatočné ohýbanie drevených častí, pretože steny by boli rovné. Všetky tri návrhy boli podrobené simuláciám vo virtuálnom prostredí počítačového softvéru ANSYS Discovery Live. [7] [8]



Obrázok 19: Prepojenie testovacej časti a výstupu difúzora pod konkrétnym uhlom [zdroj: autor]



Obrázok 20: Tangenciálne prepojenie testovacej časti s výstupom difúzora [zdroj: autor]



Obrázok 21: Tangenciálne prepojenie testovacej časti s kruhovým výstupom difúzora [zdroj: autor]

Rozmery difúzora boli podmienené viacerým faktorom. Prvý limitujúci faktor bol priemer pohonnej jednotky – ventilátora, ktorý disponuje priemerom 900 mm. Ďalším faktorom bol výrobný materiál, čiže preglejka, ktorú bolo možné obstarat' v rozmere maximálne do 2500 mm. Posledný segment, ktorý ovplyvňoval rozmery difúzora bola testovacia sekcia, ktorej rozmerom boli podriadené všetky jednotlivé segmenty. Z tohto hľadiska bola celková dĺžka difúzora stanovená na 2500 mm pričom uhol difúzora bol z konštrukčného hľadiska stanovený na 6.27° .

Podobne ako vnútorné povrchy vstupného kužela tak aj vnútorné povrchy difúzora boli podrobené dôkladnému mechanickému opracovaniu a pre zabezpečenie laminárneho prúdenia opatrené epoxidovým lakom.

POHONNÁ JEDNOTKA - VENTILÁTOR (D)

Voľba pohonnej jednotky (Obrázok 22) aerodynamického tunela vychádzala z potreby dosiahnutia prúdenia vzduchu v testovacej sekcii s rýchlosťou 107 Km/h (29,72 m/s).



Obrázok 22: Pohonná jednotka (ventilátor) aerodynamického tunela [zdroj: autor]

Výpočet rýchlostí prúdu vzduchu v testovacej sekcii:

Q – Prietok vzduchu

S – Plocha potrubia

$$v_{TS} = \frac{Q [m^3/h]}{S [m^2]} \quad (9)$$

$$v_{TS} = \frac{13\,200 \text{ m}^3/h}{0,1225 \text{ m}^2}$$

$$v_{TS} = 29,93 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet strednej rýchlosti prúdiaceho vzduchu v tuneli:

M – Machovo číslo

$$M = \frac{v_{TS}}{c} \quad (10)$$

$$0,0335 = \frac{v_{TS}}{343}$$

$$v_{TS} = 11,490 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

USMERŇOVACIE MRIEŽKY

Usmerňovacie mriežky usmerňujú a ušľachujú prúd vzduchu na vstup do testovacej sekcii, kde musí byť zabezpečené laminárne prúdenie. V súčasnosti tunel disponuje jednou usmerňovacou mriežkou a v priebehu budúcich prác bude tunel vybavený voštinovou usmerňovacou mriežkou.

STAVBA

Pri plánovaní konštrukcie boli na výber dva stavebné postupy. Prvý variant zahŕňal použitie laminovaných profilov, avšak z hľadiska vysokých ekonomických nákladov bol daný variant suplementovaný využitím drevených profilov. Drevený variant vychádzal z princípu techniky ohýbania drevených preglejok. Pred tým než bolo možné konštruovať jednotlivé segmenty bolo nutné vyrobiť formy – kopytá, ktoré zabezpečili ohýbanie preglejok do požadovaného tvaru. Hotové celky, teda vstupný kužel a difúzor sa skladajú zo štyroch jednotlivých drevených dielov. Celý aerodynamický tunel je postavený na drevenej konštrukcii, ktorá zabezpečuje jeho stabilitu a samonosnosť, tlmenie vibrácií a znemožňuje jeho posunutie v priestore. Postup vyžadoval vysokú pracovnú a časovú náročnosť. Celkový čas konštrukčnej fázy predstavuje 1600 pracovných hodín.

SÚSTAVY SYSTÉMU DEMONŠTRAČNÉHO MODELU

Potom, ako boli ukončené konštrukčné práce nasledovalo zapojenie elektrickej siete a pomocných ústrojenstiev. Zapojenie a inštalácia zahŕňovala merač vzlaku a odporu, merače teploty a statického a celkového tlaku, systém Arduino, LED prvky a dymovú sústavu. Z

dôvodu bezpečnosti bola elektrická sieť opatrená hlavným vypínačom v prípade, ak by došlo k utrnutiu skúmaného objektu alebo nasatiu cudzieho predmetu, aby sa predišlo škodám na lopatkách ventilátora. [8]

III. KALIBRÁCIA A VERIFIKÁCIA

ARDUINO SYSTÉM

Meracie prvky sú prepojené s počítačovým softvérom prostredníctvom systému Arduino (Obrázok 23). Softvér bol manuálne naprogramovaný špeciálne pre potreby tunela, pričom disponuje vizuálnym zobrazením grafov vzlaku a odporu, zmeny teploty a tlaku v čase, využívané otáčky ventilátora. [5]

Posledné kroky boli zamerané na kalibráciu snímačov, porovnanie a verifikáciu nameraných hodnôt aerodynamických koeficientov so známymi aerodynamickými koeficientmi pre daný tvar telesa.



Obrázok 23: Programovateľný mikropočítač Arduino na snímanie dát zo senzorov [zdroj: autor]

Metodika verifikácie údajov pozostávala z porovňovania nameraných hodnôt pre teleso ktorého aerodynamické vlastnosti sú nám známe. Pomocou 3D tlačiarok bola vymodelovaná a následne vytlačená guľa s preddefinovanými rozmermi, ktorá sa umiestnila do testovacej sekcii a bola podrobená meraniam. Výsledky merania boli porovnané so známymi hodnotami aerodynamických vlastností gule s danými rozmermi. V prípade nezrovnalostí bola nutná dodatočná kalibrácia. Samotná rýchlosť prúdenia bola meraná pri maximálnych otáčkach ventilátora pomocou anemometra. Výsledkom posledných krokov je plne funkčný experimentálny podzvukový aerodynamický tunel.

IV. VÝSLEDKY

Na (Obrázok 24) vidíme hotový aerodynamický tunel zostavený podľa návrhových výkresov. Testy po zhotovení do značnej miery preukázali laminárny profil prúdenia vzduchu vo vnútri tunela. Z dôvodu vysokých technických a finančných požiadaviek nebolo možné osadiť model ventilátorom s výkonom viac ako 400 W. To spôsobilo poklesy rýchlosti prúdiaceho vzduchu vo vnútri testovacej sekcie pri maximálnych otáčkach ventilátora na rýchlosť $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Avšak v budúcnosti sa plánuje osadenie výkonnejším typom ventilátora, ktorý by vyrovnal rýchlosť prúdenia vzduchu na pôvodne plánovanú hodnotu.



Obrázok 24: Aerodynamický tunel po konečných úpravách [zdroj: autor]

V. ZÁVERY

Poslaním článku bolo priblížiť návrh, dizajn a konštrukciu stavby aerodynamického tunela pre konkrétne požiadavky a podmienky, konkrétne pre Katedru leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline. Počas návrhu a dizajnu sa autori riadili matematickými metódami pre výpočet rozmerov podzvukových aerodynamických tunelov otvoreného typu. Popri návrhu a dizajne sa článok venuje samotnej stavbe a konštrukcii. Z pohľadu zvoleného technologického postupu ide o jedinečnú samonosnú konštrukciu, ktorá plne pokrýva požiadavky kladene na prevádzku samotného aerodynamického tunela.

Záverom je možné zhodnotiť, že projekt plne splnil očakávané ciele a výsledkom je vytvorený aerodynamický tunel, ktorý spĺňa stanovené kritéria na prevádzku experimentov. Článok popisuje celkový postup a poskytuje čitateľovi komplexný pohľad a podklad pri návrhu a stavbe vlastného aerodynamického tunela pre konkrétne požiadavky.

PRÁCA V BUDÚCNOSTI

V budúcnosti je plánované osadenie usmerňovacej mriežky na vstupe zužujúceho sa kužela a umiestnenie špeciálnej voštinovej mriežky typu honeycomb na vstup testovacej sekcie, pre zaistenie ustálenejšieho prúdenia, a tým pádom zaistenie presnejších výsledkov meraní. V prípade pohonnej jednotky je možné zvýšiť výkon nahradením súčasného motora, motorom s vyšším pracovným výkonom, čo by zvýšilo limit maximálnych otáčok ventilátora a umožnilo testovať komplexnejšie telesá.

Cieľom v budúcnosti je konštrukcia špeciálnej testovacej sekcie pre výskum UAV prostriedkov v neštandardných poveternostných podmienkach. Unikátna testovacia sekcia umožní fixáciu UAV prostriedku pomocou foto-pasce do ustálenej polohy a umožní štúdium a optimalizáciu letov UAV.

Projekt ako taký by umožnil a rozšíril vedecké pole na Katedre leteckej dopravy a primárnym cieľom bude pomocou tunela štúdium aerodynamiky a aerodynamicky budených mechanických kmitov pre oblasť vibrodiagnostiky.

POĎAKOVANIE

Článok vznikol s materiálnou a finančnou podporou Žilinskej univerzity v Žiline spolu s Katedrou leteckej dopravy Žilinskej univerzity.

REFERENCIE

- [1] PANDA, MAHESH & SAMANTA, AMIYA. 2016. Design of Low-Cost Open Circuit Wind Tunnel - A Case Study. Indian Journal of Science and Technology. 9. 10.17485/ijst/2016/v9i30/99195.
- [2] R.D. MEHTA, P. BRADSHAW., Design rules for small low speed wind tunnels, 1979, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000031985>
- [3] J. B. BARLOW, W. H. RAE, JR, A. POPE - Low Speed Wind Tunnel Testing. 1-John Wiley _ Sons Inc. 1999, http://web.pdx.edu/~d4eb/chrome/J._B._Barlow,_W._H._Rae,_Jr.,_A._Pope_Low_Speed_Wind_Tunnel_Testing.pdf
- [4] YADAV, AJAY. Hydraulic Mean Depth, Hydraulic Radius and Hydraulic Diameter. (2019), online: https://www.researchgate.net/publication/336999949_Hydraulic_Mean_Depth_Hydraulic_Radius_and_Hydraulic_Diameter
- [5] TIMULĀK, P., Návrh malého aerodynamického tunela, 2016 [bachelor thesis] online: <http://opac.crzp.sk/?fn=docviewChild00180A6A>
- [6] ŠKULTÉTY, F., BADÁNIK, B., BARTOŠ, M. & KANDERA, B. 2018. Design of Controllable Unmanned Rescue Parachute Wing. Transportation Research Procedia 35, pages 220-229

- [7] BUGAJ, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. - 1. vyd. - Bratislava: DOLIS, 2015. - 208 s., [AH 15,97]. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [8] YANNICK D., MAYER HASAN, KAMLIYA JAWAHAR, MÁTÉ SZÓKE, SYAMIR ALIHAN, SHOWKAT ALI, MAHDIAZARPEYVAND, Design and performance of an aeroacoustic wind tunnel facility at the University of Bristol, Applied Acoustics, Volume 155, 2019, Pages 358-370, ISSN 0003-682X, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.06.005>.
- [9] BUGAJ, M. 2011. Systémy údržby lietadiel. vyd. - V Žiline : Žilinská univerzita, 2011. - 142 s., ilustr. - ISBN 978-80-554-0301-4.
- [10] BUGAJ, M. 2012. Failure analysis-basic step of applying reliability centered maintenance in general aviation. Transport Problems 7(1), pages 77-86.
- [11] BUGAJ, M., NOVÁK, A. 2010. Všeobecné znalosti o lietadle : drak a systémy, elektrický systém. - 1. vyd. - Žilina : Žilinská univerzita, 2004. - 247 s. - ISBN 80-8070-210-1.

Bc. Michal Hruz – narodený v Martine, absolvoval v roku 2015 Gymnázium J. C. Hronského vo Vrútkach, následne v roku 2018 ukončil diplomom bakalárske štúdium na Žilinskej univerzite v Žiline odbor letecká doprava. Počas roka 2019 brigádoval v spoločnosti Austrian Airlines Technik Bratislava ako výpomoc pri údržbe lietadiel. V súčasnosti je na spomenutej univerzite študentom inžinierskeho štúdia v odbore technológia údržby lietadiel.