



## AIRCRAFT AIRFOILS

**Kristína Haluzová**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina

**Martin Bugaj**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina

**Michal Hruz**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina

### Abstract

*This work deals with the airfoils of aircraft. First of all, it focuses on the general properties of wings. Furthermore, the work deals with the issue of various types of wing shape and compares individual shapes of airfoils, their properties and gradual development. Next, current wings of commercial aircraft are described, dealing with the materials used, types of winglets, mechanization of the wing and also different uses of the airfoils. The work also describes and compares wings of two famous commercial airliners – Boeing 737-800 and Airbus A320-200. In the end, the work also focuses on various concepts of the wings of the future, and how sustainability affects future development.*

### Keywords

*airfoils, wings, wing shape, wing mechanization*

### 1. Úvod

Od počiatku lietania až po súčasnosť tvoria krídla základ a neodmysliteľnú súčasť letúnov. Nosné plochy sú zdrojom potrebného vztľaku pre vzlet. Prostredníctvom riadiacich plôch umiestnených na krídlach, vieme ovplyvňovať vztlak a odpor pôsobiaci na krídlo, a tým riadiť let. Nosné plochy prešli desaťročiami obrovským vývojom. Prešlo sa od dvojplošníkovo na jednoplošníky. Od dreva potiahnutého látkou krídel bratov Wrightovcov sa prešlo k hliníkovým konštrukciám a k dnešným kompozitným materiálom. Asi najviac viditeľným vývojom si prešiel samotný tvar nosných plôch. Existuje niekoľko druhov, každý prinášajúci iné výhody, pre daný typ letúna. Dnešné komerčné dopravné lietadlá používajú ustálený tvar šípového krídla.

Vývoj nosných plôch je ale nekončiaci sa proces. Vývoj nových a dokonalejších krídel neustále pokračuje i naďalej. V dnešnej dobe sa pozornosť v leteectve zameriava hlavne na problematiku ochrany životného prostredia a s tým spojenou úsporou paliva. Dôraz sa preto kladie hlavne na to, aby sa počas letu vytváral čo najmenší odpor. Tomu sa prispôsobuje vývoj lietadiel i samotných krídel.

### 2. Všeobecné vlastnosti krídel

Jednou z najdôležitejších vecí, ktoré letún potrebuje na to aby vôbec mohol vzlietnuť je vztlak. Na vytvorenie vztľaku slúžia práve krídla – nosné plochy letúna. Preto je dôležité, aby nosné plochy mali čo najpriaznivejšie vlastnosti pri ich obtekaní vzduchom počas letu v rôznych podmienkach. Existuje mnoho profilov a tvarov nosných plôch.

Profil krídla by sa mohol definovať ako krivka, ktorá vznikne pomocou rezu krídla rovinou, ktorá je kolmá na os krídla. Profil má rozhodujúcu úlohu nielen pri zabezpečovaní optimálneho obtekania nosných plôch vzduchom, ale aj pri dosahovaní

minimálneho odporu. Preto profil krídla prešiel rokmi veľkým vývojom a ďalším zdokonaľovaním. [1]

### 3. Pôdorné typy krídel a ich vývoj

Poznáme viacero typov tvaru krídel. Vznikali postupne, neustálym zdokonaľovaním aerodynamických vlastností nosných plôch

#### 3.1.1. Začiatky

Bratia Wrightovci navrhovali krídla pre svoje letúne na základe údajov z veterného tunela, ktorý si sami zostrojili. Z testov v tomto tuneli zistili dôležitosť vplyvu pomeru strán nosných plôch na pôsobenie síl vztľaku a odporu. Pomer strán je pomerom dĺžky krídla k jeho šírke. Ich krídla na letúnoch z rokov 1900 a 1901 mali nízky pomer strán, okolo 3,4. Avšak z údajov z aerodynamického tunela neskôr zistili, že krídla s vysokým pomerom strán vytvárajú vyšší vztlak a nižší odpor. Ich Wright Flyer mal pomer strán o hodnote 6,4. Zaujímavé je, že mnohé súčasné lietadlá dosahujú podobných hodnôt. Taktiež používali tenké profily krídel kvôli nižšiemu odporu. [2]

#### 3.1.2. Prvá svetová vojna

Koncepciu s tenkým profilom nasledovala i väčšina lietadiel prvej svetovej vojny. Neskôr sa ale zistilo, že výsledky z veterného tunela boli zavádzajúce, nakoľko modely tunelov boli malé a rýchlosť prúdenia v týchto tuneloch bola nízka. Pri skutočných podmienkach letu nastalo oddelenie prúdu na hornej strane tenkého profilu, čo malo za následok nižší vztlak a vyšší odpor. Na druhej strane hrubšie profily aj pri vyšších uhloch nábehu tieto problémy nemali. Z tohto dôvodu sa ku koncu prvej svetovej vojny použili hrubšie profily krídel, napríklad na lietadlách Fokker Triplane a Fokker D-7. Samotné krídla boli obdĺžnikového typu. Tento typ nosných plôch sa vyznačuje počiatočným odtrhnutím prúdu v strede vrchnej strany nosnej

plochy. Konce krídel a teda i krídelká nie sú zasiahnuté týmto odtrhnutím. [1][2]

### 3.1.3. Medzivojnové obdobie

Po prvej svetovej vojne nadišlo k rozvoju využitia letúnov i ku komerčným účelom. V tridsiatych rokoch minulého storočia vykazovali efektívne konštrukcie krídel veľké pomery strán a hrubé profily. Príkladom je Douglas DC-3 z roku 1936. Jeho krídlo malo vysoký pomer strán o hodnote 9,14, a vyznačovalo sa hrubým profilom. Hrubšie krídlo umožňovalo efektívne využitie ako úložný priestor pre palivové nádrže, rovnako i pre zaťahovací podvozok. Hrubý profil taktiež dovoľoval použitie väčšieho a silnejšieho nosníka pozdĺž vnútornej stany krídla. Vďaka tomuto už nosné plochy nepotrebovali vonkajšie podporné drôty a vzpery. Táto konštrukcia pomohla rozvoju modernej jednoplošnej konfigurácie namiesto staršej dvojplošnej. [2][3]

### 3.1.4. Druhá svetová vojna

Pôdorysné tvary krídel z rokov 1930 až 1945 vykazujú veľkú rozmanitosť, od rovných nábežných hrán a šikmých odtokových hrán (de Havilland Mosquito) až po opačný prípad (Douglas DC-3, North American T-6). Žiadne z lietadiel tej doby nebolo dostatočne rýchle na to, aby využívalo plne zahnuté krídla, ako ich poznáme dnes. Krídla, ktoré boli určené pre rýchle a vysoko namáhané letúne, ako napríklad stíhacie lietadlá, boli tenšie a ich pomer strán bol okolo 5 alebo 6. Naopak tie, ktoré slúžili k preprave nákladu, bombardéry, dopravné lietadlá, používali vyšší pomer strán. Niekedy aj viac ako 10. Ich profil bol taktiež hrubší. Hoci mnohé krídla dvojplošníkov mali jednoduchý obdĺžnikový tvar, krídla jednoplošníkov boli z konštrukčného dôvodu takmer vždy zúžené. Ku koncu druhej svetovej vojny boli veľké zúženia nosných plôch na ústupe. Prešlo sa na štandardné hodnoty, pri ktorých koncové tetivy tvoria tretinu alebo polovicu koreňových tetív.

V období druhej svetovej vojny sa pozornosť venovala i eliptickému tvaru krídla. Krídlo tohto typu má výhodu hlavne v tom, že znižuje hodnotu indukovaného odporu. Kvôli rovnomernému rozloženiu vztaku má ale i najhoršie pádové vlastnosti. [1][4][5]

### 3.1.5. 50. roky – príchod prúdových lietadiel

S príchodom prúdových lietadiel v 50. rokoch minulého storočia, ktorých rýchlosti presahovali rýchlosť zvuku, tvary krídel a ich profilov podstúpili ďalšie zmeny. Tenšie nosné plochy umožnili podzvukovým lietadlám priblížiť sa k rýchlosti zvuku predtým, než sa na povrchu krídla vytvorili nepriaznivé rázové vlny, ktoré znížili vztlak a zvýšili odpor.

Väčšina vysokorýchlostných podzvukových a nadzvukových lietadiel má skôr šípové krídla než priame. To kvôli zníženiu sily rázových vln a odporu, ktorý spôsobujú. Pri tomto type nosných plôch sú špičky krídel odklonené od priečnej osi lietadla o viac ako 15 stupňov.

Šípové krídla s uhlom šípu viac ako 20 stupňov majú veľmi priaznivé aerodynamické charakteristiky v oblasti zvukových a mierne nadzvukových rýchlostí letu ( $M = 0,75 - 2,0$ ).

Šípové krídla delíme na krídla s kladným a záporným šípom. Krídlo s kladným šípom má horšie rozloženie vztaku na povrchu krídla, pričom vztakové sily sa delia na dve zložky – vztak pred ťažiskom a za ním. Pri správnom vyvážení sú obe tieto zložky v rovnováhe a letún letí stabilne

Na druhej strane krídlo so záporným šípom má oveľa lepšie rozloženie vztaku. Jeho najväčšou nevýhodou je ale to, že je oveľa náchylnejšie na aeroelastické javy. Takéto javy sú napríklad silné vibrácie a ohyb [2][6]

### 3.1.6. Delta krídlo

Trojuholnikové krídla sú tiež v podstate šípové krídla s kladným šípom. Používanie tohto krídla sa začalo na prelome 50. a 60. rokov minulého storočia. Ich konštrukcia sa vyznačuje malou štihlosťou i veľkou tuhosťou a pevnosťou. Veľká plocha krídla umožňuje lepšiu ovládateľnosť a znižuje zaťaženie krídla. Taktiež sú tieto krídla jednoduché na výrobu a údržbu. [6]

## 4. Súčasná krídla dopravných lietadiel

Výrobné procesy a použité materiály prešli značným vývojom. Nové technológie umožňujú dosiahnuť čo najväčšiu možnú efektívnosť, čo je prioritou dnešných leteckých spoločností. Dizajn a výroba dnešných krídel sa zameriava hlavne na zlepšenie aerodynamických vlastností nosných plôch, ako i na zníženie hmotnosti použitých komponentov. Zníženie hmotnosti je dôležité hlavne z hľadiska úspory paliva.

Vďaka zavedeniu pokročilých kompozitných materiálov sa umožnilo zníženie hmotnosti krídel lietadiel v porovnaní s prevažne hliníkovými konštrukciami, ktoré v priemysle prevládali od 60. rokov minulého storočia.

Ďalším významným pokrokom je využitie 3D tlače. Táto technológia sa využíva na pokročilé analytické výpočty, ktoré sú schopné vyhodnotiť efektívnosť prototypov z hľadiska úspory hmotnosti. Vďaka tomu je možné testovať a zdokonaľovať nové dizajny s minimálnymi nákladmi. [7]

### 4.1. Priestor pre umiestnenie paliva

Nosné plochy dopravných lietadiel ponúkajú efektívne priestory pre uskladnenie paliva. Umiestnenie hlavných palivových nádrží do krídel sa realizuje jednak kvôli hospodárnosti, ale i celkovej stabilite lietadla počas vzletu. Dnešné dvojmotorové lietadlá sú schopné prepraviť viac ako 140 000 litrov paliva. Ak by bola celá táto dodatočná hmotnosť uložená v trupe, znížil by sa tým dostupný nákladný priestor a zvýšilo by sa namáhanie konštrukcie lietadla. [8]

### 4.2. Mechanizácia krídla

K súčasným požiadavkám na nosné plochy dopravných lietadiel patrí bezpochyby aj ich kompletná mechanizácia. Schopnosť ovplyvniť veľkosť súčiniteľa vztaku či odporu je kľúčová z hľadiska zmeny aerodynamických síl pôsobiacich na krídlo počas letu. Zvýšenie prípadne zníženie týchto dvoch súčiniteľov je dôležité hlavne pri fázach pristátia a vzletu.

#### 4.2.1. Prostriedky pre zvýšenie súčiniteľa vztľaku

Využívajú sa nielen pri vzlete ale aj vo fáze pristátia. Základným princípom vztľakových klapiek je to, že napomáhajú buď zväčšiť alebo zmenšiť povrchovú plochu krídla lietadla.

Klapky na odtokovej hrane krídla sú pohyblivé plochy, ktoré dokážu podľa potreby meniť zakrivenie alebo samotnú plochu krídla. Ich hlavným účelom je vytvárať väčší vztľak pri nízkych rýchlostiach, a tým umožňovať lietadlu používať minimálne rýchlosti pri štarte a pristáť

Najjednoduchším typom je odklápacia klapka. Nachádza sa na spodnej odtokovej časti krídla. Sklápa sa smerom nadol od prednej hrany klapky, zatiaľ čo horný povrch zostáva nepohyblivý.

Ďalším typom klapky nachádzajúcej sa na odtokovej hrane krídla je štrbinová klapka. Vysunutím tejto klapky vzniká, na rozdiel od predchádzajúceho typu, štrbina medzi klapkou a krídlom. Táto štrbina dovoľuje vzduchu prúdiť k hornej strane klapky, kde stabilizuje prúdenie a zabraňuje jeho odtrhnutiu. Princíp vytvorenia štrbiny využíva i Fowlerova klapka. Jedná sa o najefektívnejšiu klapku, ktorá sa používa na odtokovej hrane.

Na nábežnej hrane taktiež nájdeme zariadenia slúžiace k zvýšeniu vztľaku. Prvým takýmto zariadením je Kreugerova klapka. Túto klapku nájdeme na spodnej strane nábežnej hrany v oblasti koreňovej časti krídla. Keď sa táto klapka vysunie, zväčší sa prehnutie prednej časti profilu. V dôsledku toho sa odtrhnutie prúdu dostáva do väčších uhlov nábehu. Rovnako ako klapky na odtokovej hrane, i klapky na nábežnej hrane napomáhajú skracať potrebnú dĺžku pre pristátie.

Ďalšími zariadeniami pre zvýšenie vztľaku, ktoré môžeme nájsť v prednej časti krídla sú sloty. Po vysunutí slotu vznikne medzera medzi nábežnou hranou a slotom. Princíp je podobný ako u štrbinovej klapky.

#### 4.2.2. Prostriedky pre zvýšenie súčiniteľa odporu

Poznáme dve hlavné zariadenia slúžiace k zvýšeniu odporu – spojery a aerodynamické brzdy. Spojery sú plochy nachádzajúce sa na vrchnej časti krídla. Zvyšujú odpor a znižujú vztľak. Častokrát sa spojery používajú súčasne s krídelkami pri klonení. Na strane krídla kde sa krídelko vysunie hore, sa spolu s ním vysunie i spojler. Na druhej strane ostane spojler zasunutý. V dôsledku toho sa lietadlo nakloní a zatočí na stranu s vysunutým spojlerom. V niektorých prípadoch sa spojery vysúvajú súčasne na oboch stranách. V tomto prípade spĺňajú úlohu brzd a znižujú rýchlosť letu. Vysunutie spojlerov na zemi zvyšuje efektívnosť brzdzenia.

K zvýšeniu odporu lietadla sa používajú i aerodynamické brzdy. Aerodynamické brzdy sú umiestnené buď na krídle alebo na trupe lietadla. V prvom prípade zároveň rušia i vztľak.

#### 4.2.3. Odpor vznikajúci na koncoch krídel a použitie Wingletov

Winglety napomáhajú znižovať účinky víru vzduchu, ktorý vzniká za krídlom pri prechode vzduchom vysokou rýchlosťou.

Winglet smerujúci smerom nadol sa označuje aj ako nepravý winglet. Pri tejto konštrukcii sa predpokladá menšie ovplyvnenie tlakovým zaťažením. Väčšinou sú konštruované z kompozitných materiálov. Opačným prípadom je pravý winglet, označovaný aj

ako classic winglet. Jeho použitie znižuje hodnotu indukovaného odporu o 20 %.

Ďalej rozdelujeme winglety je podľa toho, aký je prechod medzi wingletom a krídlom. Prvým typom je ostrý prechod, označovaný aj ako Wingtip Fence. Tento typ využívajú hlavne lietadlá typu Airbus. Koncové plochy v tomto prípade smerujú nahor i nadol. Druhý prípad je Blended Winglet. Toto riešenie plynulého prechodu ponúka najmenšie hodnoty interferenčného odporu. [1]

### 5. Porovnanie nosných plôch dopravných lietadiel typu BOEING 737 a AIRBUS A320

Medzi najrozšírenejšie dopravné lietadlá patria bezpochyby letúne typu Boeing 737 a Airbus A320. Tieto úzkotrupé prúdové lietadlá tvoria základ množstva flotíl po celom svete.

Ich krídla sú si tvarom veľmi podobné. Zdieľajú rovnaký základný dizajn podobne ako väčšina dnešných komerčných lietadiel. Súvisí to s tým, že nosné plochy prešli v posledných desaťročiach dôkladným vývojom, aby sa dosiahol čo najoptimálnejší dizajn. Pôdorysný tvar väčšiny dopravných lietadiel je šípové krídlo s kladným šípom. To kvôli tomu, že tento tvar je z hľadiska odporu vhodný pre letúne dosahujúce vyšších rýchlostí a je dobre odolný voči aeroelastickým javom. Takže krídlo je počas letu odolné voči ohybom a iným zaťaženiam. Na druhej strane sa nosné plochy líšia plochou ich povrchu, rozpätím a sklonom. Boeing 737 má väčšiu plochu krídla než Airbus A320. Je to z toho dôvodu, že Boeing má o niečo vyššiu hmotnosť, a tak vyžaduje väčšiu plochu krídla pre vytvorenie potrebného vztľaku. Väčšia plocha si vyžaduje i väčšie rozpätie. Príslušné údaje znázorňuje tabuľka:

Tabuľka 1 – Porovnanie údajov.

	Boeing 737-800	Airbus A320-200
Rozpätie	35,8 m	34,1 m
MTOW	79 002 kg	78 000 kg
Plocha krídla	124,58 m <sup>2</sup>	122,6 m <sup>2</sup>
Uhol šípu krídla	25,02 °	25 °
Dihedrálny uhol	5,11 °	6 °

Ďalšia charakteristika, ktorú krídla týchto dopravných lietadiel zdieľajú, je ich umiestnenie. Nachádzajúca sa na spodnej časti trupu lietadla. Tento spôsob uloženia krídel prináša mnoho praktických výhod pre dopravné lietadlá. Pri prípadnom pristáťi bez podvozku absorbujú značnú časť vzniknutej sily. Ďalšou núdzovou situáciou môže byť pristátie na vode. V tomto prípade krídla napomáhajú udržať lietadlo s pasažiermi nad vodnou hladinou. Vďaka tomu, že sú krídla na spodnej časti trupu, môžu taktiež slúžiť ako jedna z možností pre núdzové opustenie lietadla. Ďalšia výhoda tohto umiestnenia krídel je, že motory nachádzajúce sa na ich spodnej strane sú bližšie k zemi. Ich údržba je o to jednoduchšia. Nosné plochy oboch lietadiel sú taktiež dihedrálne, pre dosiahnutie väčšej stability.

Boeing 737 a Airbus A320 používajú dve rôzne zakončenia krídel. Boeing na modeli 737-800 využíva svoj vlastný typ zakončenia krídla nazývaný Blended winglet.

Tento typ wingletov z uhlíkových vlákien pomáha na 737 znížovať emisie CO<sub>2</sub> o 4 %. Rovnako pomáhajú znížovať spotrebu paliva. Toto bolo obzvlášť podstatné, nakoľko boli na Boeing nasadené práve v čase stúpajúcej ceny ropy.

Práve rastúce ceny paliva a potreba konkurencieschopnosti, podnietili Airbus k vývoju efektívnejšieho letúna typu A320. Spoločnosť vyvinula zakončenia nosných plôch špeciálne pre rad A320. Tieto zakončenia sa nazývajú tzn. Sharklety. Majú špicatý koniec, ktorý na hornej strane smeruje dozadu. Sharklety poskytujú úsporu paliva o približne 3,5 %. [9][10]

### 5.1. Palivové systémy

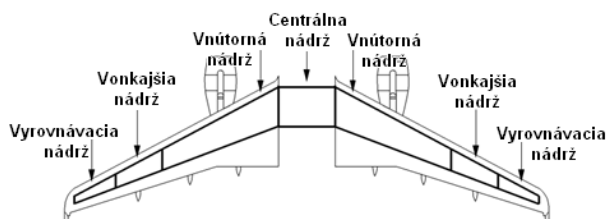
Boeing 737-800 má v krídlach niekoľko nádrží. Centrálna palivová nádrž má kapacitu 13 000 kg (16 560 l), čo predstavuje značné zväčšenie oproti predošlým typom s kapacitou 7 000 kg (8 917 l). Centrálna nádrž sa nenachádza len v oblasti trupu, ale zasahuje i do koreňových častí nosných plôch.



Obrázok 1 – Palivové nádrže.

Obe krajné vyrovnávacie palivové nádrže majú kapacitu 108 kg (229 l). Slúžia k zberu paliva, ktoré pretečie z hlavných nádrží. Pri vodorovnom lete, pretečie palivo naspäť do hlavných palivových nádrží. V prípade, že sa v nádrži nahromadí príliš veľké množstvo paliva, časť z neho sa vypustí von cez ventily umiestnené pri koncoch krídel. Po celej dĺžke krídla sa nachádzajú oválne panely, ktoré umožňujú prístup k všetkým palivovým nádržiam. Hlavné palivové nádrže majú kapacitu okolo 3 900 kg (4 968 l). Celková kapacita je teda 26 496 l. [11]

Systém palivových nádrží umiestnených v krídle je u A320 podobný ako u lietadla Boeing 737. Centrálna nádrž v tomto prípade ale nezasahuje do koreňových častí krídla. Vyrovnávacie palivové nádrže sa rovnako nachádzajú na okrajoch krídel. Spĺňajú podobnú funkciu ako tie, ktoré boli spomínané pri 737.



Obrázok 2 – Palivové nádrže.

Každá z vonkajších palivových nádrží má kapacitu 691 kg (880 l). Obe vnútorné palivové nádrže majú kapacitu 5435 kg (6924 l). Centrálna palivová nádrž disponuje kapacitou 6476 kg (8250 l). Celková kapacita spolu s centrálnou nádržou je 23 858 l.

Na oboch stranách krídla sa nachádzajú dva ventily, umožňujúce prechodu paliva z vonkajšej do vnútornej nádrže. [12]

### 5.2. Použité materiály, mechanizácia krídel a systémy

#### 5.2.1. Boeing 737-800

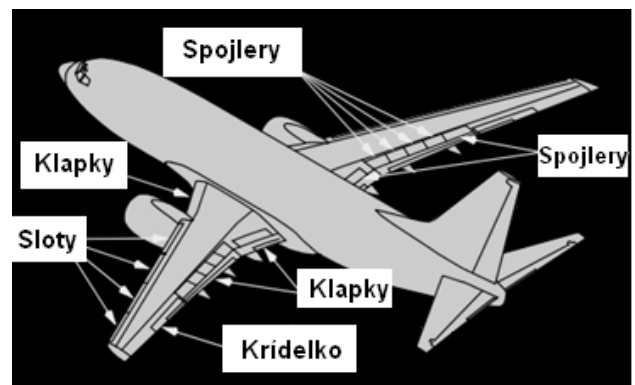
Na každej nábežnej hrane sa nachádzajú 2 Kreugerove klapky. Majú dve pozície, sú zasunuté alebo vysunuté. Klapky na nábežnej hrane nemajú systém prevencie proti námraze. Každá z týchto klapiek je ovládaná prostredníctvom hydraulického systému. Keď je klapka zatiahnutá, je uložená v dutine nábežnej hrany. Medzeru medzi klapkami a motorom vypĺňajú tesniace dvere. Otvoria sa v prípade reverzácie ťahu, aby umožnili obracaču ťahu pohyb smerom dozadu.

Na nábežnej hrane sa nachádzajú i 4 sloty. Majú 3 pozície – zatiahnuté, vysunuté pri vzlete a plne vysunuté pri pristávaní. Keď sú klapky v pozícii pre vzlet, vysunutie slotov napomáha znížovať odpor. Pri 737-800 musia byť funkčné aspoň dva páry indikátorov slotov. Sloty sú taktiež poháňané hydraulikou.

Klapky na odtokovej hrane sú 2 a sú to Fowlerove klapky. Ovládanie je hydraulické. B737-800 má oproti predošlým modelom zjednodušený dizajn na odtokovej hrane v tom, že medzi vnútornou a vonkajšou klapkou je vynechaný priestor. Vďaka tomu nič nezasahuje do prúdu výfukových plynov od motora. Medzi klapkami a trupom lietadla sa nachádzajú gumové tesnenia.

Boeing 737-800 využíva systém FSEU – flap/slats electronics unit. Monitoruje činnosť klapiek na odtokovej hrane a rovnako aj zariadení na nábežnej hrane. Indikuje napríklad polohu, pohyb a asymetriu klapiek.

Na každom krídle sa nachádza šesť spojlerov. Z nich dva, nachádzajúce sa na okrajoch, slúžia výlučne pre použitie na zemi. Spojlery sa používajú asymetricky alebo symetricky spolu s krídelkami, ktoré sa na lietadle nachádzajú dve. Krídelká spolu so spojlermi rovnako ovláda hydraulický systém. Pri znížení rýchlosti sa spojlery vysúvajú postupne, od vnútorného po vonkajší, kvôli zníženiu ohybového momentu pôsobiaceho na krídlo.



Obrázok 3 – Mechanizácia krídla Boeing 737-800.

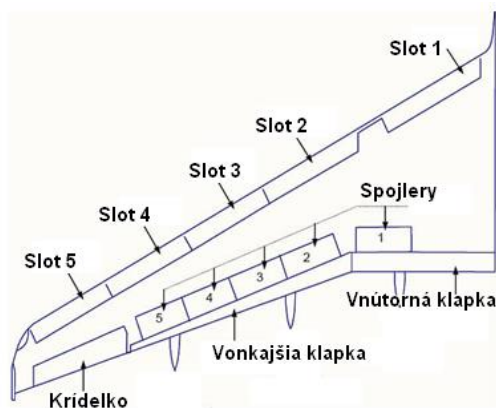
Samotné nosné plochy sú vyrobené zo zliatin hliníka:

Rebrá krídel - zliatina hliníka a zinku, pre odolnosť voči korózii a prasklinám.

Vrchný a spodný plášť krídla a nosníky – zliatina hliníka, zinku, horčíka a medi, pre dobrý pomer pevnosti a hmotnosti. [13][14]

### 5.2.2. Airbus A320-200

Na nábežnej hrane A320 je 5 slotov. Na odtokovej hrane sú 2 Fowlerove klapky – vnútorná a vonkajšia. Sloty a klapky sú poháňané hydraulikou a riadia ich dva počítače SFCC (Slot/Flap Control Computer). Tieto počítače kontrolujú ich polohu, rýchlosť a monitorujú akýkoľvek ich neriadený pohyb.



Obrázok 4 – Mechanizácia krídla Airbus A320.

Každé krídlo má 5 spojlerov. Stredné 3 (2,3 a 4) plnia funkciu brzd, teda slúžia výlučne len na zvýšenie odporu. Systém automaticky zatahne tieto brzdy v prípade vysokého uhla nábehu, v prípade plne vysunutých klapiek a ak dôjde k poruche počítača.

Lietadlo A320 používa systém fly-by-wire pre ovládanie riadiacich plôch lietadla elektronicky. To ponúka nielen úsporu hmotnosti, ale aj zabraňuje prípadným manévrom, ktoré by ohrozovali bezpečnosť letu.

Čo sa týka materiálu, väčšina lietadla je vyrobená z kompozitných materiálov, prevažne z uhlíkových vlákien. Takmer všetka mechanizácia pozostáva z týchto materiálov, čo tiež významne prispieva k úspore hmotnosti. [15][16][17]

### 5.2.3. Zhrnutie

Obe spomínané lietadlá – Boeing 737-800 a Airbus A320-200, sú si na prvý pohľad z dôvodu ich obdobného dizajnu veľmi podobné. Zdieľajú rovnaký tvar nosných plôch – šípové krídlo, ktorého uhol pri oboch dosahuje približne 25°. Ich nosné plochy majú však i niekoľko odlišných vlastností.

Prvou je, že krídlo 737 disponuje o niečo väčšími rozmermi, kvôli väčšej hmotnosti lietadla. Boeing ako prvý začal používať efektívnejší typ zakončenia krídla – Blended winglet, pre zníženie odporu a úsporu paliva. Práve tento typ wingletu sa stal inšpiráciou pre Airbus, k vytvoreniu podobného konceptu, ktorý by bol obdobne efektívny. Niekoľkoročným vývojom po zavedení Blended wingletov vznikli Sharklety, navrhnuté

spoločnosťou Airbus pre model A320. Tieto typy zakončenia krídel sú si dizajnom veľmi podobné.

V oboch prípadoch plnia nosné plochy významnú úlohu i v podobe umiestnenia palivových nádrží a distribúciu paliva k motorom, ktoré majú obe lietadlá pripevnené na spodnej strane krídla.

Rozdelenie palivových nádrží sa u oboch typov mierne líši. Prvým rozdielom je, že centrálna palivová nádrž 737 nie je obmedzená len na priestor trupu, ale zasahuje i do časti krídel. Vďaka tomu disponuje oveľa väčšou kapacitou, než centrálna nádrž A320. V oblasti krídel má Boeing jednu hlavnú nádrž na každej strane. Airbus má túto nádrž ešte rozdelenú na vnútornú a vonkajšiu. Táto vnútorná a vonkajšia palivová nádrž majú spolu kapacitu 7 804 l. Je to o skoro 3000 l viac, než kapacita jednej hlavnej palivovej nádrže Boeingu 737, napriek tomu, že jeho nosné plochy disponujú väčšou plochou. Celkovú kapacitu paliva má ale väčšiu Boeing, a to vďaka práve už spomínanej rozmernej centrálnej nádrži.

Čo sa týka mechanizácie krídel, tá sa tiež úplne u týchto dvoch typov nezhoduje. Spoločnú a rozdielnu mechanizáciu znázorňuje tabuľka:

Tabuľka 2 – Porovnanie mechanizácie.

	Boeing 737-800	Airbus A320-200
Nábežná hrana	2 Kreugerove klapky + 4 sloty na každej strane	5 slotov na každej strane
Odtoková hrana	2 Fowlerove klapky na každej strane	2 Fowlerove klapky na každej strane
Celkový počet spojlerov	12	10
Celkový počet krídelok	2	2

Je teda zrejme, že mechanizácia na nábežnej hrane sa u týchto dvoch lietadiel líši. Boeing má celkovo až 6 zariadení (2 klapky + 4 sloty), Airbus má na svojej nábežnej hrane 5 zariadení na zvýšenie vztlaku. Čo sa týka mechanizácie odtokovej hrany, tam sú v oboch prípadoch využité Fowlerove klapky. Boeing má i väčší počet spojlerov, na každej strane krídla má o jeden viac, než A320. Komplexnejšia mechanizácia krídla Boeingu 737 sa dá vysvetliť jeho väčšími rozmermi a rozpätím.

S mechanizáciou má úzky súvis aj ďalší významný rozdiel týchto dvoch lietadiel – akým spôsobom sú tieto systémy ovládané. Boeing využíva konvenčné manuálne riadenie lietadla. Na druhej strane Airbus využíva elektronický systém ovládania riadiacich plôch fly-by-wire, ktorý výrazným spôsobom prispieva k úspore hmotnosti.

Hmotnosť krídel Airbus pri A320 znižuje i ďalším spôsobom – využitím prevažne kompozitných materiálov. Nosné plochy Boeingu 737-800 sú prevažne tvorené zliatinami hliníka.

## 6. Konceptie krídel budúcich období

Letecká doprava, lietadlá a ich časti prechádzajú neustálím zdokonaľovaním. Dôraz sa kladie na to, aby boli nosné plochy pevné, odolné a z ľahkého materiálu.

Najnovším prírastkom Boeingu je širokotrupé lietadlo 777-9 z radu 777X. Jeho krídla sú približne o 7 metrov dlhšie než u staršieho modelu 777-300ER. Toto viedli k sklopným koncom krídel. [18]

Spoločnosti NASA a Boeing spolupracujú na projekte s cieľom vytvoriť lietadlo, ktoré je úspornejšie a má menší vplyv na životné prostredie. Lietadlo bude mať dlhé a tenké krídla. Nachádzať sa budú na hornej časti trupu. Budú podopreté špeciálnymi nosníkmi upevnenými na spodnej časti trupu lietadla. Okrem toho tieto nosníky dokážu vytvárať i vztlak, podobne ako to bolo v prípade pôvodných dvojplôšnikov. Toto lietadlo by malo dosiahnuť zníženie spotreby paliva až o 30 %. Koncept takéhoto krídla sa označuje ako TTBW – Transonic Truss-Braced Wing.[19]

### 6.1. Konceptia Blended Wing Body

Tomuto dizajnu sa hovorí i zmiešané krídlo, pretože spolu s trupom tvoria jednu konštrukciu. Tým je vztlak vytváraný celým lietadlom. Preto sa mu hovorí i lietajúce krídlo. Namiesto konvenčnej zostavy chvosta má lietadlo niekoľko ovládacích plôch na odtokovej hrane.

Airbus uvažuje nad možnosťou zmiešaného krídla aj v rámci jeho projektu ZEROe. V rámci neho chce skonštruovať prvé komerčné lietadlo s nulovými emisiami. Ako palivo plánuje použiť skvapalnený vodík. Zmiešané krídlo by poskytovalo viac možností pre jeho uskladnenie a distribúciu vďaka jeho rozsiahlemu trupu. [20][21]

### 6.2. Lietadlo s uzavretými krídlami

Projekt Parsifal je zameraný na zníženie emisii zavedením lietadla s názvom PrandtlPlane

Dizajn tvorí jedno krídlo, ktoré sa uzatvára do seba a vytvára akýsi „box“ okolo lietadla. Z tohto dôvodu nemá konce krídel. Tým je znížený odpor a spotreba paliva. [22]

## 7. Záver

Táto práca sa venuje základným vlastnostiam nosných plôch dopravných lietadiel. V úvode sa zaoberá postupným vývojom tvarov a profilov krídel naprieč historickými obdobiami. Postupne prechádza k súčasným nosným plochám a ich vlastnostiam. Veľkú časť práce tvorí opis a vzájomné porovnanie nosných plôch komerčných dopravných lietadiel typu Boeing 737-800 a Airbus A320-200. V tejto časti sú spomenuté nielen spoločné vlastnosti krídel týchto dvoch typov lietadiel, ale pozornosť sa venuje i poukázaniu na ich rozdielne vlastnosti a ich odôvodneniu. V závere práca ponúka i pohľad na budúci vývoj krídel.

## Referencie

- [1] BUGAJ, M. 2015. AEROMECHANIKA I. Základy aerodynamiky. Bratislava: DOLIS, 2015. 208s. ISBN 978-80-970419-3-9
- [2] ANDERSON, J. 2011. WINGS: From the Wright Brothers to the Present. In: National air and space museum [online]. 2011 [cit. 2022-12-27] Dostupné na: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/wings-wright-brothers-present>
- [3] HAYWARD, J. – AHLGREN, L. 2022. The Evolution Of The Airplane. In: Simple Flying [online]. 2022 [cit. 2022-12-27] Dostupné na: <https://simpleflying.com/the-evolution-of-the-airplane/>
- [4] GARRISON, P. 2019. The Perfect Airplane Wing. In: Smithsonian Magazine [online]. 2019 [cit. 2022-12-28] Dostupné na: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/wings-wright-brothers-present>
- [5] ASHRAF, S. 2022. Types of aircraft wings. In: Aviation for Aviators [online]. 2022 [cit. 2022-12-28] Dostupné na: <https://aviationforaviators.com/2022/06/11/types-of-aircrafts-wings/>
- [6] HLAVÁČEK, P. 2016. Konstrukční řešení letadel díl 3. In: Czech Airlines [online]. 2016 [cit. 2022-12-29] Dostupné na: <https://www.czechairliners.net/index.php/archiv-clanku-1/1116-konstrukcni-reseni-letadel-dill-3.html>
- [7] The evolution of the aircraft wing. In: The Engineer [online]. 2017 [cit. 2022-12-30] Dostupné na: <https://www.theengineer.co.uk/content/in-depth/the-evolution-of-the-aircraft-wing/>
- [8] HENDRY, J. 2022. Why Do Aircraft Store Fuel In The Wings?. In: Simple Flying [online]. 2022 [cit. 2023-01-08] Dostupné na: <https://simpleflying.com/why-do-aircraft-store-fuel-in-the-wings/>
- [9] FREITAG, W – SCHULZE, E. 2009. Blended Winglets Improve Performance. In: Boeing Commercial Aeromagazine [online]. 2009 [cit. 2023-01-08] Dostupné na: [https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr\\_03\\_09/article\\_03\\_1.html](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_03_09/article_03_1.html)
- [10] Winglets and Sharklets. In: The Flying Engineer [online]. [cit. 2023-01-08] Dostupné na: <https://theflyingengineer.com/flightdeck/winglets-and-sharklets/>
- [11] BRADY, C. 2021. Boeing 737 Fuel. In: The Boeing 737 Technical Site [online]. 2021 [cit. 2023-03-16] Dostupné na: <http://www.b737.org.uk/fuel.htm#Pumps>
- [12] A320 Fuel. In: A 320 Simulator Flight Crew Operating Manual [online]. [cit. 2023-03-16] Dostupné na: <https://www.smartcockpit.com/docs/A320-Fuel.pdf>
- [13] BRADY, C. 2021. Flight Controls. In: The Boeing 737 Technical Site [online]. 2021 [cit. 2023-03-09] Dostupné na: <http://www.b737.org.uk/flightcontrols.htm>

- [14] BRADY, C. Production. In: The Boeing 737 Technical Site [online]. [cit. 2023-03-09] Dostupné na: <http://www.b737.org.uk/production.htm>
- [15] The Airbus A320's Slat and Flap System: Part 1-Technical Background. In: The A320 Insider [online]. 2022 [cit. 2023-03-12] Dostupné na: <https://blog.thea320insider.com/2022/01/30/ready-to-finally-understand-the-airbus-a320s-flap-and-slat-system/>
- [16] Airbus A320 Specs – What is behind one of the most popular short-haul airliners? In: Modern Airlines [online]. [cit. 2023-03-12] Dostupné na: <https://modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-specs/>
- [17] Airbus A320: narrow-body passenger aircraft. "Airbus A320": description, interior layout, best seats, photo Airbus A320 dimensions [online]. [cit. 2023-03-12] Dostupné na: <https://rozavetrovsibir.ru/en/passport/airbus-a320-uzkofyuzelyazhnyi-passazhirkii-samol-t-aerobus-a320-opisanie-shema/>
- [18] KINGSLEY-JONES, M. 2020. Key changes introduced on new wing for 777X. In: FlightGlobal [online]. 2020 [cit. 2023-02-22] Dostupné na: <https://www.flightglobal.com/airframers/key-changes-introduced-on-new-wing-for-777x/136461.article>
- [19] VERGER, R. 2023. This 'airliner of the future' has a radical new wing design. In: Popular Science [online]. 2023 [cit. 2023-02-22] Dostupné na: <https://www.popsci.com/technology/nasa-boeing-announce-sustainable-flight-demonstrator/>
- [20] HAYWARD, J. – AHLGREN, L. 2022. Blended Wing Design: The Plane Type Of The Future? In: Simple Flying [online]. 2022 [cit. 2023-02-22] Dostupné na: <https://simpleflying.com/blended-wing-design/>
- [21] ZEROe Towards the world's first zero-emission commercial aircraft In: Airbus [online]. [cit. 2023-02-22] Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>
- [22] COLLINS, C. 2018. Radical closed-wing aircraft design could see greener skies take flight. In: Horizon, The EU Research and Innovation Magazine [online]. 2018 [cit. 2023-02-22] Dostupné na: <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/radical-closed-wing-aircraft-design-could-see-greener-skies-take-flight>