

Fyzikální jednotky v letectví

Karel Kolář

Prometheus, spol. s r. o.

Abstrakt

Mohli bychom čekat, že letectví (v EU či alespoň u nás) bude v dnešní době používat výhradně jednotky SI. Není tomu tak. Ve zkratce se podíváme na to, jaké jednotky se používají v letectví a pro jaké účely. Stručně zmíníme i takové zajímavosti, že velice důležité při letu je správně měření tlaku a že za určování výšky, rozstupů a rychlosti letadel je i dost fyziky.

Motivace

Jde o propojení obvykle ne-moc záživného tématu „jednotky“ s atraktivním technickým oborem. Zejména téma jednotek mimo SI může působit často zastarale. Přesto právě letectví je příkladem oblasti, kde se stále používají a v brzké době ani nepřestanou.

Důležité pojmy jsou uvedeny i v angličtině pro případné snadnější vyhledání dalších článků na internetu zabývajících se těmito tématy.

Předpisy o jednotkách

Mezinárodně jsou jednotky používané v letectví určeny předpisy ICAO (International Civil Aviation Organization = Mezinárodní organizace pro civilní letectví; přidružená k OSN). Hlavním předpisem je „*ICAO Annex 5 – Units of Measurement*“, který je celý věnován jednotkám¹. Jednotky se pak objevují i v mnoha dalších předpisech.

V českém vzdušném prostoru se z těchto předpisů vychází. K tomu se přidávají evropské předpisy (nařízení, směrnice atd.) a naše národní/lokální úpravy. Národní předpis, který se týká jednotek a je de facto rozšířením výše zmíněného mezinárodního, je „*Letecký předpis L 5 – Předpis pro používání měřících jednotek v letovém a pozemním provozu*“ [1]. Ten je volně stažitelný a kdokoliv, kdo má zájem, si ho může prostudovat. Ostatně, na nadřazené stránce [2] naleznete i další předpisy.

Zajímavostí je, že letecké právo a potažmo i jednotky, vychází původně z námořního/ch.

Jaké jednotky se používají?

Byť je tento příspěvek „reklamou na ne-SI jednotky“, musíme si přiznat, že se vychází z SI systému, co se týče většiny jednotek. V leteckých předpisech jsou uvedeny i takové jednotky jako joule, watt, siemens, pascal, kandela, sievert, weber či gray.

Mimo SI se využívají zejména následující jednotky, které jsou používány často:

- Námořní míle (nautical mile) – NM
- Uzel (knot) – kt

¹ Publikace vydané ICAO jsou placené, a proto zde není uveden odkaz k jeho stažení.

- Mach (mach number) – M
- Stopa (foot) – ft
- Letová hladina (flight level) – FL
- Stopa za minutu – ft/min

Poznamenejme rovnou, že jedním z argumentů, proč zavádět další jednotky pro vzdálenost, která by vždy mohla být v metrech, je bezpečnost. Při komunikaci mezi letadly a řídicím letového provozu nastává méně nedorozumění, která by mohla být jinak fatální.

Podívejme se na to, jakým způsobem jsou jednotky používány.

Čas

V komunikaci mezi řídicími letového provozu a piloty se používá výhradně UTC (universal time coordinated = koodinovaný světový čas) ve 24hodinovém formátu. Jde o čas, který odpovídá nultému poledníku. Čas se zapisuje ve formátu HHMM (např. 1428) bez dvojtečky. Dle frazeologie² se časový údaj čte jako jednotlivá čísla (např. „jedna čtyry dva osum“). Pokud se komunikuje pouze informace o času během další hodiny, resp. v případě, že nemůže dojít ke zmatení, čtou se pouze minuty (tedy „dva osum“).

S přesností na sekundy se při komunikaci v letectví neoperuje. Pouze pokud jsou rozstupy dány časově, např. při startu letadel z letiště, pak smí řídicí vydat pokyn dalšímu letadlu pouze pokud uplyne přesně daný čas na sekundu či později.

Pozor ale na to, co máte na letence! Tam máte uveden místní čas, a to se zohledněním letního či zimního času. Takže při létání si dávejte pozor na to, abyste věděli, o jakém čase se mluví, aby vám letadlo neuletělo.

Tlak

Tlak se měří ve většině světa klasicky v hektopascalech (hPa).

Pro výpočty určování výšky letadla, a tedy i bezpečnosti vůči dostatečné výšce nad terénem a zachování rozstupů, se využívá měření statického tlaku a model standardní atmosféry ICAO. Ten bude důležitý i dále. Prozatím si zapamatujme, že u povrchu moře má tlak 1 013,25 hPa. V rámci frazeologie se tato hodnota nazývá zkratkou QNE.

Další hodnotou tlaku, která využívá zkratku, je QNH, která je kritickou hodnotou nutnou pro bezpečné přiblížení k letišti a přistání. Proč? Jde o tlak na letišti přepočtený na hladinu moře. Ten vysílá ATIS, resp. o něm informuje řídicí letového provozu piloty. Ti si pak nastaví na výškoměru aktuální hodnotu tlaku a podle toho jejich letadlo určí s dostatečnou přesností vzhledem k aktuálnímu počasí výšku nad hladinou moře (altitude). Pokud se QNH změní, pak o tom řídicí piloty informuje.

QNH se vyhláší také pro oblasti, aby měly letadla správnou informaci o jejich výšce, pokud letí v nižších výškách. Tím pádem vědí, jak jsou vysoko a létají se správných smluvených výškách pro zajištění výškových rozstupů. Pokud by totiž měl pilot nastavený tlak např. o 10 hPa vyšší, pak si bude dle přístrojů myslet, že je zhruba o 80 metrů výše.

² Frazeologie je dané primárně předpisem k ní [3] a dalšími zmínkami v dalších předpisech. Jde o popis toho, jaká slova mají řídicí a piloti říkat, aby byla komunikace sjednocena i do stylu či pořadí informací, které jsou komunikovány.

Pokud by v mlze věřil přístrojům a myslel, že letí 100 metrů nad zemí, tak by letěl pouhých 20 metrů.

Co se nepoužívá moc často, je QFE – tlak na letišti – měřený buď na vztažném bodu letiště nebo na prahu dráhy v užívání. Tento tlak není korigovaný na hladinu moře a pokud si jej pilot nastaví na výškoměr, pak vidí aktuální výšku nad terénem (height). Když dosedne na dráhu měl by vidět 0 m (plus mínus pár metrů).

Měření dynamického tlaku se využívá také pro určování rychlosti letadla. Měření tlaku je tedy pro letectví nezbytné.

Rozstupy (separation minima)³

Mezi každými dvěma letadly, která jsou řízená prostřednictvím služby řízení letového provozu, musí řídicí zajistit, aby byl zachován alespoň jeden rozstup

- horizontální – zajišťovaný radarovým sledováním, či
- vertikální – zajišťovaný povolením letadel do určených výšek, které udržují prostřednictvím svého výškoměru, tedy měřením tlaku.

Při přistávání se zajišťují navíc rozstupy podle maximální vzletové hmotnosti letadla, aby se zajistila bezpečnost kvůli možné turbulenci v úplavu (wake turbulence).

Rozstupy mohou být zabezpečené i nařízenou rychlostí stoupání či klesání.

Horizontální rozstupy Zpravidla je minimální vzdálenost, kterou musí mezi sebou letadla ve stejné letové výšce/hladině udržovat, 5 NM, tedy 9,26 km. Výjimky mohou být v blízkosti letiště v určitých případech přiblížení apod. Pak může být minimum rozstupu sníženo na 2,5 NM.

Vertikální rozstupy Výšky letadel se udávají po vzletu nejdříve ve stopách (1 ft = 0,304 8 m) nadmořské výšky. Když letadlo pokračuje ve stoupání, pak se dostane do převodní výšky. To je nejvyšší používaná nadmořská výška, která bývá v prostoru fixně dána a je dostatečně vysoko nad překážkami (horami). V České republice je převodní výška 5 000 ft. Pak letadlo pokračuje ve stoupání na nejnižší letovou hladinu, tzv. převodní hladinu, která je dána aktuálním tlakem vzduchu v oblasti, aby byla vždy vzdálenost mezi převodní výškou a hladinou 1 000 ft (a nižší než 2 000 ft). Ve větších výškách, než převodní hladiny se používají výhradně letové hladiny.

Letové hladiny (flight level, FL) jsou v zásadě stovky stop. Platí FL 100 = 10 000 ft. Rozdíl mezi oběma způsoby určení výšky je v tom, že nadmořskou výšku určujeme výškoměrem nastaveným na QNH a letovou hladinu při nastavení na QNE.

Rozstupy mezi letadly pak musí být alespoň 1 000 ft. S tím, že letadla, která jsou řízená službou ŘLP, se pohybují pouze v celých tisícovkách stop, resp. v desítkách FL, tedy např. FL 210.

Ve vyšších výškách se pak vyžadují větší rozstupy. V našem vzdušném prostoru, kde se uplatňuje tzv. RVSM (reduced vertical separation minima), jsou pro běžné lety potřeba až nad FL 410. Proto se vůbec nepoužívá FL 420, ale až FL 430.

³ V češtině se při hovoru častěji používá slovo „rozestupy“, ale v letectví se využívá striktně „rozstupy“.

Turbulence v úplavu Podle maximální vzletové hmotnosti jsou letadla zařazena do různých kategorií. Protože větší letadla za sebou vytvářejí větší víry, která jsou pro menší letadla nebezpečná, pak se pro přistání letadel dodržují zvýšené horizontální vzdálenosti mezi dvěma za sebou přistávajícími letadly, pokud je první letadlo hmotnější a druhé lehčí. Vzdálenosti jsou určeny také v NM.

Rychlosti

Horizontální rychlost se určuje ve výškách nižších než FL 250 v uzlech (knot, kt). Platí, že uzel je námořní míle za hodinu. Platí $1 \text{ kt} = 1,852 \text{ km/h}$. Pokud jde o rychlost, kterou měří letadlo přes tlak, jde o indikovanou vzdušnou rychlost (indicated airspeed, IAS)⁴. Řídící může nařídit úpravu rychlosti letadla, pokud je toho letadlo schopné, právě prostřednictvím indikované rychlosti.

Pro řídicího se ovšem komplikuje situace tím, že na radaru vidí traťovou rychlost (groundspeed). Ta je dána kombinací snosu větru a pravé vzdušné rychlosti (true airspeed, TAS). S rostoucí výškou při konstantní TAS, klesá IAS. To je dáno tím, že klesá hustota vzduchu s výškou a rychloměry na to (historicky) nemají korekci. Přibližně je TAS o 2 % vyšší než IAS za každých 1000 stop nad zemí. Tedy při 240 kt IAS ve FL 120 se dá čekat, že bude TAS zhruba 300 kt.

Nad FL 250 se letadla řídí prostřednictvím Machova čísla. Tedy rychlosti udávané jako poměru rychlosti letadla vůči rychlosti zvuku ve vzduchu v dané výšce. Zhruba se dá říct, že platí $M 0.01 = 6 \text{ kt} = 11 \text{ km/h}$. Tento převod je ovšem přibližný i z toho důvodu, že s rostoucí výškou (do 11 km nad zemí) klesá teplota. Rychlost zvuku ve vzduchu je daná teplotou. S rostoucí výškou při fixním Machově čísle tedy rychlost letadla klesá.

Vertikální rychlost se udává ve stopách za minutu. Platí $1 \text{ 000 ft/min} = 304,8 \text{ m/min}$.

Odlíšnosti v zahraničí

Bohužel, přes určitou snahu používané jednotky sjednotit, se v různých částech světa objevují i jiné jednotky. Příkladem může být, že:

- Američané (USA) používají pro určování tlaku palce rtuťového sloupce (inHg). Místo základní hodnoty QNE 1013,25 hPa pak používají 29.92 inHg. V komunikaci se označuje jako A2992. Nemělo by dojít k záměně, pokud řídicí není líný přečíst první číslici 2 a pilot ji uslyší. Jinak je zde ovšem riziko spletení např. 998 hPa s hodnotou $29.98 \text{ inHg} = 1015 \text{ hPa}$.
- Některé státy používají jednotky SI pro určování výšky (metry) a vzdáleností (kilometry) – např. Rusko či Čína. Na hranicích prostorů, které používají různé jednotky pro určování výšky, pak musí letadla v letu mírně změnit výšku, aby letěla ve správné letové výšce/hladině.

Poznámky na závěr

Zdaleka jsme nezmínili všechna využití jednotek v běžném provozu. Například u dohlednosti se využívají standardně metry. Bez radarové služby se rozstupy určují jinými

⁴ Jde o přístrojovou rychlost, která je korigována pouze na chybu přístroje.

způsoby. Dalo by se dál diskutovat, co znamená, když nastavíme výškoměr špatně, jak se změni situace při vysokém tlaku či při nízkém tlaku. Rozdíly jsou mezi tím, jestli letadlo letí „na přístroje“ (IFR) či „za vidu“ (VFR) a v prostoru jaké třídy se pohybuje.

Snad bylo dostatečně dobře ukázáno, že letectví závisí silně na měření tlaku. Je to jednou ukázkou z toho, jak je letectví do značné míry konzervativní. Takových příkladů by se dalo najít více – např. dlouhou dobu trvalo, než se začala uznávat GPS navigace pro civilní lety jako rozumně přesná, či stále se využívá amplitudová modulace rádia bez šifrování. Nicméně často tyto zavedené postupy znamenají dostatečně vysokou bezpečnost. Naopak by se mohlo stát, že zbrklým zavedením nějaké technologie v pouhé části světa by mohlo docházet k nehodám kvůli nekompatibilitě systémů či chybám způsobenými změněnými postupy.

Bylo těžké vybrat zajímavosti, které by se mohly učiteli hodit a zestručnit je do krátkého příspěvku. I samotní řidiči věnují základním předpisům, fyzikálním zákonitostem a postupům několik měsíců svého výcviku.

Literatura

- [1] Ministerstvo dopravy/Úřad pro civilní letectví: *Letecký předpis L 5 – Předpis pro používání měřících jednotek v letovém a pozemním provozu*. [cit. 28. 8. 2020]
Dostupné online: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-5/data/print/L-5_cely.pdf
- [2] Ministerstvo dopravy/Úřad pro civilní letectví: *Předpisy*. [cit. 28. 8. 2020] Dostupné online: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [3] Ministerstvo dopravy/Úřad pro civilní letectví: *Letecký předpis – L frazeologie – Radiotelefonní postupy a letecká frazeologie a terminologie pro poskytování letových provozních služeb a provádění letů*. [cit. 28. 8. 2020] Dostupné online: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-Frazeologie/data/print/Frazeologie_cely.pdf