

Aerodynamika a mechanika letu - 4. díl

V tomto díle pokračuje rozbor aerodynamických vlastností - vliv úhlu nájevu na součinitel odporu. V závěru tohoto dílu je uveden pář-klad praktického použití součinitele odporu.

Vliv úhlu nájevu na součinitel odporu

Profilované tělesa vykazují minimální součinitel odporu jen při obtěžení - z určitého, pro každé těleso pář-esně daného směru. Jakmile se směr proudění - změně, součinitel odporu se začne zvyšovat. Z toho důvodu se hodnoty součinitele odporu (i dalších součinitelů) vždy vztahují ke konkrétnímu úhlu nájevu, což je úhel, který sváří podél pář-mka mezi nájevnou a odtokovou hranou profilu (tzv. tětíva) ke směru nabíhajícího proudu vzduchu.

Profilované tělesa souměrně podťtívy budou mít zcela logicky nejní pář- součinitel odporu pář-esně ve směru tětívy, tj. pář-nulovém úhlu nájevu. Na obrázku je zobrazen souměrně laminární profil (např. pro ocasní plochy letadel).

Pokud se podťtíva osa od směru obtěžení - jedněm nebo druhěm směrem vychýlí, tj. zvýtí - se úhel nájevu, součinitel odporu se začne zvyšovat nejprve těm pář-neznatelně (vlivem posunování bodu pář-echodu mezi laminárně a turbulentně prouděním - viz obrázek), později se zvyšují - cěm se úhlem nájevu až do hodnoty tzv. kritického úhlu nájevu v jednotkách procent.

Přímý přímý ekroen - kritický hlu nabíhu, u souměrných profilů přímý hlu nabíhu cca 7° až 12° (záleží na tloušťce profilu a na jeho tvarování - přímédevám v oblasti nabíhání hrany), se proudění vzduchu na sací (zde horní) straně tělesa začne od odtokové hrany odtrhávat, což se projevuje zpětným pohybem vzduchu v mezní vrstvě v povrchu profilu. Přímý dalám zvětvování hlu nabíhu zpětně proudění postupuje směrem k nabíhání hrany až do úplného odtržení. Obecně: u tenkých profilů (ať souměrných nebo nesouměrných) s nevhodně tvarovanou nabíhací hranou dojde zpravidla téměř okamžitě prudkému odtržení podél celého profilu (ve skydivingu se má tento jev vyskytovat u některých vrchlákových z nepropustných tkanin), u tlustších profilů - in - zpravidla rozdíl mezi počátkem odtržení a úplným odtržením závisí na velikosti hlohových stupňů (platí - přímédevám pro přímou - a jakoln - vrchláky). Obecně je pravděpodobnějším jevem zvětvování hlu nabíhu za tělesem a prudké nabížení součinitele odporu.

Po úplném odtržení - proudění odpovídajícímu přímému vrchláku je již součinitel odporu v přímědu odpovídajícímu neprofilovanému tělesu (cca 0,3 a více).

Bude-li proud vzduchu nabíhat kolmo na podélnou osu tělesa, bude těleso vykazovat prakticky shodný součinitel odporu jako desková tělesa.

Nesouměrné profily pro káždě-dla

zpravidla vykazují nejníže součinitel odporu pTM jiným než nulovým úhlu náběhu. Je snaha, aby profil konkrétního letadla vykazoval nejníže součinitel odporu pTM takovým letovým režimem, pro který je dané letadlo primárně určeno. U motorových letounů je to pTM cestovní rychlosti, která zpravidla odpovídá názkřmu součiniteli vztlaku

(pTM Cl

cca 0,3) - viz profil na obrázku. U vrchlíků pro narychlený pTMistíně odpovídá hlavní pracovní oblast také relativně nízkým součinitelům vztlaku (cca 0,4 až 0,6) - je to proto, aby tyto vrchlíky "žily"

rychlost jak v pTMechodovém oblouku, tak po velké výšce vodorovného letu ve výšce - viz příloha PTMistíně na sportovní padáku - 2. díl. PTM o něco vyšších součinitelů vztlaku pracují profily většiny vrchlíků pro skydiving, aťkoliv u nich často nepatří kritérium názkřho součinitele odporu k prioritám (pTMedevě-m u jakolich a pTMesnostních vrchlíků). Většinou ukončují profily určené pro letadla s vysokou klouzavostí (výtrůň a vrchlíky pro paragliding), která musí vykazovat názkř součinitele odporu pTMedevě-m pTM vysokých součinitelů vztlaku (pTM Cl cca 0,7 až 0,9).

Situace pTM dotrhně u profilu

nesouměrného je stejná jako u profilu souměrného, pouze s tím rozdílem, že k odtrhně za ná; pTM v rozdílné výšce-m úhlu náběhu.

PTM zřporným úhlu náběhu u

nesouměrných profilů zpravidla dojde k odtrženě proudy vzduchu již pTM malým úhlu náběhu.

Záporný hel je samozřejmě v praxi možný jen u tuhých káblů letadel a také u polotuhých káblů z tvárných kluzáků (rogal) a koliv i zde je záporný hel nejdouc. U měkkých káblů del vrchláků pro skydiving a paragliding pochopitelně záporný hel nijak hu znamenají "žlet" za hranic letových oběky a kolaps vrchláku s možnými katastrofickými následky, minimálně hrozí zaklapnutí nebo hrany.

Poznámka na závěr této kapitoly: Informace o profilech dodnes používaných pářích nřivru letadel a/nebo modelů letadel se dají celkem bez obtřívání získat v odborné literatuř i na webu. U profilů používaných pro vrchláky pro skydiving a paragliding je bohužel situace poněkud složitější, data jsou většinou pářím edmětem nezveřejňovaného know-how jednotlivých výrobců. Z čeho dále je potřeba konkrétně hodnoty souřinitelů vztahující se k vrchlákům pro skydiving a paragliding brát s určitou rezervou, nicméně obecně závislosti zde uváděné, platné jsou. Navíc u měkkých vrchláků hrají podstatnější roli pářím v břru profilu poněkud jiná kritéria než u tuhých nosných ploch (káblů del). Jde např. o naprosto zářadavky na zachování letuschopného tvaru vrchláku pářím v jech letových režimech včetně narychlení a pářím přetu turbulencí, na které má zvolený profil vřzná vliv. Navíc vlastnosti vrchláku jsou vřzná ovlivněny použitým materiálem, potem a tvarem komor apod.

3.1.2 SOUŘINITELE INDUKOVANÉHO ODPORU

Indukovaný odpor vzniká pouze na tělesech vykazujících vřtlak v řsledku trojrozměrného obtřívání (v našem pářím padá vzniká vřřradně na vrchláku). Jelikož hodnota souřinitele indukovaného odporu řzce souvisí s hodnotou souřinitele vřtlaku, bude o tomto souřiniteli pojednáno v kapitole o souřiniteli vřtlaku v řřterém z dalších pokřovně.

3.1.3 PRAKTICKÉ POUŽITÍ SOUŘINITELE TVAROVÉHO ODPORU

Praktický užití tvarového součinitele odporu si ukážeme na praktickém postupu při ověření vlastností konkrétního vztažného padáku z polopropustné tkaniny. Celý postup sestává ze dvou částí:

a)
z vztažného při předpokládané odporové síle Dp na základě předpokládaného součinitele odporu c_d při předpokládané síle Dp .

b)
následného zkušního skutečného součinitele odporu c_d skut. praktickou zkouškou měřením tahové síle padáku.

Část A - předvedení vztažného

Předpokládáme, že vztažný padáček má při velmi vysokém součiniteli odporu $c_d = 1,3$. Je však třeba zahrnout vliv polopropustné tkaniny, takže ne zcela ideální tvar padáku a zároveň musíme zohlednit vliv šířky na spodní straně padáku, která způsobí, že část nabíhacího proudu vzduchu padáček obteče. Z čehož vyplývá předpokládaný součinitel odporu o něco snížený na c_d při předpokládané síle $Dp = 1,0$.

Jako vztažná plocha S se uvažuje přibližně plocha padáku při nafouknutí, která bude dle zkušeností o cca 30% menší než plocha rozvinutá, násobíme tedy ve vztažném rozvinutou plochu koeficientem 0,7.

Příklad 2:

Jak velkou tahovou sílu předpokládáme u vztažného padáku o rozvinutém průměru 70cm při rychlosti pádu 200km/h ve vztažné výšce 2000m.n.m (v tzv. mezinárodním standardním atmosférickém MSA uvažovaném v letectví) při uvažovaném součiniteli odporu c_d při předpokládané síle $Dp = 1,0$?

Průměr rozvinutí d 0,7m

Rychlost proudu vzduchu v
200km/h = 55,55m/s

Objemová hmotnost vzduchu ρ (MSA)..... 1,001kg/m³

Součinitel odporu c_d pTMedp.
..... 1,0

Dynamický tlak:
 $q = \frac{1}{2} \rho v^2$
 $= \frac{1}{2} * 1,001 * 55,55^2 = 1544\text{Pa}$
 (3)

Plocha vztažení:
 $S =$
 $0,7 * \pi d^2 / 4 = 0,27\text{m}^2$

Odporová síla:
 $Dp^{\text{TM}}\text{edp.}$
 $= c_d p^{\text{TM}}\text{edp.} * q * S$
 $=$
 $1,0 * 1544 * 0,27 = 417\text{N}$
 (5)

Závěr: Vážení sá-la odpovídá sá-le odporová, avšak změněn o t-hu padáku (cca 2N), kterou t-mto pádpokládáme o velikosti cca 415N (pro lepad-pádpstavu: t-leso o t-ze 415N má hmotnost cca 42kg).

Část B - měření tahová sá-ly padáku

Pádpchozí- vážpoet je možná ověřit praktickou zkouškou seskokem z letadla 2) .

Zkoušku lze provést napá.

s pomocí

padákové soupravy pro

seskoky na stabilizaci volného pádu. Spojovací- lemovku vybavíme siloměrem

se záznamová za pá-zenám a parašutistu pápá- strojem obsahujícím vážkomár a rychlomár se záznamová za pá-zenám (pádpokládejme, že taková za pá-zenám- existují).

Parašutista provede standardní- seskok na stabilizaci napá. ze 4000m (vážení/stabilizační- pápek je vytažen lanem za letadlem) a pápk otevře v vážice napá. 1200m nad zemí.

Po provedení- seskoku (pá- pá)

nákolika skoků pro záskápná- páesnájích vážsledků se ze záznamových za pá-zenám- odečtou hodnoty rychlosti pádu a tahová sá-ly padáku ve vážice 2000m.n.m.

(páepoátan na podmínky standardní- atmosféry). Vážsledné hodnoty se zprá-rují.

Pádpokládejme, že byly naměřeny tyto zprá-řované hodnoty:

-
rychlost $v = 167 \text{ km/h} = 46,39 \text{ m/s}$

-
tahová síla
317N

-
hustota vzduchu ve výšce 2000m.n.m. $1,001 \text{ kg/m}^3$

Příklad 3

Kolik skutečně součinitel odporu c_d skutkového padáku dle naměřených hodnot?

Dynamický tlak z naměřené rychlosti:
 $q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} * 1,001 * 46,39^2 = 1077 \text{ Pa}$
 (3)

Plocha vztažená (z Příkladu 2):
 S
 $=$
 $0,7 * \sqrt{2} / 4 = 0,27 \text{ m}^2$

Odporová síla:

$$D = \text{tahová síla} + \text{těžha padáčku} = 317$$

$$+ 2 = 319\text{N}$$

Součinitel

$$\text{odporu skutečně: } cd \text{ skut} = D/(qS) = 319/(1077 \cdot 0,27) = 1,097 \hat{=} 1,1 \text{ (5 upraveně)}$$

Závěr: Skutečná hodnota součinitele odporu je téměř přesně 1,1

1) To je například

situace, která nastává bezprostředně po otevření padáčku k dlu, než se dostane zbrzdě rychlost volného pádu nebo situace, která by nastala po dlouho trvajícím vrchlení.

2) Upozornění:

v praxi neprovádět, jde pouze o modelový případ, pro podobný zkoušky je mj. potřeba získat příslušný povolení dle příslušných zákonných norem a předpisů!

Pokračování - pokračování

Ivan Kraus krausivan@yahoo.com

Další články autora:

Aerodynamika a Mechanika letu - MANTA nebo BOX?

Aerodynamika a Mechanika letu - Trekování

Aerodynamika a Mechanika letu - 7. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 6. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 5. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 3. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 2. díl

Aerodynamika a Mechanika letu - 1. díl

Přítelna na sportovní padělku - 2. díl

Přítelna na sportovní padělku - 1. díl