
Orgány riaditeľnosti a stability letúnov, 2. časť

Sebastián Solčanský, Ing.*

Celý Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: sebastian.solcansky@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2563

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2659

Vadym Ishchuk, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: vadym.ishchuk@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2563

Flight control and stability surfaces, part 2

Abstract: This paper deals with flight control and stability surfaces, which is a comprehensive overview of control and stability surfaces of an aeroplane, especially three main control surfaces elevator, ailerons and rudder. These are analysed from the perspective of functions, locations, divisions and aeromechanics. Part of the paper is dedicated to the definition of aircraft, the division of aircraft and the structure of the aeroplane.

Keywords: control, stability, surfaces, aeroplane, aeromechanics

ÚVOD

Ľudstvo už od pradávna vzhládalo na oblohu a ku hviezdám. Voľnosť a sloboda vtákov, ktoré lietali nad oblakmi ľudí fascinovali a chceli získať schopnosť letu. Začiatok moderného letectva sa datuje do roku 1783, kedy po prvýkrát vzlietol teplovzdušný balón. O 120 rokov neskôr ľudstvo prekonalo ďalší míľnik a v roku 1903 vzlietlo prvé lietadlo ťažšie ako vzduch, ktoré skonštruovali bratia *Wrightovci*. Obrovský rozmach lietadiel ťažších ako vzduch nastal v medzivojnovom a vojnovom období, kedy sa začínajú objavovať čoraz výkonnejšie, rýchlejšie a ovládateľnejšie stroje. Vrcholom vojnového obdobia sa stal prúdový motor a prvé pokusy s raketovými motormi. Obrovský posun vpred nastal v období studenej vojny v čase kozmických pretekov medzi *Spojenými štátmi americkými* a *Sovietskym zväzom*, a to konkrétne 12. apríla 1961, keď sa *Jurij Alexejevič Gagarin* stal prvým človekom vo vesmíre a o osem rokov neskôr 21. júla 1969, keď *Neil*

Armstrong s posádkou *Apolla 11* pristáva na *Mesiaci* a stáva sa tak prvým človekom na inom vesmírnom telese. Bola to túžba človeka po lietaní, ktorú má v sebe už od počiatku, a ktorá mu umožnila aby sa o 63 rokov neskôr od prvého letu dostal až na *Mesiac*.

1 LIETADLO

Lietadlo definujeme ako zariadenie, ktoré je schopné lietať v atmosfére nezávisle od zemského povrchu, prepravovať na palube osoby alebo náklad, dokáže bezpečne vzlietať a pristávať a byť aspoň čiastočne riaditeľné [1].

1.1 Rozdelenie lietadiel

Lietadlá je možné rozdeliť na základe viacerých znakov.

Lietadlá ľahšie ako vzduch prekonávajú zemskú gravitáciu aerostatickým spôsobom, preto sa v tejto skupine lietadiel stretávame s pojmom *aeorstaty*.

Podľa *Archimedovho* zákona sa takto vytvorený vztlak rovná tiaži vzduchu rovnakého objemu ako má lietadlo. Také lietadlo je teda teleso s menšou hmotnosťou ako hmotnosť vzduchu ním vytlačeného.

Lietadlá ťažšie ako vzduch sa vo vzduchu udržiavajú vztlakovými silami, vytváranými v podstate aerodynamickými spôsobom pri obtekaní nosných plôch prúdom vzduchu. Táto skupina lietadiel sa nazýva *aerodiny*.

Bezmotorové lietadlá využívajú na prekonávanie odporu proti pohybu zložku hmotných síl pri kĺzavom lete alebo prebytok rýchlosti a zotrvačnosti pohybu.

Motorové lietadlá majú pohonnú jednotku, vytvárajúcu ťah, ktorý sa využíva na prekonávanie odporu vzduchu proti pohybu lietadla.

1.2 Konštrukcia letúna

Letún (obr. 1) je motorové lietadlo ťažšie ako vzduch, pri ktorom vztlak potrebný na let vyvolávajú aerodynamické sily na nosných plochách nepohyblivých proti lietadlu. Ide o najpoužívanejší druh lietadla, ktorý má veľmi dobrú stabilitu a riaditeľnosť v rýchlostiach, pre ktoré je určený. Letún má pomerne vysokú minimálnu rýchlosť a nie je schopný vznášať sa vo vzduchu.

Letún tvorí *drak*, *pohonná sústava* a *výstroj*.



Obr. 1. Letún

1.2.1 Drak

Drak je hlavná konštrukčná časť letúna a obsahuje:

- nosnú sústavu,
- trup,
- chvostové plochy,
- riadenie,
- pristávacie zariadenie.

Nosná sústava je základnou časťou draku. Je to krídlo, ktoré vytvára vztlak potrebný na udržanie letúna vo vzduchu. Súčasne obsahuje aj zariadenia, ktoré s uvedenou funkciou priamo súvisia, ako kormidlá priečneho riadenia, zariadenia na zníženie veľkosti vzletovej a pristávacej rýchlosti a niekedy aj ďalšie ostatných systémov.

Trup vytvára priestor na umiestnenie posádky, cestujúcich, nákladu a výstroja. Spája ostatné časti

draku do jedného celku, predovšetkým nosnú plochu a chvostové plochy. Obsahuje značnú časť riadiaceho systému letúna, niektoré časti pristávacieho zariadenia, väčšinu výstroja a niekedy aj inštaláciu pohonných jednotiek.

Chvostové plochy sú zariadeniami stability a riaditeľnosti letúna. Zvyčajne sú v nich uložené aj časti systému riadenia.

Riadenie letúna slúži na ovládanie kormidiel priečneho, výškového a smerového kormidla. Patria sem aj všetky ovládacie prvky rôznych systémov letúna, ktoré sú schopné vyvolať zmenu polohy letúna v priestore.

Pristávacie zariadenie umožňuje vzlet, pristátie a rolovanie letúna po zemi alebo vode. Ďalej slúži na tlmenie síl, ktoré vznikajú pri pristávaní a umožňuje mechanické brzdenie letúna na zemi.

1.2.2 Pohonná sústava

Pohonná sústava letúna je súhrn všetkých zariadení slúžiacich na pohon letúna a tvorí ju skupina pohonných jednotiek a ich príslušenstva. Pohonná sústava vytvára ťažnú silu, ktorej pôsobením letún prekonáva odpor vzdušného prostredia a dosahuje potrebné výkony [1].

1.2.3 Výstroj

Výstroj letúna tvorí súbor všetkých prístrojov, ktoré nie sú súčasťou draku a pohonnej sústavy. Časť výstroja má na starosti bezpečnosť, tzn. že sem patria navigačné a letové prístroje, automatické riadenie, klimatizácia, výškové vybavenie a pod.. Ďalej sem patrí aj vybavenie pre cestujúcich, pilota a zariadenia, ktoré sú špecifické pre daný druh letúna.

2 ORGÁNY RIADITEĽNOSTI A STABILITY

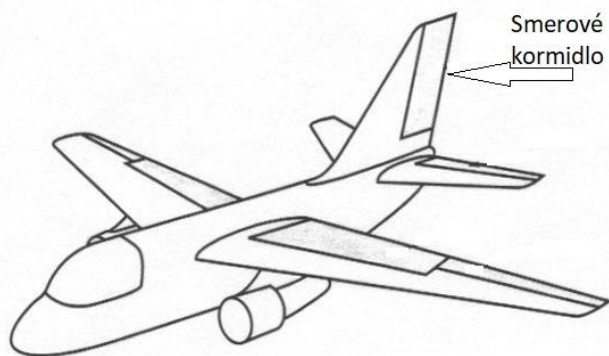
Vzájomná poloha ťažiska a neutrálneho bodu letúna určuje jeho pozdĺžnu a stranovú stabilitu. Stabilita letúna je teda určená vzájomným nastavením krídel, trupu a chvostových plôch.

Zariadenia, ktoré sú schopné meniť polohu neutrálneho bodu letúna zabezpečujú riaditeľnosť. Medzi takéto zariadenia patrí napr. smerové alebo výškové kormidlo, krídelka, vyťahovacie prostriedky atď.

2.1 Smerové kormidlo

Smerové kormidlo je jedna zo základných riadiacich plôch, ktorá je umiestnená zvyčajne na vertikálnej chvostovej ploche. Na obr. 2 je zobrazené smerové kormidlo a jeho umiestnenie. Úlohou smerového kormidla je zabezpečiť kontrolovaný pohyb nosu letúna zo strany na stranu, tzn. umožňuje rotáciu okolo vertikálnej osi. Pohyb, ktorý letún vykonáva pri

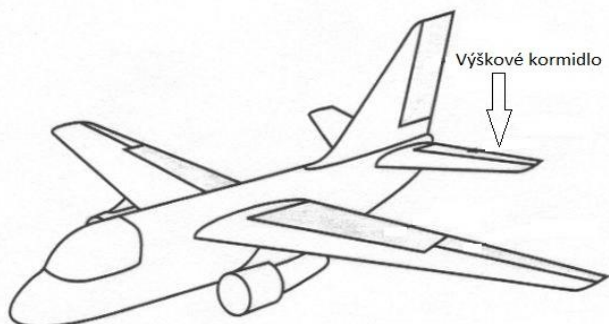
vychýlení smerového kormidla sa nazýva zatáčanie (angl. *yaw*).



Obr. 2. Smerové kormidlo

2.2 Výškové kormidlo

Rovnako ako pri smerovom kormidle ide o jednu z hlavných riadiacich plôch, ktorá sa najčastejšie umiestňuje v zadnej časti letúna na vertikálne stabilizačné plochy (obr. 3), ale môže byť umiestnená aj v prednej časti letúna, napr. pri usporiadaní typu kačica. Výškové kormidlo ovláda pohyb nosu letúna okolo priečnej osy, tento pohyb sa nazýva klopenie (angl. *pitch*). Väčšina letúnov má dve výškové kormidlá, pričom každé je umiestnené na jednej časti vertikálnych chvostových plôch. Výškové kormidlo mení uhol nábehu krídiel do lokálneho smeru letu, čím zaisťujú stúpanie alebo klesanie letúna [2].

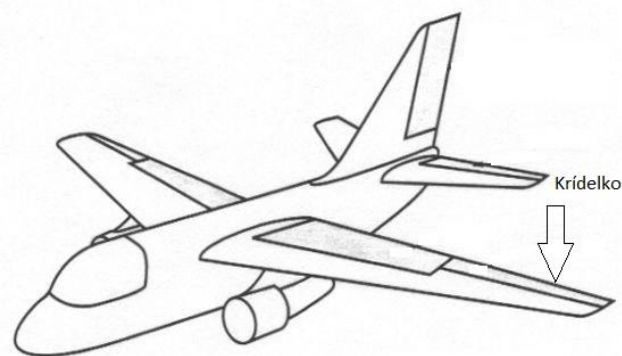


Obr. 3. Výškové kormidlo

2.3 Krídelká

Kormidlá priečného riadenia musia zabezpečiť zmenu uhla priečného sklonu letúna a taktiež jeho vyrovnanie po nežiadúcom naklonení. Na tento účel sa používajú *krídelká*. Ide o poslednú hlavnú riadiacu plochu z trojice smerové kormidlo, výškové kormidlo a krídelká. Krídelká sa nachádzajú na odtokovej hrane pri koncoch krídel, ako vidno na (obr. 4). Krídelká pracujú protichodne, tzn. ak je jedno vychýlené dohora druhé je vychýlené nadol a opačne. Hlavnou úlohou krídeliek je teda zabezpečiť klopenie krídla hore alebo dole, tento pohyb sa nazýva klonenie (angl. *roll*). Nevýhodou krídeliek je, že spôsobujú

nepriaznivý krútiaci moment, čo sa dá eliminovať vhodnou konštrukciou krídeliek.



Obr. 4. Krídelka

Podľa konštrukcie delíme krídelka na:

- jednoduché,
- na špičke krídla,
- *Friseho*,
- diferencované.

2.3.1 Jednoduché krídelka

Jednoduché krídelká sa využívali v minulosti najmä v období začiatkov letectva a v medzivojnovom období. Tieto krídelká nefungujú na princípe protichodnosti ale vždy sa vysúva len jedno krídelko a druhé zostáva v krídle, čo znižuje ovládateľnosť letúna [3].

2.3.2 Krídelka na špičke krídla

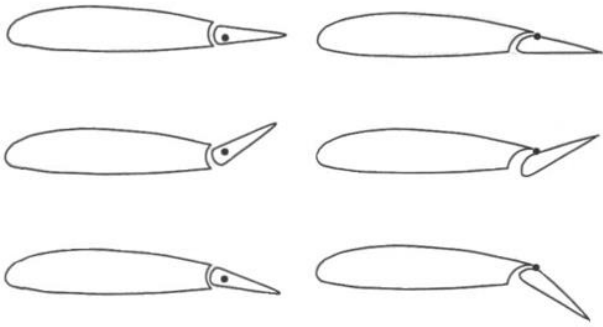
Krídelka na špičke krídla sú ako už z názvu vyplýva umiestnené na špičke krídla. Ide o predchodcu moderných typov krídeliek, ktoré už pracovali v protichodnom režime. Využívali najmä na prototypoch a na sériových strojoch sa nahrádzali konvenčnými typmi.

2.3.3 Friseho krídelka

Friseho krídelká (obr. 5 vpravo) majú špeciálne tvarovanú prednú časť a zavesenie a to takým spôsobom, že pri vychýlení smerom nadol ostáva predná časť schovaná za krídlom no pri vychýlení smerom nahor táto predná časť vystupuje z profilu krídla, čo má za následok zvýšenie aerodynamického odporu, ktorý pomáha vyrovnávať nepriaznivý odpor vzniknutý na druhom krídle.

2.3.4 Diferencované krídelka

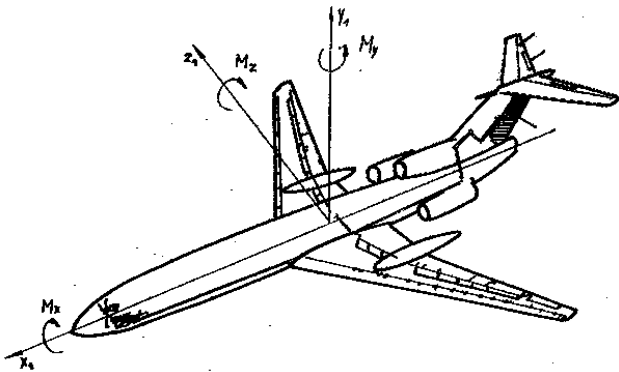
Diferencované krídelká (obr. 5 vľavo) sú také, ktoré majú odlišnú výchylku smerom nahor a nadol, pričom väčšia výchylka je nahor. Výsledkom je väčšie rozrušenie prúdu vzduchu a potlačenie nežiaducich účinkov krídeliek.



Obr. 5. Diferencované krídelká (vľavo), Friseho krídelká (vpravo)

3 ORGÁNY RIADITEĽNOSTI Z HĽADISKA AEROMECHANIKY

Na opis orgánov riaditeľnosti z hľadiska aeromechaniky je potrebné definovať súradný systém, ktorý je pevne spojený s lietadlom (obr. 6).



Obr. 6. Súradnicový systém letúna

Začiatok tohto systému bude v ťažisku letúna. Je potrebné sledovať zmenu tohto súradného systému ku súradnému systému, ktorý je pevne spojený so zemou. Vzájomná poloha týchto sústav je daná uhlami ψ , γ , ϑ , kde:

- ϑ je uhol klopenia,
- γ je uhol klonenia,
- ψ je uhol zatačania.

3.1 Aeromechanika výškového kormidla

Výškové kormidlo pracuje na princípe zmeny efektívneho profilu krídla na horizontálnom stabilizátore. Zmenou uhla vychýlenia na zadnej strane profilu krídla sa mení vytváraný vztlak. Pri vychýlení smerom nadol dochádza k zvýšeniu vztlaku a naopak pri vychýlení smerom nahor dochádza k zníženiu vztlaku, ktorý môže byť až negatívny. Zmena vztlakovej sily vytvára vzhľadom na ťažisko letúna klopivý moment zobrazený na (obr. 7) [4].

Riadiaci moment sa vypočíta podľa vzťahu (1):

$$\Delta M_{zv} = Y_i^\alpha \cdot \eta_{vk} \cdot \delta_{vk} \cdot x_{vk}, \quad (1)$$

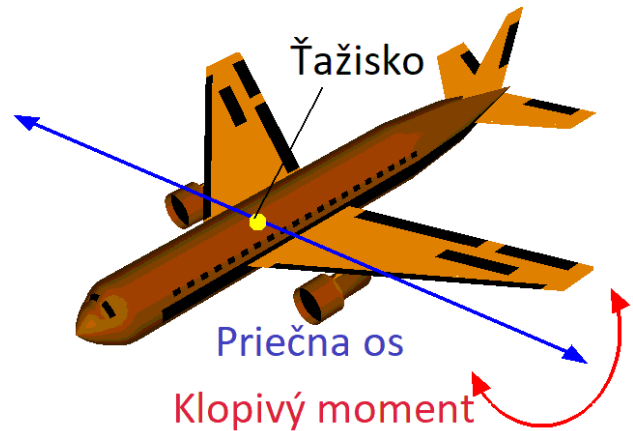
kde Y je aerodynamická sila vztlaku,

α je uhol nábehu danej časti letúna,

η_{vk} je koeficient účinnosti výškového kormidla,

δ_{vk} je uhol vychýlenia výškového kormidla,

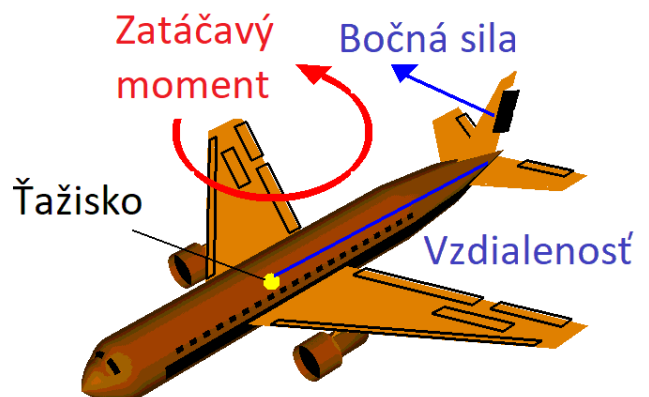
x_{vk} je súradnica pôsobenia výslednej riadiacej sily výškového kormidla.



Obr. 7. Moment od výškového kormidla

3.2 Aeromechanika smerového kormidla

Pohyb kormidla, tzn. jeho vychýlenie z horizontálnej chvostovej plochy spôsobuje zmenu sily generovanej na chvoste letúna, ktorá sa využíva na vytvorenie a riadenie otáčavého pohybu. Smerové kormidlo mení efektívny profil krídla na vertikálnom stabilizátore. Zmena uhlu nábehu potom spôsobuje zväčšenie vztlaku na opačnej strane. Táto sila pôsobí na tlakové centrum horizontálneho stabilizátora, ktorý je určitú vzdialenosť od ťažiska letúna, čo má za následok vznik zatačavého momentu (obr. 8) [4].



Obr. 8. Moment od smerového kormidla

Bočná sila teda vytvára momenty k osiam x_1 a y_1 , ktoré sú dané vzťahmi (2) a (3):

$$\Delta M_{xsk} = \Delta Z_{sk} \cdot Y_{vchp} = C_{zvchp}^\delta \cdot q_{vchp} \cdot S_{vchp} \cdot y_{vchp} \cdot \delta_{sk}, \quad (2)$$

$$\Delta M_{ysk} = \Delta Z_{sk} \cdot L_{vchp} = C_{zvchp}^\delta \cdot q_{vchp} \cdot S_{vchp} \cdot \delta_{sk}, \quad (3)$$

kde ΔZ_{sk} je zmena bočnej sily od smerového kormidla,

Y_{vchp} je aerodynamická sila od vertikálnej chvostovej plochy,

C_{vchp}^{δ} je koeficient bočnej sily derivovaný podľa vychýlenia smerového kormidla,

q_{vchp} je dynamický tlak vertikálnych chvostových plôch,

S_{vchp} je plocha vertikálnej chvostovej plochy,

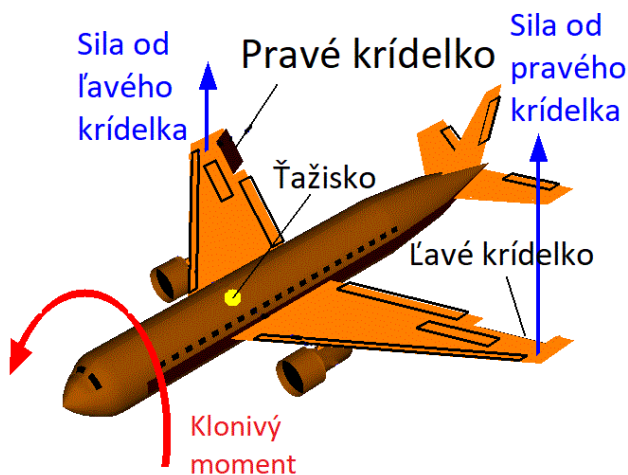
y_{vchp} je vzdialenosť ťažiska od tlakového centra vertikálnej chvostovej plochy,

δ_{sk} je uhol vychýlenia smerových kormidiel,

L_{vchp} je vzdialenosť tlakového centra vertikálnej chvostovej plochy od ťažiska.

3.3 Aeromechanika smerového kormidla

Krídľá fungujú na princípe zmeny efektívneho profilu vonkajšej časti krídla. Zmena uhlu nábehu na zadnej strane krídla mení množstvo generovaného vztlaku týmto krídlom. Čím viac je krídelko vychýlené smerom nadol tým väčšia kladná vztlaková sila sa generuje. Z dôvodu protichodnej funkcie bude krídelko na druhom krídle vychýlené smerom nahor, čo má za následok zmenšenie vztlakovej sily na danom krídle. Vzhľadom na rozdielne vztlaky generované jednotlivými krídlami dochádza vplyvom tejto silovej dvojice k vytvoreniu klonivého momentu (Obr. 9.), čo má za následok rotáciu letúna. Zároveň v dôsledku zmeny tangenciálnej zložky celkovej aerodynamickej sily vzniká zatáčavý moment na tej strane krídla, ktorého krídelko je vychýlené smerom nadol.



Obr. 9. Moment od krídeliek

Ak C_Y^{δ} je konštanty v celom rozpätí krídel, potom prírastok normálovej zložky vztlakovej sily od výchylky krídeliek je definovaný podľa vzťahu (4):

$$\Delta Y_k = C_Y^{\delta} \cdot \eta_k \cdot S_k \cdot \delta_k, \quad (4)$$

kde C_Y^{δ} je koeficient vztlakovej sily derivovaný podľa výchylky,

η_k je účinnosť krídeliek,

S_k je plocha krídeliek,

δ_k je výchylka krídeliek.

ZÁVER

Článok zhrňa základnú definíciu lietadla a delenie lietadiel na základe prekonávania gravitačnej sily. Je definovaná základná konštrukcia letúna a sú popísané jednotlivé časti. Ďalej sú v článku popísané tri základné riadiace plochy ich umiestnenie, funkcia a základný princíp ich činnosti z hľadiska aeromechaniky.

Pod'akovanie

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

Tento výskum podporila Kultúrna a vzdelávacia grantová agentúra MŠ SR v projekte č. KEGA 031ŽU-4/2023: „Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.“

LITERATÚRA

- [1] BEŇO, L. (1988): *Lietadlá*. Bratislava: Alfa.
- [2] JUNAID, A. (2012): *Steering an Aircraft: Use Elevators for Longitudinal Control in Planes*.
- [3] RATHBUN, B. J. (1929): *Aeroplane construction, operation and maintenance*. Chicago: Periscope Flim LLC. ISBN: 978-1-935327-12-7.
- [4] SLYŠKO, A. (1973): *Aeromechanika II: letové vlastnosti lietadiel*. Bratislava: Alfa.