AERODINAMIKA ÉS A REPÜLÉS GÉPÉSZETE

Az első felszállások után ideje felnyitni a motorháztetőt és megérteni, tulajdonképpen mi is történik, hogyan is működik az egész. Az aerodinamika a levegőben történő mozgásokkal foglalkozik, a repülés mechanikája. Itt csupán néhány alapvető fizikai összefüggést elemzünk, melyek egy komplex és roppant érdekes tudományt sejtetnek.

1. ÁLTALÁNOS ISMERETEK

Vektor és eredő erő

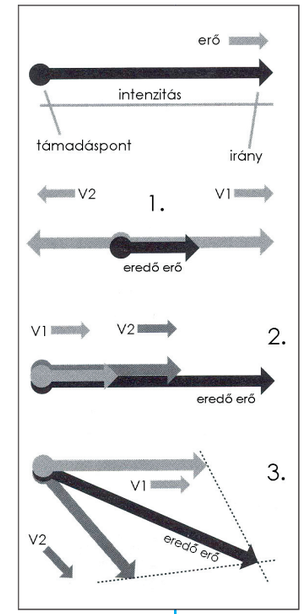
A fizika az olyan tényezőket, mint az erő, a sebesség stb. vektorként írja le, melynek van támadáspontja, iránya és intenzitása. A vektorokat nyilakkal ábrázoljuk.

Az adott tárgyra ható erők egyetlen erőben összegezhetők, ami ugyanazt a hatást eredményezi, mint az előbbiek együttesen – ez az eredő erő (R).

1. Ha az erők párhuzamosak és ellentétes irányúak, az eredő erő: R=V1–V2.

2. Ha az erők párhuzamosak, de egyező irányba hatnak, az eredő erő: R=V1+V2.

3. Ha az erők összetartanak, akkor az eredő erő a paralelogramma átlója.



Súly és tömeg

A kettő nem tévesztendő össze. A súly a gravitáció (tömegvonzás) tárgyra gyakorolt erőhatása, a tömeg pedig az anyag mennyisége egy adott tárgyban. A tömeget kilogrammban (kg), a súlyt Newtonban (N) vagy dekaNewtonban (daN) fejezik ki.

A súly (W) és a tömeg (M) a következő egyenletben kapcsolható össze: W=Mxg, ahol „g” a gravitációs gyorsulás, értéke 9,81 m/s^2.

Ha a pilóta tömege 100 kg, súlya 981 N vagy 9,81 daN.

Repülés közben a pilóta tömege állandó (100 kg), súlya viszont a repülési helyzettől függően – emelkedés, süllyedés vagy forduló – változik.

Egyensúly, stabilitás és merülés

A test akkor van egyensúlyban, ha iránya és sebessége nem változik. A mozdulatlan test tökéletes egyensúlyban van.

A test akkor is egyensúlyban van, ha változatlan irányban, állandó sebességgel mozog. Ha a mozgás iránya vagy sebessége (illetve mindkettő) megváltozik, a test – értelemszerűen – már nincs egyensúlyban.

Az álló helyzet, az állandó sebességű és irányú mozgás: egyensúlyi állapot. A forduló, a gyorsulás, lassítás: egyensúlytalansági állapot.

A stabilitás a test azon képessége, hogy „magától” visszatér a kezdeti egyensúlyi helyzetbe.

Ha a testet kitérítjük az egyensúlyi helyzetéből, két dolog történhet:

– a test eltávolodik az egyensúlyi helyzettől, és azt nem nyeri vissza; ebben az esetben instabilitásról beszélhetünk

– a test kitérítés után visszatér eredeti pozíciójába; ez a stabilitás.

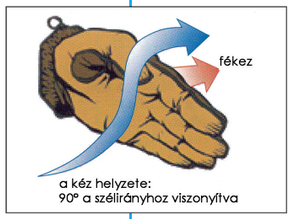
A stabilitás elérése kilengések (oszcillációs mozgások) után jön létre, ezeknek a száma a mozgás csillapítottságát jellemzi.

Kormányzás

Felszállás, emelkedés, vízszintes repülés, forduló stb. – az egymást követő stabil és instabil állapotok – három különböző erőnek köszönhetőek:

– a gravitációs erő, azaz a súlyerő
– a hajtómű által biztosított erő, azaz a tolóerő
– a közegből, a levegőből adódó erő, azaz az eredő aerodinamikai erő.

2. LÉGELLENÁLLÁS

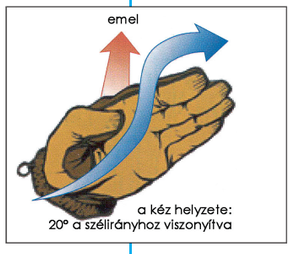


Az aerodinamikai erők tanulmányozásához a kutatók szélcsatornákat használnak (siklóernyő esetében erre még nem került sor, természetesen anyagi okoknál fogva).

Mindegy, hogy a tárgy mozog a levegőben, vagy az álló tárgy körül mozog a levegő – az eredmény ugyanaz. Minden mozgó tárgy ki van téve a légellenállásnak. Erről egyszerűen meggyőződhetünk, ha mozgó jármű ablakából élére állítva kitartjuk a kezünket. A viszonylagos szél hátrafelé taszítja. Érezzük, hogy a légellenállás olyan erő, amely párhuzamos a haladási iránnyal (lásd a fenti példát).

3. FELHAJTÓERŐ

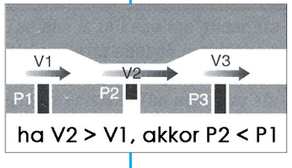
Ismét tegyük ki a kezünket, de most lassan fordítsuk éléről lapjára. Egy adott pillanatban érzékelni fogunk egy másik erőt, amelyik felfelé mozdítja a kezünket: ez a felhajtóerő.



3.1. Alacsony nyomás és magas nyomás

Sebesség és nyomás

A levegőnek, mint minden gáznak, az energiája nyomás formájában nyilvánul meg. Ha egy gáz sebessége nő, a nyomása csökken (a XVIII. századbeli svájci matematikus és fizikus, Bernoulli megállapítása szerint).

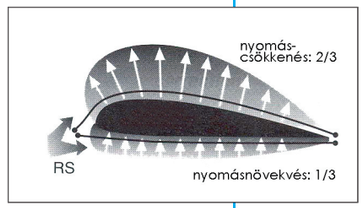


Áramlás a szárnyprofil körül

A siklóernyő szárnyprofilja a menetirányával ellentétes irányú viszonylagos szél hatásának van kitéve.

Amikor ez a viszonylagos széláramlat (továbbiakban áramlás) eléri a kupola belépőélét, kettéválva halad tovább a szárnyprofil körül. Azaz az áramlás egyik része a szárnyprofil alatt, másik része a profil felső felülete fölött halad tovább.

Hogy megértsük a szárnyprofil működését, vegyünk példaként két levegőmolekulát. A molekulák a relatív széllel megegyező sebességgel haladva egyszerre érik el a belépőélt, majd szétválnak: az egyik a szárny felett, a másik a szárny alatt halad tovább. A kilépőélt elhagyva elvileg találkozniuk kéne, de a szárnyszelvény alakjából adódóan a szárny feletti út hosszabb, mint a szárny alatti.



A szárny alatt haladó molekula sebessége – az alsó szárnyfelülettel való ütközés és súrlódás miatt – csökken (például v=40 km/h-ról v=35 km/h-ra). A sebesség csökkenése még nem változtathatja meg az energiaegyensúlyt, így nem történhet más: a közeg (gáz) nyomása nő meg. A nyomás növekedése túlnyomást hoz létre – ez az erő nyomja felfelé a szárnyat.

A profil felső része fölött haladó molekulának a kilépőél mögötti találkozásig hosszabb utat kell megtenni. Nincs más választása, gyorsítania kell, mondjuk a kezdeti 40 km/h-ról 50 km/h-ra. Az energiaegyensúly megint közbelép: csökkenti közegének nyomását. Ez az alacsony nyomás szívóhatást eredményez, felfelé szívja a szárnyat.

Általában a felhajtóerő 2/3 részét a szárny fölötti csökkent nyomás, míg az 1/3 részét a szárny alatt megnövekedett nyomás adja.

A sebességnövekedés eredményeképp kialakuló szívóhatás jól nyomon követhető például egy Citroën kacsa menet közben „felfele dudorodó” vászontetején is.

Ugyanez a jelenség figyelhető meg, ha egy kanál alsó részét vízsugárba tartjuk, azzal párhuzamosan. A vízsugár vonzza a vele érintkezésbe lépett domború felületet – és nem tolja, mint gondolnánk –, azaz szívóhatás alakul ki. Mint ahogy a két ujjal függőlegesen tartott papírlap mellett „elfújva” a lehelettel érintkező felület felé térítjük azt ki.

A felhajtóerő iránya merőleges a haladási irányra.

A légi járművek a felhajtóerő felülről szívó és alulról taszító ereje által repülnek.

MINT A MADARAK

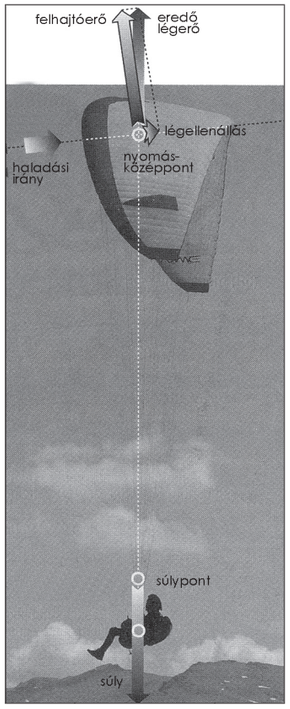
A siklóernyő ugyanazon elveknek köszönhetően repül, mint a madarak, denevérek vagy repülőgépek szárnya. Az áramlásba helyezett ívelt profil felhajtóerőt hoz létre.

4. AZ EREDŐ LÉGERŐ

Az erők minden rendszerben egyetlen pontban koncentrálódnak, jelen esetben ezt **nyomásközéppont**nak nevezzük (Centre of Pressure – C of P); ez egyben a gravitációs erő, azaz a súlyerő központja is. Szárnyprofiloknál ez a pont a profil első harmadánál található.

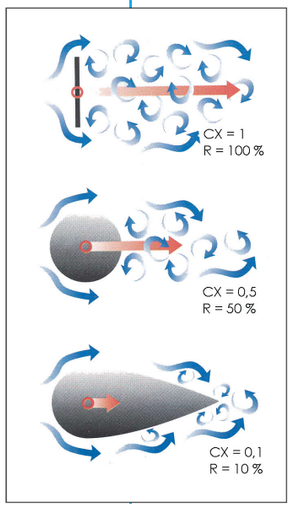
A felhajtóerő és az ellenállás összegét az aerodinamikai erők eredőjének, azaz az **eredő légerő**nek nevezzük. Az e pont körül kialakult egyensúlyi erőrendszer teszi lehetővé a repülést. Az eredő légerő az egyensúlyra törekedve kompenzálja a súlyerőt.

Lehet kisebb vagy nagyobb, elmozdulhat vagy irányt változtathat attól függően, hogy a légi jármű emelkedik, süllyed, fordul, gyorsít stb. Számos más tényező is észrevehetően befolyásolja az eredő légerőt; mi itt és most csak a legfontosabbakról beszélünk.



4.1. A szárnyprofil

Az ellenállás – többek között – a test alakjától függ. Térjünk vissza a példáinkban említett közeghez (levegő, víz stb.). Ha tenyerünket az áramlás irányára merőlegesen helyezzük vízbe, jókora örvény keletkezik mögötte. Ha a tenyerünkkel azonos felületű golyót helyezünk a folyadék útjába, az örvény már kisebb lesz, mivel az ellenállás nagyjából felére csökken. Ha pedig áramvonalas borítást (cseppalakot) adunk a testnek, még ennél is lényegesen kisebb örvény alakul ki – az ellenállás 90 százalékkal lesz kisebb, mint a merőleges sík felületnél (itt a tenyerünk).

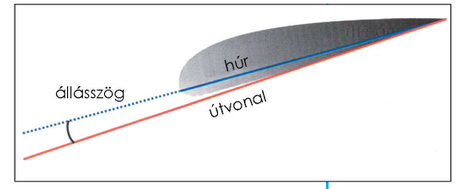


Az áramvonalas alak az elejénél vastag és kör alakú, a végénél pedig keskeny és vékony, ami a légellenállási együttható mértékét – amennyire csak lehet – csökkenti.

4.2. Állásszög

Az alak nem minden – a szárnyprofilnak közege irányához képest megfelelő szögben kell állnia. (Emlékezzünk, hogy az ablakból függőlegesen

kitett kezünk csak légellenállást képezett, míg az áramlással szöget bezárva felhajtóerőt is termelt.) Ez az állásszög vagy megfújási szög – pontosabban a szárnyprofil húrja és a megfújás iránya közti szög. Értéke általában +5° és +20° között változik (ezek az értékek minden légi járműnél nagyjából ugyanazok).



Siklóernyőnél a +5°-nál kisebb állásszög a belépőél aláhajlásához vezethet (a pontos határérték függ a szárnyprofiltól és a beömlőnyílások elhelyezésétől).

Siklóernyőnél a +20°-nál nagyobb állásszög esetén a felhajtóerő elvész, és átesési helyzetbe kerülhetünk.

Repülés közben az állásszög gyakran változik: nagy sebességeknél kicsi, kis sebességeknél nagy.

Repülés közben az állásszög nem érzékelhető, de látatlanban is tudjuk róla, hogy nem más, mint a viszonylagos szél iránya és a szárnyprofil húrja között bezárt szög.

A repülőgép szárnyának vagy profiljának fő húrja és a haladási irány által bezárt szög. Mértéke a légi jármű és a repülési rendszerek függvénye; általában pozitív szög, +5° és +20° között.

4.3. A levegőhöz viszonyított sebesség

Az eredő légerő arányos a sebesség négyzetével. Kétszer akkora sebességhez négyszer akkora eredő tartozik.

Ha a sebesség 1, akkor az eredő 1,
ha a sebesség 2, akkor az eredő 4,
ha a sebesség 3, akkor az eredő 9 stb.

A sebesség jelentősége akkor tudatosul bennünk, amikor először próbálunk kupolával szaladni, illetve start közben az ernyőt korrigálni. Minél gyorsabban loholunk, annál stabilabban, szebben repül az ernyő.

4.4. A levegő sűrűsége

Az eredő légerő arányos a sűrűséggel, vagyis a levegő mennyiségének tömegével. Tengerszinten, 15 °C hőmérsékleten, 1,013 hPa légnyomásnál a levegő sűrűsége 1,225 kg/m^3 – ez a standard érték. Az eredő a magasságtól és a hőmérséklettől függően változik. 6000

méteren a levegő sűrűségével arányosan az eredő légerő is nagyjából a felére csökken. Ezt csak a sebesség növelésével lehet kompenzálni.

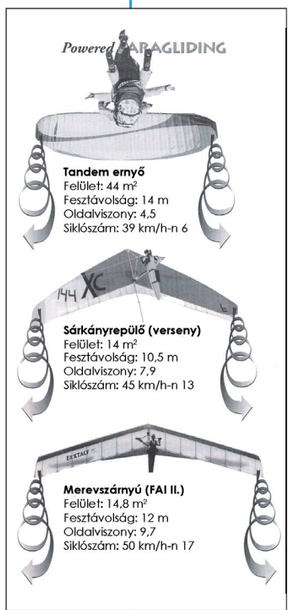
Hegyi startnál gyorsabban kell futnunk a felszálláshoz. Nyáron hosszabb a felszállási úthossz, mint télen, mert a magasabb hőmérséklet miatt kisebb a levegő sűrűsége. Figyelembe kell venni a motor teljesítményét és a légcsavar hatásfokát is, illetve azok változását a magasság és a hőmérséklet függvényében, de erről majd később. A sűrűbb levegő nagyobb eredő légerőt eredményez.

4.5. Felület

Az eredő légerő arányos a felülettel is.

Motorral – a megnövekedett súlynak köszönhetően – nagyobb vitorlafelülettel repülhetünk, mint motor nélkül. (Hasonló a helyzet tandemrepülésnél is.) Nagyobb felületnél az eredő légerő is nagyobb lesz, anélkül, hogy a sebességet növelni kellene.

4.6. Oldalviszony



Bármilyen szárnyról van szó, a pilóták elsősorban az oldalviszonyára kíváncsiak, mivel az igen szoros összefüggésben van a teljesítménnyel. Az oldalviszony nem mértékegység (méter, százalék stb.), hanem arányszám, ami a szárny két geometriai paramétere közötti kapcsolatot „számszerűsíti". A szárny fesztávolsága és a szárny húrja közötti arányt fejezi ki, magyarul megmutatja, mennyire karcsú a szárny.

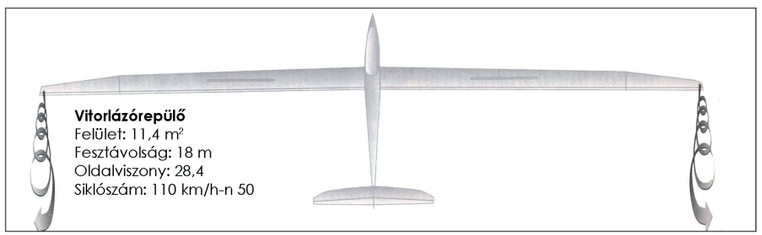
A pontos érték kiszámítása:

Oldalviszony = fesztávolság^2/felület

vagy másképp: oldalviszony = felület/átlagos húrhossz.

(Nem keverendő össze az átlagos húrhossz és középső húrhossz!)

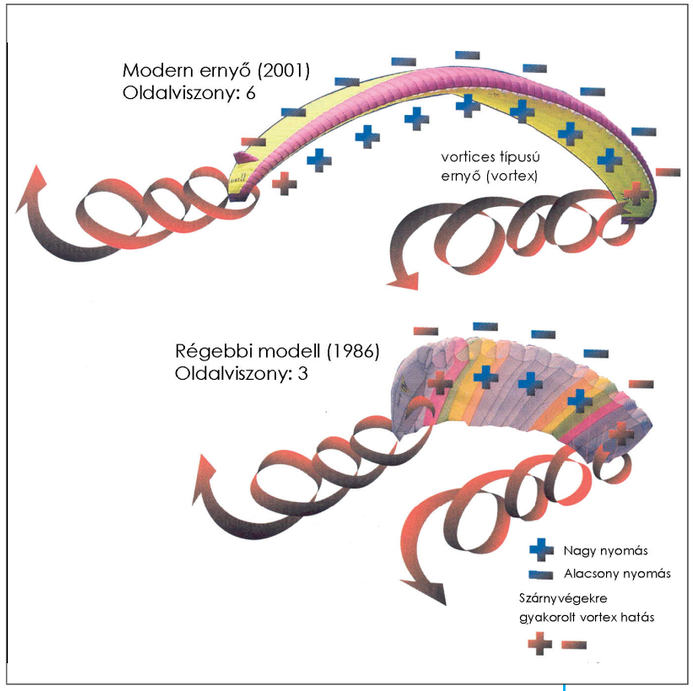
A szárnyvégeknél a felső vitorla fölötti alacsony nyomás szívóhatást fejt ki az alsó vitorla alatt haladó légtömegre, így az egymást keresztező áram-



lások szárnyvégi örvényeket, ún. vortexet hoznak létre. Az általuk generált indukált ellenállás a légellenállás fontos összetevője.

Az örvényfonat mindig ugyanakkora felületet érint; ezt az oldalviszony nem befolyásolja. Ugyanakkor a nagy oldalviszonyú szárnynál nagyobb az örvénysor által „érintetlen" felület, tehát a felhajtóerő a csökkenő indukált ellenállás eredményeképpen növekszik.

Két azonos felületű, de eltérő oldalviszonyú szárny közül a keskenyebb hatásfoka jobb. A fentiek miatt építik a vitorlázó repülőgépek szárnyát is hosszúra és keskenyre.



Az indukált ellenállás csökkentésére a gyártók különböző szárnyvég-kialakításokat alkalmaznak, úgymint fülek, éles szárnyvégek, szárnyvégzáró borda stb. Ily módon igyekeznek segíteni a levegő áramlását, azaz csökkenteni azt a felület, ahol a szívóhatás következtében örvénysor, illetve indukált ellenállás alakul ki.

A nagy teljesítményű siklóernyők oldalviszonya 6 felett van.

Az alábbi képlet mutatja az összefüggéseket az egyes paraméterek és az eredő légerő között.

Felhajtóerő (vagy eredő légerő, ELE) = 1/2 p Sv^{2}k

P – levegő sűrűsége

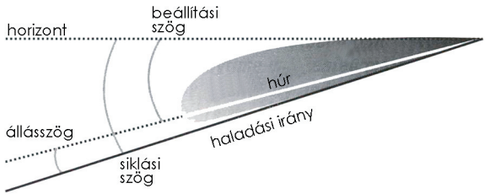
S – felület

v^2 – sebesség négyzete

K – a különböző szárnyprofil-paraméterekre vonatkozó viszonyszám, úgymint alak, a felület érdessége, állásszög, oldalviszony stb.

5. HÁROM NEVEZETES SZÖG

Az állásszög – mint már említettük – a szárnyprofil húrja és a haladási irány által bezárt szög. Létezik egy másik paraméter, amit akkor tudnánk bemutatni, ha stabilizált vízszintes repülés közben figyelnénk meg az ernyőt, olyankor, amikor állásszöge nulla. A szárnyprofil húrja és a horizont között egy másik szöget találunk, ez a beállítási szög. A beállítási szöget a tervezésnél határozzák meg, és a hátsó függesztő zsinórok hosszával szabályozzák.



Beállítási szög: a horizont és a szárnyprofil húrja által bezárt szög

Állásszög: a haladási irány és a húr által bezárt szög.

Siklási szög: a haladási irány és a vízszintes által bezárt szög.

Néha nem könnyű meghatározni az állásszög és a beállítási szög közötti kapcsolatot, ami zavart okozhat. Aránytalanul nagy beállítási szögnél megfelelő aerodinamikai biztonsággal repülhetünk, ezzel szemben, könnyen kaphatunk „front stall”-t, vagyis belépőél-aláhajlást a túlságosan kis állásszög következtében, holott a szárny beállítása korrekt.

A horizont és a haladási irány által bezárt szög, azaz a siklási szög közvetlen kapcsolatban van a szárny teljesítményével; mint a neve is utal rá, meghatározza a szárny siklási képességét. Minél kisebb a siklási szög, annál jobban siklik a szárny.

6. SIKLÓSZÁM (L/D)

A siklóernyő siklószáma nem más, mint a siklási képessége.

Első képletünk a távolság és a magasság arányát fejezi ki. Példa: egy 6-os siklószámú ernyő 6000 méter távolságot tesz meg 1000 méterről startolva (egyenes vonalon, nyugodt időben repülve).

Ugyanez mérhető sebességben is:

vízszintes sebesség (V_v)/függőleges sebesség (V_f)

V_v = 12 m/s

V_f = 2m/s

Siklószám (**F** / **E**) = 6

A siklószám megfelel a **F**elhajtóerő és az **E**llenállás arányának. Ha tehát növeljük a felhajtóerőt, akkor a siklószám is növekedni fog. Ha viszont az ellenállást növeljük, a haladási sebesség csökken, így a siklószám is romlik:

felhajtóerő/ellenállás = siklószám.

Ismert adat: súly, eredő légerő, siklószám

Matematikai levezetés során kiszámolhatjuk a felhajtóerő (F) és az ellenállás (E) értékét, méghozzá a Pithagorasz-tétel alapján:

Kiindulási képlet: $ELE^2 = E^2+F^2$

A siklóernyők legjobb siklószáma 6–10, a sárkányrepülőké 9–18; néhány nagy teljesítményű vitorlázórepülő siklószáma eléri a 60-at.

7. A MOTOROS REPÜLÉS MECHANIKÁJA

7.1. Vízszintes repülés

Gázadással a motor nagyobb fordulatszámon pörög, teljesítménye nő, ilyenkor már nem siklópályán, hanem vízszintesen repülünk.

Mindezt egy új erő teszi: a tolóerő. A tolóerő a légellenállással, a felhajtóerő pedig a súlyerővel van egyensúlyban. Az eredő légerő (ELE) nő, kompenzálva a látszólagos súlyt (maximális súly és tolóerő). Vízszintes motoros repülésnél a terhelési együttható (G) értéke 1.

A vízszintes repüléshez szükséges tolóerő mértékét további tényezők befolyásolják:

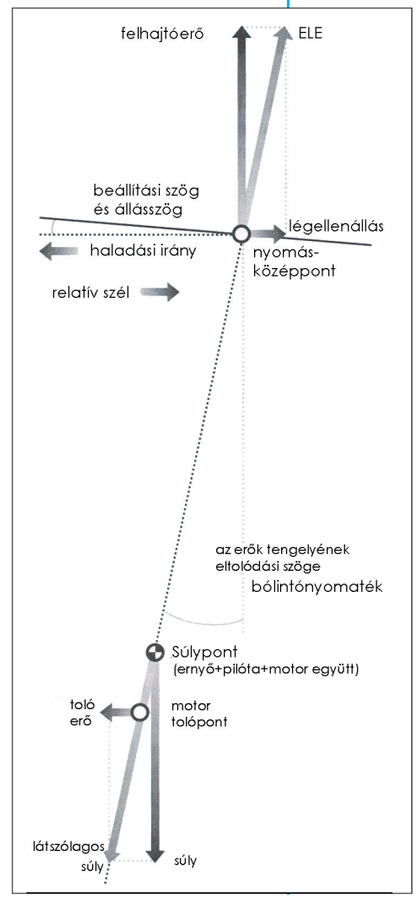
– a nagyobb teljesítményű kupola kisebb tolóerőt igényel

– a nagyobb súly nagyobb tolóerőt igényel.

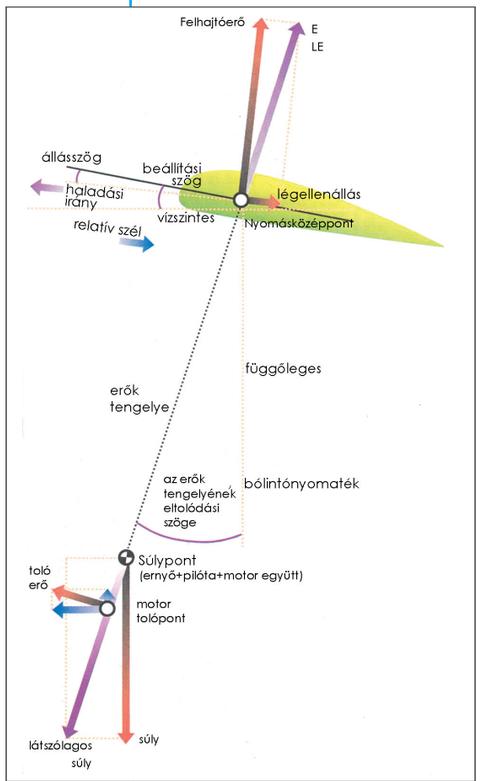
Képlet:

Tolóerő = súly/siklószám

Tolóerő	**Súly**	**Siklószám**
16,66 kg	100 kg	6
14,28 kg	100 kg	7
20,00 kg	120 kg	6
17,14 kg	120 kg	7



7.2. Emelkedés



Az előzőekben már bemutattuk az erők alakulását a vízszintes motoros repülés során. A képen ugyanazokat az erők ábrázoltuk, csak emelkedésnél. A fő különbségek a következőkben jelentkeznek: az erők tengelyének elfordulása, nagyobb tolóerő, nagyobb bólintónyomaték, valamint az, hogy a tolóerő tengelye elfordul a súly új függőleges vektorának eredményeként.

A vízszintes repülésből való emelkedéshez többlet tolóerőre van szükség. A többlet tolóerő pótolja a súlyerő egy részét, emelkedő irányt ad a haladási vektornak.

A felhajtóerő-súly arány meghatározza a terhelési tényezőt.

Emelkedésnél a vízszintes és a haladási irány szöget zár be. Ezt nevezzük emelkedési szögnek; a szükséges tolóerő mértéke – a vízszintes repüléshez hasonlóan – a siklóernyő teljesítményétől, a pilóta súlyától és a motor teljesítményétől függ.

A nagyobb emelkedési szög nagyobb terhelési tényezőt jelent (a pilóta látszólagos súlya csökken).

8. A BÓLINTÓNYOMATÉK

A tolóerő a pilóta hátán jön létre, de a pilóta-motor egység súlypontja a pilóta feje fölött van. Gázadásnál ez okozza a pilóta előrelendülését és a kupola lemaradását. Gázlevételnél – ugyanezen oknál fogva – a kupola előrebillen és merülni elkezd. Kezdő pilóta számára ez kellemetlen lehet, ezért célszerű finoman bánnia a gázkarral.

9. A SZÁRNY TERHELÉSE – FELÜLETI TERHELÉS

Felületi terhelés = súly/felület

Súly = a pilóta felszerelt súlya + az üzemanyaggal ellátott motor súlya + a szárny súlya.

A felületi terhelést kg/m²-ben fejezzük ki, ami az összsúly eloszlását jelenti a felület minden egyes négyzetméterére.

A siklóernyőgyártók mérettől függően 15–30 kg közötti súlytartományt adnak meg a kupoláikra. A felületi terhelés átlagos értéke 3,5 kg/m² körül van (de léteznek 4 kg/m² körül terhelt ernyők, a tandem ernyők felületi terhelése elérheti a 4,5 kg/m² értéket is).

Változások a felületi terhelés függvényében

A sebesség arányos a súly négyzetgyökével. Ha tehát a kupola súlytartománya 80 és 100 kg között van, és 80 kg-os pilótával a sebessége 35 km/h, akkor 100 kg-os pilótával a sebessége:

35 x √100/80 = 39,13 km/h.

A megváltozott felületi terhelés több tekintetben is következményekkel jár.

• Haladási sebesség

Mint láttuk, a súly növekedésével a sebesség is nő.

• Merülési érték

A függőleges sebességek ugyanolyan arányban változnak, mint a vízszintes sebességek. Ha 80 kg-os pilótánál a merülési érték 1,5 m/s, a 100 kg-os pilóta 1,67 m/s-mal merül.

• Sebesség és felszállási úthossz

A 100 kg-os pilótának gyorsabban kell futnia, és hosszabb lesz a felszállási úthossz.

• Átesési sebesség

Ha a 80 kg-os pilóta átesési sebessége 20 km/h, akkor a 100 kg-os pilóta átesési sebessége 22,36 km/h.

• Kezelhetőség és fékerők

Nehezebb pilótával azonos mértékű fékhúzásnál a nagyobb felületi terhelés miatt nagyobb erőre van szükség, és a kupola is nehezebben kezelhető.

• Legjobb siklószám

A legjobb siklószám – a fentiekkel ellentétben – nem változik. Mindkét pilóta ugyanolyan messze siklik (egyenes pályán, szélcsendben). Ha az ernyő siklószáma 7, és mindkét pilóta 1.000 méterről indul, 7000 méter megtétele után ugyanott szállnak le. Ha egy magasságból, egy időben startolnak, a 80 kg-os pilóta később ér ugyanoda, mivel kisebb sebességgel repül.

A siklószám alapvetően nem változik, de a siklási sebességek eltérőek. A 100 kg-os pilóta lényegesen gyorsabban tud siklani.

10. A SEBESSÉG POLÁRISA

A siklás pályája két összetevőre bontható: vízszintes sebességre és függőleges sebességre.

Ebből következően minden fékpozícióhoz két sebességérték rendelhető, melyeket két műszerrel mérhetünk: a variométerrel és a sebességmérővel. A variométert a magasságmérő és stopper együttes használatával helyettesíthetjük. Segítségükkel elkészíthetjük az ernyő úgynevezett polárgörbéjét, az alábbiak szerint.

Egy nyugodt napon emelkedj jó magasra, állítsd le a motort, és írd fel a különböző repülési pozícióknál mért sebességet – teljesen felengedett fékek, fékek szemmagasságig húzva, majd vállig, mellig, végül csípőig. Itt állj meg, lejjebb már ne húzd a fékeket! Minél több adatod van, annál pontosabb lesz a polárgörbe.

A mért értékeket grafikonon ábrázoljuk. A függőleges sebességek (m/s-ban kifejezve) az X tengelyre, a vízszintes sebességek (km/h-ban kifejezve) az Y tengelyre kerülnek Ezzel meg is kaptuk az adott repülési tartományban mért sebességek polárisát. A poláris alakja a szárny „névjegye".

A LEGJOBB SIKLÓSZÁMOT KÖZVETLENÜL IS MEGKAPHATJUK.
A jelentéktelen különbségre való tekintettel elfogadjuk, hogy a sebességmérőn kijelzett haladási sebesség gyakorlatilag megegyezik a vízszintes sebességgel (valójában a siklási szög és a vízszintes sebesség közötti különbség nem több, mint 1 km/h).

Megjegyezzük, hogy a sebességmérő nem a vízszintes sebességet, hanem a haladási irány sebességét mutatja. Normál siklásnál a különbség elhanyagolható.

A Pithagorasz-tétel alapján a vízszintes sebességet is meghatározhatjuk:

$Vt^2=Vh^2+Vv^2$

Példa: V_t=40 km/h (24, 9 mph, 21, 6 csomó)

V_v=2 m/s, azaz 7,2 km/h

$1600=V_h^2+51,84$

$V_h^2=1600-51,84=1548,16$

– ennek négyzetgyöke: V_h=39,34 km/h

Térjünk vissza a polárgörbéhez és tekintsük át a kapott sebességeket:

Felengedett fékek: 40 km/h, 2,3 m/s

Szemmagasságig húzott fékek: 34 km/h, 1,7m/s

Vállig húzott fékek: 30 km/h, 1,5m/s

Csípőig húzott fékek: 25 km/h, 2,5m/s

HASONLÓSÁG ÉS EGYBEESÉS A VALÓS ÉRTÉKKEL
A gyakorlatban a kettő nem pont így működnek a dolgok. A súly függvényében a felületi terhelés nő vagy csökken, mivel a szárny rugalmas és hajlékony, valamelyest változtatja az alakját. Így aztán különböző terheléssel ugyanaz az ernyő mégis más.
Az a valós helyzet, hogy nagyobb terhelésnél valamennyit romlik a siklószám, ráadásul a pilóta-szárny egység egyes részei – például a zsinórok vagy a pilóta maga – a nagyobb sebesség által nem termelnek extra felhajtóerőt, járulékos ellenállást viszont annál inkább,– azaz nagyobb mértékben nő az ellenállás, mint a sebességnövekedésből származó felhajtóerő. Mint látható, a nagyobb sebességgel járó nagyobb légellenállás jelentősebb mértékben csökkenti a siklószámot ,mint a merev szárnyú repülőgépek esetében.

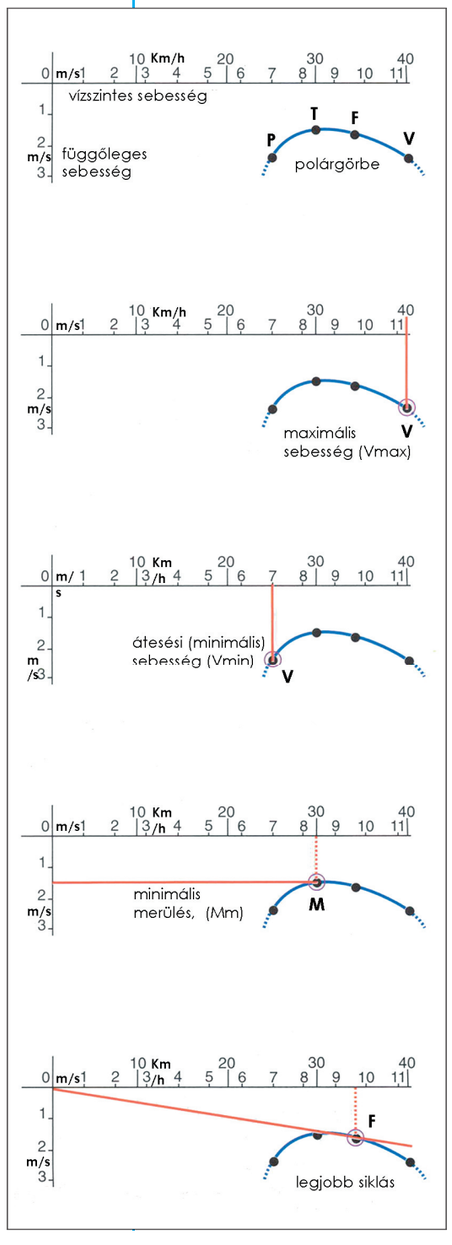
KM/H, M/S

A vízszintes sebességeket kilométer/órában (km/h), a függőleges sebességeket (merülési érték) pedig méter/másodpercben (m/s) fejezzük ki.

1 m/s=3,6 km/h

A merülési értékek a polárgörbe minden pontján közvetlenül feltüntethetők. A jelenlegi siklóernyők laposabb polárisa azt jelenti, hogy nagyobb sebességtartományban közel azonos mértékben merülnek.

A polárgörbe 4 nevezetes pontja



Feltételezzük, hogy vizsgálataink során szélcsend van, azaz a haladási sebességünk megegyezik a talajhoz viszonyított sebességgel.

Maximális sebesség (V_{max})

„V" pont a görbén

A görbe jobb szélén találjuk a legnagyobb sebességet, amit teljesen felengedett fékeknél kaptunk. Ennél gyorsabban nem tudunk repülni, hacsak nem használunk más rendszereket, úgymint lábgyorsító vagy trimm, ami néhány km/h-s sebességnövekedést tesz lehetővé (lásd később).

Átesési sebesség (V_{min})

„P" pont a görbén

A görbe másik végén találjuk az átesést materializáló pontot; itt a szárny már nem képes repülni. Ezt a sebességet csak leszállásnál célszerű elérni, ilyenkor a fékeket a beülő szintjéig kell lehúzni.

Minimális merülés, (M_M)

„T" pont a görbén

Egy vízszintes érintő és a görbe metszéspontja, a poláris legmagasabb pontja. Ez mutatja a minimális merülést.

A minimális merülés értékéhez rendelhető a legkisebb repülési sebesség. Ehhez a sebességhez tartozik a legnagyobb felhajtóerő.

Polárgörbe motorral és motor nélkül

A motorral repülő ernyő polárgörbéje (álló motornál) eltér az azonos paraméterekkel rendelkező, de motor nélkül repülő ernyő polárgörbéjétől. A különbség a nagyobb felületi terhelésből, valamint a keret, a motor, a légcsavar többlet légellenállásából adódik.

Legjobb siklás ($F/E_{max.}$)

„F" pont a görbén

Ha az origóból érintőt húzunk a görbéhez, a kettő metszéspontjában megkapjuk a legjobb siklószámhoz tartozó sebességértéket. Ezt az értéket teljesen felengedett fékekkel repülve mértük. A görbe bármely más pontjából az origóba húzott érintő meredekebb lesz, mint a legjobb siklószámhoz tartozó érintő. Ez a leggazdaságosabb sebesség; motoros repülésben utazósebességnek nevezzük.

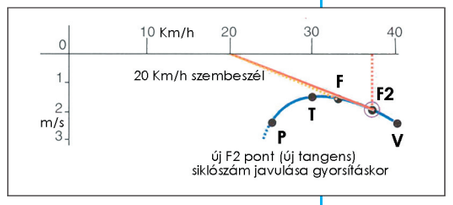
Változások a légköri viszonyoktól függően

Szembeszélben vagy leáramlásban sebességünk, röppályánk és siklószámunk megváltoznak, a talajhoz képest új értékek jönnek létre.

A jobb érthetőség kedvéért fogadjuk el, hogy a grafikonokon az origó a felszállási pontot, a függőleges tengely a magasságot, a vízszintes tengely pedig a távolságot jelenti. A legjobb siklópályák a földhöz képest mért repülési útvonalaknak felelnek meg.

Első példa – a szembeszél hatása a siklásra

20 km/h-s szélerősséget alapul véve szimuláljuk a szél hatását a polárgörbén: helyezzük az origót a vízszintes tengely 20 km/h-s értékéhez.

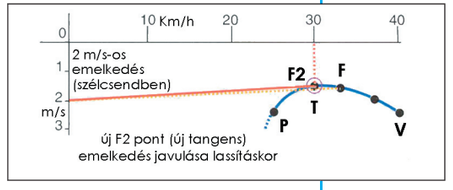


A talajhoz viszonyított legjobb siklószámot ezúttal egy másik egyenes jelöli; a siklópálya változik, mivel a szembeszél rontja a talajhoz viszonyított legjobb siklószámot.

A fékek felengedésével (gyorsító, trimm használatával) javul a talajhoz viszonyított siklószám, így valamivel gyorsabban repülhetünk, kompenzálva a szembeszelet.

Második példa – az emelkedés hatása a siklásra

Képzeljük el, hogy egy 3 m/s-os emelésben vagyunk. Helyezzük az origót a függőleges tengely 3 m/s-os pontjára.



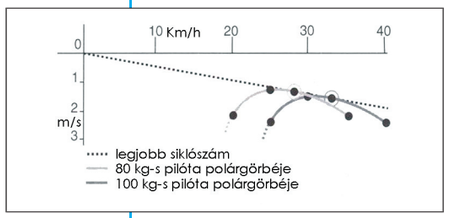
Húzzunk egyenest a legjobb siklási pozícióból felfelé – most emelkedünk.

Ha a talajhoz viszonyított sebességünk alacsony, gyorsabban és „meredekebben" emelkedünk.

Kedvező viszonyok között (hátszél vagy emelés) repüljünk lassabban, kedvezőtlen viszonyok esetén (szembeszél vagy merülés) növeljük a sebességünket.

Gondoljunk bele, mi történik, ha 2,5 m/-es emelésben és 15 km/h-s szembeszélben repülünk.

Változások a felületi terhelés függvényében



Az előzőekben láthattuk, hogyan befolyásolja a felületi terhelés a sebességet. Most megrajzoljuk a grafikonban a 80 kg-os, illetve a 100 kg-os pilótával repülő ernyő polárgörbéjét.

10.1. Emelkedés

Általában háromféle emelkedést definiálunk a választott repülési sebességtől függően. Mindhármat tanulmányozzuk (a motor közben teljes gázon jár).

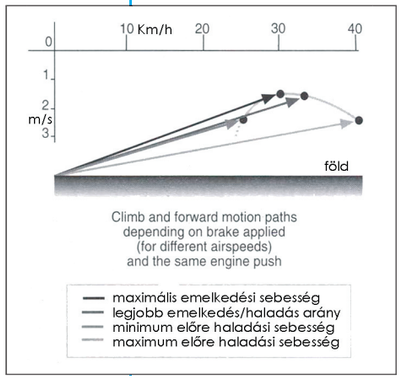
Normál emelkedés

Felszállás után általában ezt a fajta emelkedést választják a pilóták. A fék normál helyzetben, a füleknél van, a legnagyobb sebesség (felengedett fékek) és a minimális süllyedés pozíciója között; kb. a fékút 1/3-ánál.

Emelkedés maximális függőleges sebességgel (Vz max)

Ha ezt az emelkedést választjuk, a lehető leggyorsabban érjük el a kívánt magasságot. A pilóta a minimális merüléshez tartozó sebességgel repül. A vario – ha van – itt mutatja meg a legnagyobb emelkedési értéket.

Legmeredekebb emelkedés



A lehető legrövidebb úton érjük el a kívánt magasságot. Nem keverendő össze a maximális emelkedési sebességgel – itt ugyanis kisebb sebességgel repülünk. Általában akkor alkalmazzuk, ha át kell emelkednünk egy közeli akadályon. Minimális merülési sebességgel repülve legyünk körültekintőek: az állásszög nagyon nagy, így közel járunk az átesési sebességhez.

A három lehetséges emelkedést rászerkesztettük a grafikonra. A polárgörbe egyes pontjaira mutató nyilak a helyes sebességértékeket jelzik.

A POLÁRGÖRBE HASZNÁLATA

Minden helyzethez – siklás álló motorral, emelkedés, merülés stb. – egy-egy optimális sebesség tartozik. Fontos, hogy felismerjük az adott helyzetet, és annak megfelelően válasszuk meg a sebességet.

11. AZ ERNYŐ VISELKEDÉSE A HÁROM DIMENZIÓBAN

A siklóernyő, akárcsak a többi légijármű, három különböző tengely körül mozog:

Függőleges tengely

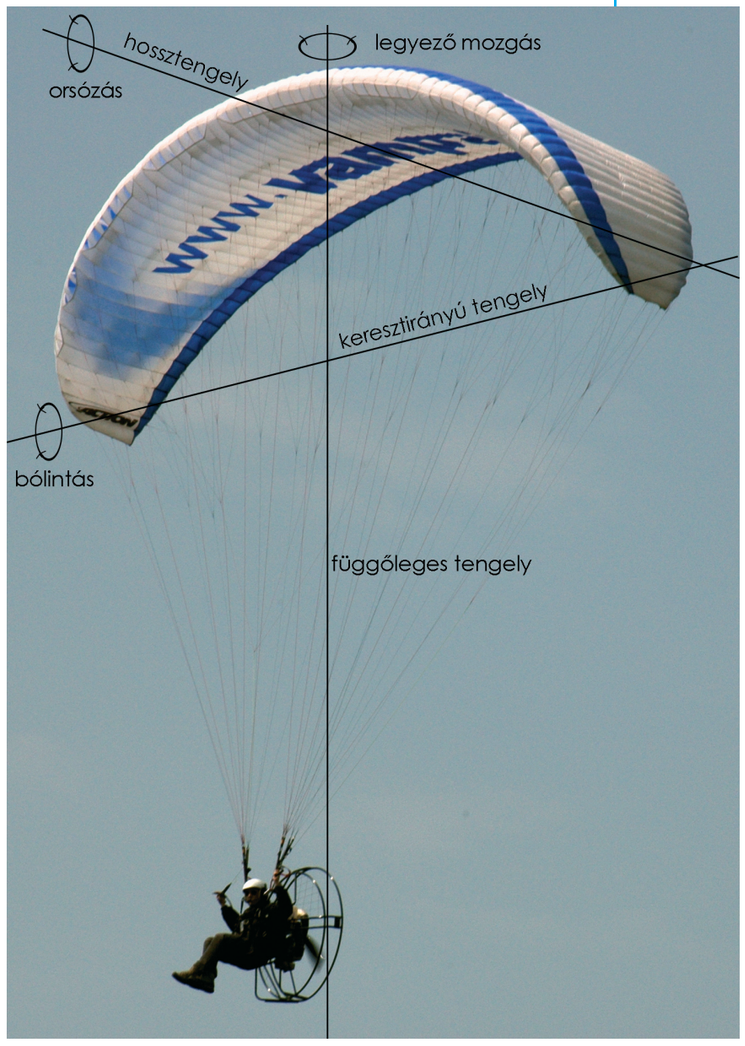
A függőleges tengely mentén történő jobbra vagy balra fordulás irányváltoztatást eredményez.

Kereszttengely

A szárny elfordulása a keresztengely mentén állásszög-változást okoz.

Hossztengely

A hossztengely körül történő forgást orsózó mozgásnak is hívják, a szárny oldalirányú bedöntését hozza létre.



A fizikai összefüggések komplex és roppant érdekes tudományt sejtetnek

12. A FORDULÓ REPÜLÉSI MECHANIKÁJA

Már láttuk a forduló elvét – most nézzük meg a mozgást közelebbről.

Amikor határozottan lehúzzuk a jobb féket:

A jobb kilépőél nagyobb mértékben lesz kitéve a viszonylagos szélnek, ami ellenállást generál. A fékezés következtében a jobb oldal lassul. A továbbra is normál sebességgel repülő bal oldal a fékezett oldalt megelőzi, így a kupola függőleges tengelye körül jobbra fordul.

A fékezés hatására a jobb oldal nyomása nő, sebessége csökken, merülni kezd. A bal oldal megtartja a sebességét, nyomása kisebb. A két szárnyvégen sebességkülönbség jön létre, ez a gyorsabb oldalon több, a lassabb oldalon kevesebb felhajtóerőt eredményez. A bal oldali (gyorsabb) szárny emelkedni, a jobb oldali (lassabb) merülni kezd. Orsózó mozgás indul be. A függőleges tengely körüli forduló és a hossztengely körüli orsózó mozgás így kombinálódik.

A KEZEK EGYMÁSHOZ VISZONYÍTOTT HELYZETE

Maximális emelkedési sebességnél a fékpozíció körülbelül a fékút 1/3-ánál van. A pontos pozíció függ a pilóta testhelyzetétől, a fékek hosszától, a trimmrendszertől, a beülő felfüggesztésétől és a keret kialakításától. Ergonómiai szempontból az az ideális, ha a fékpozíció a vállak és a derék között található

A függőleges és a hossztengely együttes szerepet játszik a jobbra fordulásban. Egyes szituációkban a kupola kissé ellenáll a forduló irányába való orsózásnak. Ez a fordított orsózónyomaték miatt van. Ezt a nyomaték-jelenséget két ok válthatja ki: ha a féket nagyon óvatosan húzzuk, illetve ha a forduló megkezdésekor a sebesség a minimális süllyedési érték körül, vagy kevéssel afölött van (nagyon gyakori).

A jobb oldali fék erőtlen, óvatos meghúzásával megnöveljük a jobb oldali szárny állásszögét, sőt, a szárnyprofil görbülete is növekszik. A nagyobb állásszög és íveltség extra felhajtóerőt termel, az így fékezett oldal emelkedni akar, így a szárny kissé elbillen a hossztengely mentén az ellentétes (bal) oldal felé.

Ez az ellentétes irányú orsózóhajlam egyes típusoknál jelentősebb, másoknál elhanyagolható mértékű – ettől függetlenül egy aerodinamikai jelenség, számolni kell vele. Ne tévesszük össze az ellentétes oldali orsózónyomatékot és a motor forgatónyomatékát!

Alaposan „teszteljük le” a kupolát, és olyat válasszunk, amelyik könnyen fordul, mert a fordított orsózónyomaték-jelenség kevésbé jellemző rá.

HÁROM TENGELY

Az ernyőt két fékkel irányítjuk; ezek különböző hatásai eredményezik a három tengely körüli mozgásokat.

Ellentétes forduló – fordulóváltás

Ha dinamikusan balra akarunk is fordulni, néhány pillanattal a bal forduló megkezdése előtt szimuláljunk jobbforduló-kezdést, azaz cibáljuk meg a jobb féket. A jobb oldalon az állásszög-, illetve a pillanatnyi felhajtóerő-növekedés balra fordítana – és ebben a pillanatban érzékeljük a fékeken, hogy a bal forduló könnyedén elindítható (jobb fék felengedése, bal fék lehúzása). A kupolának nincs ideje „kivédeni” a trükköt: szinte magától fordul balra, anélkül, hogy ellenállást mutatna.

Ez esetben a következő történik:

A jobb fékkel ellentétes oldali (fordított) orsózónyomaték-hatást váltottunk ki. Amikor érezni kezdjük ennek a hatását, húzunk bele a bal oldali fékbe. A bal forduló sokkal ellenállás-mentesebb lesz, és ennek még egy oka van: a jobb oldali látszatforduló a szárny alatt hosszan felfüggesztett testünket balra lendítette ki. Az ingaeffektus viszont húzná vissza nyugalmi helyzetébe (függőleges). Ezt az effektust segíti, illetve lendíti túl a holtponton a bal oldali fékezés. Az ernyőt egyébként stabilizáló pilóta-hátimotor együttest így lehet arra használni, hogy a forduló dinamikusabb legyen. Más szóval: ez a trükk lehetővé teszi a negatív ingahatás késleltetését, illetve átalakítását impulzussá, ami megkönnyíti a fordulóba való bevitelt. Megfelelő sebesség mellett (amit merüléssel vagy gázadással biztosíthatunk), a forduló bedöntése megmarad, és a centrifugális erő lehetővé teszi, hogy a pilóta kilendülve maradjon, vagyis ne billenjen vissza a kupola alá, függőleges helyzetbe.

Az ingastabilitás korlátozza az oszcilláció sebességét, a fenti technikával viszont csökkenthető ez a hatás a forduló megkezdésekor. Az eredmény: gyors és élénk fordulókezdés, határozott bedöntéssel. A legtöbb siklóernyőtípus – a beülő és a keret alacsony bekötési pontjából adódóan – a tömegközéppont-áthelyezéssel történő fordulást is lehetővé teszi (kifejezetten turbulens, durva időben viszont ez a bekötés nem biztosít kellő stabilitást).

A felső bekötésű motoros ernyők sokkal inkább a fékekkel kontrollálhatók; súlyáthelyezéssel nem vagy alig befolyásolhatók.

Az alapvető probléma abból is adódik, hogy egyenes repülésből fordulóba történő bevitelkor le kell győzni a menetirányú inerciát. Ha egyszer már elindult a forduló, minden sokkal könnyebb. Utána már csak az a kérdés, hogy mennyi féket és mennyi bedöntést adagolunk. A fordulóból precízen és hirtelen kivenni: szintén igényel egy kis gyakorlatot. A fent leírt technika kivételnél is hasznosítható.

Ezzel a „trükkös forduló"-technikával azért érdemes csínján bánni, mert ha túlságosan megszokjuk, előbb-utóbb éles, túldöntött fordulóváltás, később meg „wingover" lesz belőle, onnan pedig már csak egy hajszálnyira van az ernyő repülési doméniumának a vége, amit csukással, áteséssel, twisttel és egyéb hajmeresztő figurákkal tud demonstrálni.

HOGYAN LEGYÜNK ÚRRÁ AZ ELLENTÉTES IRÁNYÚ ORSÓZÓ NYOMATÉKON?
Az ellentétes irányú orsózónyomatékhoz egy másik kellemetlen jelenség is kapcsolódik, a siklóernyők ingastabilitása. Mivel a pilóta 7–8 méterrel a kupola alatt függ – mondjuk – jobb forduló megkezdésénél, a jobb fék hatására teste balra tér ki, mert a bal szárnyfél kissé megemelkedik, miközben a szárny jobbra fordul és billen. Amikor a pilóta kimozdul függőleges egyensúlyi helyzetéből, az ekkor fellépő ingahatás visszatérítené eredeti helyzetébe, és hajlamos a fékezéssel beindított kitérés irányának „semlegesítésére" vagy részleges megfordítására, csökkentve a szárny orsózó mozgását.

12.1. Centripetális és centrifugális erő

A fordulónál fellépő centripetális erő segíti a szárny elfordulását a körpálya középpontja felé. Ellentéte a centrifugális erő, amely a fordulóból kifelé húzza a repülőszerkezetet.

12.2. Egyensúlyok

Az eredő légerő függőleges összetevője egyensúlyban van a súlyerővel (tömeg). A súlyerő és a centrifugális erő eredője adja a látszólagos súlyt, ami itt nagyobb, mint egyenes repülésnél.

A túlzott bedőlés és a centripetális erő következményeképpen bekövetkezik a megcsúszás a forduló középpontja felé. Ilyenkor intenzíven süllyedünk. A nem fékezett oldalon az állásszög csökken. A külső oldal fékezésével növelni tudjuk ezt az állásszöget, ezáltal az

aerodinamikai erők növekednek, a csúszás pedig csökken. A felhajtóerő újra egyensúlyba kerül a látszólagos súllyal, a forduló stabilizálódik.

A gravitációs többes a látszólagos súly és a súly közötti, pontosabban a felhajtóerő és a súly közötti arányt fejezi ki. Minél nagyobb a bedöntés, annál nagyobb a látszólagos súly. Ez az érték a G-k számával mérhető. 60 fokos bedőlés például 2 G-t jelent, vagyis teljes súlyunknak a kétszeresét érezzük.

12.4. Az átesés veszélye a fordulóban

Az átesési sebesség a súlynövekedés függvényében változik. Minél nagyobb a bedöntés, annál nagyobb a látszólagos súly, és annál nagyobb az átesési sebesség is. (Gondoljunk a szárny terhelésére.)

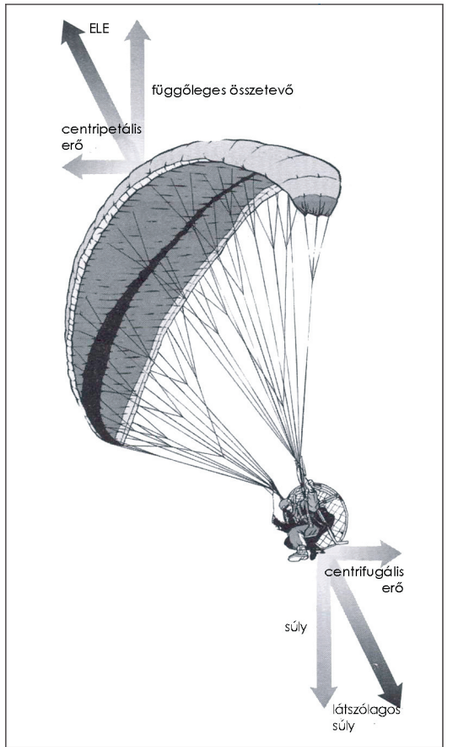
Oldalirányú átsést okozhat, ha a szárny belső felének a sebessége nagyon alacsony, és az állásszög túlságosan nagy. Dugóhúzó, negatív spirál alakulhat ki.

12.5 A nagyobb merülési sebesség kompenzálása

A látszólagos súly növekedésével a merülési sebesség nő. Hogy fordulóban ne merüljünk, illetve hogy a merülés mértéke ne növekedjen, gázadással növeljük a motor tolóerejét. Ennek arányosnak kell lennie a bedöntés mértékével.

13. Az átesés

Az átesés (stall) az a jelenség, amikor a szárny sebessége olyan értékre csökken, melyen már nem termelődik felhajtóerő; a szárny – mivel levált róla az áramlás – már nem képes repülni (úgy is mondhatjuk, hogy megszűnik a normál repülési helyzet), és folyamatosan veszíti magasságát.



FORDULÓBAN FELLÉPŐ ERŐK
Fordulóban az összes aerodinamikai erő növekszik A centrifugális erő hatására nő a látszólagos súly, miközben – a nagyobb súlyerőt kompenzálandó – nő az eredő légerő is. Ennek megfelelően a felhajtóerő és az ellenállás egyaránt nő, de az eredő szerint a felhajtóerő összességében csökken. Az eredmény: nagyobb merülés. Ha tehát fordulóban tartani szeretnénk a repülési szintet, növeljük a tolóerőt, azaz adjunk több gázt.

A legtöbb repülőszerkezet esetében a kiképzés részét alkotja az átesés gyakorlása. A siklóernyőzés kivétel. Ennek oka az ernyő puha szerkezetében keresendő; ez adott esetben a szárny deformációját jelenti. Ilyen – kisebb-nagyobb mértékű – deformáció jelentkezik az átesés kezdetén is, de még jelentősebb torzulás következhet be a normális repüléshez való visszatérés pillanatában. Tény, hogy néha nagyon is kritikus a normál repülési helyzetbe történő visszatérés, mivel átesés során kiszámíthatatlan folyamatok zajlanak le (erős merülés belépőél-aláhajlással, aszimmetrikus reakciók stb.).

Bár az átesés nem maga az ördög, tartózkodjunk tőle. Repüljünk nyugodt vagy csaknem nyugodt időben, közel a legjobb siklószámhoz tartozó sebességgel. A siklóernyő más repülőszerkezetekkel ellentétben „magától" képtelen átesni, csak nagyon brutális fékezés válthatja ki, vagy nagyon turbulens időben történő repülés, amikor egy erős széllökés hatására a szárny túlságosan nagy állásszögre billen.

A SZŰK FORDULÓ VESZÉLYE

Ügyeljünk a változatlan sebességgel végrehajtott, szűk fordulókra! Könnyen utolérhetjük az általunk keltett örvényeket, és váratlanul a saját turbulenciánkba ütközhetünk, ami instabillá teszi az ernyőt.

Az átesés nem közvetlenül a repülési sebességtől függ, hanem az állásszögtől, de – belső összefüggéseik miatt – ezek egyaránt fontos tényezők. Valójában a fékek meghúzásával az állásszöget növelve csökkentjük a sebességet.

Erős szeles, turbulens időben teljesen felengedett fékekkel is előfordulhat teljes átesési helyzet.

13.1. Az átesési helyzetről

A repülési sebesség csökken, az állásszög nő – így az aerodinamikai erők is nőnek. Az átesési helyzet abban a pillanatban áll elő, amikor az áramlás elkezd leválni a felső szárnyfelületről, és a megszűnt felhajtóerő mellett drasztikusan nő a homlokellenállás.

RUGALMASSÁG ÉS AZ ALAKVESZTÉS KÉPESSÉGE

A siklóernyő – szerkezeténél fogva – levegővel van tele. Ahogy a startnál feltöltődik, úgy képes repülés közben kiengedni a levegőt – például ha összeomlik turbulencia vagy átesés következtében.

13.2. Az átesés okai

Az átesés bekövetkezhet:

– fordulóban: a szokásos állásszög esetén magasabb sebességnél

– túl sok fék hatására

– szélgradiens esetén földet érés előtt

– turbulenciában, ha széllökés hirtelen megnöveli az állásszöget

– termikus időjárási körülmények között emelésbe belépve, emelésből kilépve (ami a széllökés egyik fajtája), hirtelen állásszög-változás miatt.

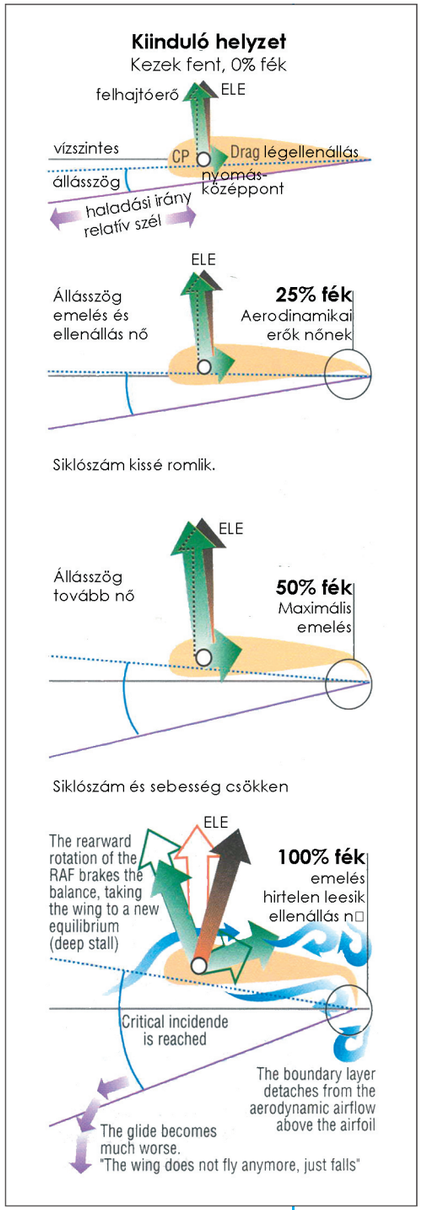
Az átesés két fajtája

Statikus átesés a fékek lehúzott állapotban vannak egészen az átesési sebesség eléréséig.

Dinamikus átesés a fékek hirtelen, „éles" lehúzásánál, hirtelen emelkedés magas pontján; ez esetben az átesés hirtelen következik be és hevesebb lefolyású.

A FELHAJTÓERŐ ELVESZTÉSE

A felhajtóerőt akkor veszítjük el, ha nagy állásszögnél vagy kis sebességnél fékezünk. Fel kell készülni rá, hogy a visszatérés a „normális" repüléshez lehet igen hirtelen, „megrázó élmény".



Állj be közénk!

- speciálisan kialakított Solo 210 motor
- 112 vagy 124 cm-es légcsavar
- 12 LE 6000 ford./percnél
- 48–54 kg tolóerő
- Power Ignition gyújtás
- levegőben újraindítható
- választható alsó vagy felső ernyőbekötés
- 2 vagy 4 részre szerelhető keret
- sériatartozék motoros beülő
- 18 kg üres súly

1990 eurótól

PARAPOWER

Az angyalok járgánya

vampair

www.vamp-air.hu, mail@vamp-air.hu, telefon: +36 30 9 322 937

Mátra Extrém Sportrepülő Klub

- Tandemrepülés motoros siklóernyővel
- Siklóernyő oktatás
- Motoros siklóernyős pilóták képzése

Mi megtanítunk repülni

- Bemutatórepülés, virágszórás
- Transzparensvontatás

Különleges programok, rendezvények, alkalmak esetén.

- Felszerelések és kiegészítők forgalmazása:

Parapower, Fresh Breeze és Black Bone motorok, valamint Dudek és ITV ernyők

VEXTON Kft.

- Sport- és szabadidő-szervezés
- Extrém programok
- Légi fotózás

Farkas Tibor
+36/70-389-6572
E-mail: info@vexton.hu

A valódi élményeken túl... VEXTON!