

METEOROLOGICKÉ ZABEZPEČENÍ LETU HORKOVZDUŠNÝCH BALONŮ

Roman Voženílek, Český hydrometeorologický ústav, Odbor letecké meteorologie, letecká meteorologická služebna Mošnov, vozenilek@chmi.cz

Meteorological Flight Security of hot-air balloons. The hot-air balloons security brings its own specifications. They are given by meteorological conditions required by the balloons manufacturer and also by air regulations. Moreover the whole flight is performed in the atmospheric boundary layer. This article gives a proposal of possible exploitable resources – how to create forecasts for balloon flying.

KLÍČOVÁ SLOVA: parametry balonů stanovené výrobcem – zabezpečení meteorologické – balony horkovzdušné – létání balonové – předpisy letecké – viditelnost země

KEY WORDS: parameters specified by the manufacturer of balloons – meteorological support – hot-air balloons – balloon flying – air regulations – visibility of the country

1. ÚVOD

Balonové létání má svou historii. Jako první se o balonech zmiňuje již řecký historik a zeměpisec Strabón v díle Geografika. Na přelomu 13. a 14. století vypouštěli teplovzdušné balony staří Číňané. Mezi první průkopníky horkovzdušného létání patří bratři Joseph a Étienne Montgolfierové. Ti provedli první veřejný vzlet balonu naplněného horkým vzduchem ve městě Annonay (Francie) 4. června 1783. Balon dosáhl výšky 1 000 m a po téměř 10 minutách přistál. V Praze se první let uskutečnil v říjnu 1790. Balon tehdy přivezl Jean – Pierre Blanchard a spolu s hrabětem Jáchymem ze Šternberka odstartovali ze Stromovky. Toho můžeme považovat za prvního českého vzduchoplavce, i když balon neřídil [1].

V posledních několika letech se výrazně zvýšil počet letů horkovzdušných balonů. S ním se samozřejmě zvýšil i požá-

davek na meteorologické zabezpečení. Na obloze se objevují balony různých velikostí a tvarů, každý typ má své specifické letové vlastnosti. V České republice převládají typy balonů od třetího největšího výrobce na světě, firmy Balony Kubíček, s. r. o. (obr. 1).

Rozdíly vlastností jednotlivých balonů nejsou nikde oficiálně popsány. Zaměříme se pouze na balony normálního tvaru (obrácená kapka), protože pro balony zvláštních tvarů (katedrály, krychle atd.) (obr. 2) se limity stanovují individuálně a vždy jsou přísnější (tzn. výrazně omezující).

2. PARAMETRY BALONŮ UVÁDĚNÉ VÝROBCEM

Maximální rychlosti stoupání a klesání pro balony Kubíček jsou stanoveny na $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pro stoupání a $6,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr. 1 Balonová fiesta. Foto P. Kouba.

Fig. 1. Balloon fiesta. Photo P. Kouba.

pro klesání. Z tohoto údaje je zřejmé, že vzlétnutí do stoupavého proudu o rychlosti vyšší než $6,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vede ke ztrátě kontroly nad balonem, protože pilot nemá možnost opustit stoupavý proud.

Přistání jako nejkritičtější fázi letu ovlivňují tři parametry balonu:

- objem a tím velikost plochy obalu. Velká plocha znamená, že na balon působí velká síla větru. Plocha obalu balonu se projevuje v podstatě podobně jako plachta u lodi.
- celková hmotnost balonu. Čím je koš těžší, tím je balon stabilnější, překlopení koše je méně pravděpodobné a balon se rychleji zastavuje.
- rychlost vypuštění vzduchu z obalu. Je to rozhodující parametr, protože čím rychleji se vypustí teplý „nosný“ vzduch z obalu, tím dříve se balon zastaví.

Malé balony (do objemu $3\,000 \text{ m}^3$) s normálním zařízením pro vypouštění vzduchu (ZVV) přistanou bez překlopení koše a dlouhého vlečení do rychlosti přízemního větru 6 kt^1 . Střední balony (objem $3\,400\text{--}4\,000 \text{ m}^3$) s normálním ZVV mají podobný limit, pouze brzdná dráha (poskakování koše po poli) je výrazně větší. Střední balony (objem $3\,400\text{--}4\,000 \text{ m}^3$) s lepším ZVV (tzv. „chytrý“ ventil – smartventil) zvládnou bez překlopení koše a vlečení přistání do rychlosti přízemního větru $6\text{--}8 \text{ kt}$. Velké balony (objem větší než $4\,000 \text{ m}^3$) bez lepšího ZVV nemá smysl provozovat. Velké balony s lepším ZVV zvládnou bez překlopení koše a vlečení i rychlosti přízemního větru kolem 10 kt .

3. METEOROLOGICKÉ PODMÍNKY PRO LETY HORKOVZDUŠNÝM BALONEM

Jsou určeny leteckými předpisy a popsány v letové příručce výrobce.

Předpisy

Balon vždy provádí let za podmínek viditelnosti země, tj. VFR (visual flight rules). Pravidla pro lety za viditelnosti jsou uvedeny v letecké informační příručce AIP ENR 1.2.1. [5].



Obr. 2 Katedrála v St. Gallenu od firmy Kubíček.

Fig. 2. Cathedral of St. Gallen made by Kubíček.

- Lety VFR se musí provádět tak, aby letadlo letělo při dohlednosti a ve vzdálenosti od oblaků stejně nebo větší než:
 - v řízených prostorech (kolem letišť) – dohlednost 5 km (nad výškou $3\,000 \text{ m}$ ($10\,000 \text{ ft}^2$)), nad mořem dohlednost 8 km , vzdálenost od oblaků $1\,500 \text{ m}$ ($5\,000 \text{ ft}$) horizontálně a 300 m ($1\,000 \text{ ft}$) vertikálně,
 - v neřízených prostorech do výšky 300 m ($1\,000 \text{ ft}$) nad zemí – dohlednost $1\,500 \text{ m}$, let vně oblaků za viditelnosti země.
- Lety VFR lze provádět pouze mezi východem a západem slunce. Výjimkou jsou tzv. noční lety VFR, kdy speciálně vybavený balon a pilot se zvláštním oprávněním může letět před východem slunce, ale přistání musí provádět až po východu slunce, tedy za světla.
- Lety VFR musí být prováděny za stálé viditelnosti země. Let nad oblačností může být proveden, není-li celkové pokrytí oblohy oblačností pod letadlem větší než $4/8$ (tj. pod letadlem není význačná oblačnost) a je možné provádět let podle srovnávací navigace.

Letová příručka balonu

Každý balon musí být provozován podle své letové příručky, kterou vydává výrobce a která je schválena Úřadem pro civilní letectví. Příručky všech výrobců jsou přibližně stejné. Provozní podmínky firmy Balony Kubíček, s. r. o.:

- Obecné povětrnostní podmínky*
Není povoleno provádět let balonem, když hrozí
 - silné termické proudění,
 - bouřky,
 - turbulence,
 - střih větru,
 - podmínky, které vytvářejí nárazovitý vítr.**Výstraha:** Je nepřijatelný let v blízkosti oblaku Cb, kde vznikají nebezpečné turbulence, které vedou k deformacím obalu nebo vynesení balonu do výšky s nedostatkem kyslíku a nízkou teplotou.
- Rychlost přízemního větru na startu balonu*
Maximální povolená rychlost přízemního větru na startu (měřeno 10 m nad zemí) je $14,6 \text{ kt}$ ($7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Rychlost se počítá včetně nárazů ($5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nárazy, nebo $7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} + 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nárazy)
- Rychlost větru za letu není nijak omezena.* (Při letech přes Alpy se létá rychlostí i 100 km/h . Balon se však během letu nesmí dostat do situací popsaných v odst. a)
- Rychlost na přistání*
Přistání při rychlosti přízemního větru vyšší než 8 kt vede k překlopení koše a jeho vlečení po zemi. Přistání při rychlosti přízemního větru 14 kt je považováno za nouzové přistání, hrozí poranění posádky nebo škody na balonu, záleží pouze na zkušenostech pilota.

4. POŽADAVKY NA PŘEDPOVĚĎ POČASÍ PRO LETY BALONŮ

Předpověď povětrnostních podmínek pro lety balonů je třeba zaměřit na množství a výšku oblačnosti na plánované

¹⁾ Uzel (knot, značka kt nebo kn) je jednotka rychlosti používaná v letectví, mořeplavbě a v meteorologii (tam k určování rychlosti větru). Uzel je definován jako jedna námořní míle ($1\,852 \text{ m}$) za hodinu. Převod na jiné jednotky: $1 \text{ kt} = 1,852 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} \approx 0,5144 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 1,94384 \text{ kt}$.

²⁾ Stopa (feet, značka ft) je jednotka délky. Jako platná jednotka má dnes význam jen angloamerická (imperální) stopa, která se všeobecně užívá i v letectví pro určení výšky letadla. Převod na jiné jednotky: $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$.

Tab. 1 Podmínky konvekce.

Table 1. Conditions of convection.

Den a čas YYGG	Balonové létání		Plachtařská předpověď				Předp. druhu (tvaru) kupovité oblačnosti			Výška bezoblačné termické konvekce (vyšší než 1 km n. m.)
	přízemní vítr	konvekce	přízemní vítr	konvekce	Tp	KKH	HHK	Fi		
	vhodné podmínky?				°C	m n. m.	m n. m.	–		
2303	ano	ano	ano	ne						
2304	?	?	ano	?				TCu		
								Cb		

Tab. 2 Oblačnost a srážky.

Table 2. Clouds and precipitation.

Den a čas YYGG	Přízemní vítr	Nárazy větru	Oblačnost			Srážky		RV	Tk	T	Fi
			Nl	Nm	Nh	děšť	sníh				
UTC	GND	GND	/8	/8	/8	mm/hod.	mm/hod.	%	°C	°C	
	st/kt	kt									
2415	135/4	6	3	3	3	0,0	0,0	85	28,1	-0,9	-13
2416	125/2	5	3	2	3	0,0	0,0	88	29,6	-1,1	-13

trase letu, na teplotu vzduchu, výskyt mlhy a teplotních inverzí a jiných nebezpečných jevů.

Oblačnost

Příkladem budiž situace při ranních letech, kdy dochází v poměrně krátké době k vývoji nízké vrstevnaté oblačnosti, výška základny cca 300 m (1 000 ft), která znemožňuje let ve výšce nebo naopak klesání pod oblačnost a přistání. Situaci může dále komplikovat pilotova neznalost počasí v místě přistání a fakt, že při letech v horách může být plánované místo přistání (údolí) zcela zakryto oblačností.

Mlha

Zvláštní kapitolou je mlha, která je velmi nebezpečná, protože znemožňuje provedení bezpečného přistání, např. zakrývá elektrické vedení. Vznik mlhy nepříznivě ovlivňuje zvláště noční lety, neboť mlha, která se vytváří před východem nebo krátce po východu slunce, zakrývá místo přistání.

Teplota vzduchu

Významně ovlivňuje nosnost balonu. Je dána objemem obalu balonu a rozdílem teploty okolního vzduchu a vzduchu v obalu balonu. Jelikož teplota vzduchu v obalu nesmí překročit maximální povolenou teplotu (u balonu Kubíček 124 až 127 °C), je zřejmé, že vysoká teplota vzduchu vede ke snížení nosnosti balonu. Přesným výpočtem nosnosti je nutné se zabývat především u letů v horách, kdy musí piloti pro přelet hřebenu stoupat do vyšších výšek. Zvláštní pozornost vyžaduje výskyt teplotních inverzí, kdy může balon startovat v chladném vzduchu a během stoupání „narazí“ na inverzní vrstvu s teplým vzduchem, která neumožní další stoupání.

Nebezpečné jevy

Zvýšenou pozornost je nutné věnovat předpovědi nebezpečných jevů, jimiž jsou vyšší rychlost přízemního větru a nárazy větru, turbulence větru a bouřky. Nárazy větru významně znesnadňují ovládání balonu. Let za přízemního větru o vyšší rychlosti než 8 kt je zvláštní částí výcviku pilotů. Bezpečné zvládnutí letu je záležitost pilotových zkušeností a především jeho rozumu. **Kvalita pilota není měřena rozsahem počasí, ve kterém je schopen provést let, ale schopností vyhodnotit situaci a za nepříznivých podmínek let ukončit nebo vůbec neodstartovat.**

Ideální podmínky pro let balonem zejména z hlediska větru jsou: rychlost větru do 6 kt v přízemní vrstvě (do 100 ft) pro klidný start a bezpečné přistání. Naopak ve vyšších hladinách není vyšší rychlost větru ani jeho změna směru nebezpečná (třeba i 30 kt v 3 000 ft nad zemí a změna o 180°). Balon je totiž po celou dobu letu unášen větrem a pilot pouze řídí výšku letu. A právě při vysoké variabilitě větru (směru a rychlosti) má pilot možnost letět na velké vzdálenosti. Naopak slabý vítr (0–1 kt) v letové hladině je nebezpečný z důvodu možnosti „nedoletění“ balonu na bezpečné místo přistání. V takovém případě balon „visí“ nad městem, lesem, vodní plochou.

5. ZABEZPEČENÍ LETŮ HORKOVZDUŠNÝCH BALONŮ

Vzhledem ke stanoveným požadavkům na meteorologické podmínky se lety uskutečňují v převážné většině v ranních a pozdních odpoledních hodinách, kdy je atmosféra, co se týká projevů počasí v mezní vrstvě, nejstabilnější. Náročnost na předpověď je dána tím, že největší rozmanitost a proměnlivost mají prvky právě v této vrstvě, do výšky 1 500 m (5 000 ft) nad zemí, v níž zpravidla celý let probíhá.

Na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu, pod odkazem Letecké předpovědi, byly kromě předpovědních materiálů pro všeobecné letectví zařazeny i předpovědi určené přímo pro balonové létání. Jedná se o tabulky: Podmínky konvekce (tab. 1) [6] a Oblačnost a srážky (tab. 2) [7]. Momentálně všechny hodnoty uváděné v tabulkách počítá model Aladin z 4,7 km gridu.

V kolonce Balonové létání – přízemní vítr – vhodné podmínky? je vyhodnocena rychlost a nárazovitost přízemního větru a výsledek je uveden v symbolech „ANO“, které odpovídá optimálním, „Ne“ nevhodným a „?“ problematickým podmínkám. Jednotlivá kritéria pro balonové létání jsou uvedena v tab. 3.

Ve sloupci Nárazy větru (tab. 2) je uvedena maximální předpovídaná rychlost přízemního větru v daném termínu, nejedná se tedy o náraz přízemního větru podle definice obsažené v Meteorologickém slovníku [3], v němž se obecně pro meteorologické potřeby uznává za kritérium pro náraz přízemního větru převýšení průměru o 5 m·s⁻¹ na dobu alespoň 1 s, avšak nejvýše 20 s. Tento údaj je uveden záměrně,

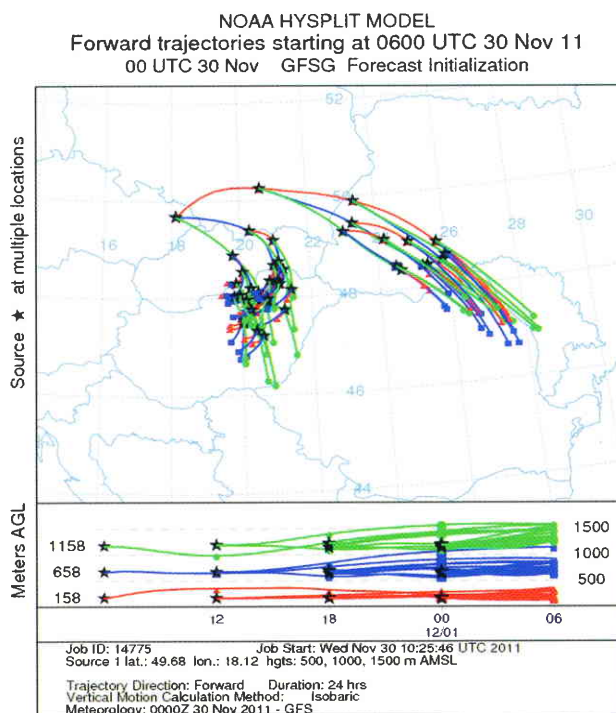
Jedním z možných požadavků na meteorologickou službu je i zabezpečení 24hodinového letu. V tom případě je velmi důležitá důsledná analýza synoptické situace pro stanovení konkrétního dne, aby byly splněny všechny meteorologické podmínky pro let za VFR, stabilní zvrstvení, při zemi vítr slabý, ve výšce silnější a pokud možno z jiných směrů (to umožní pilotovi určitou manévrovatelnost), bezinverzní charakter počasí. Poté je možné využít výpočet trajektorie letu v určitých výškách. V případech, kdy po startu nemůže být pilot v kontaktu s meteorologem, lze nastavit při výpočtu trajektorie nové přepočítání, třeba po šesti hodinách (obr. 5). Samozřejmě že ideálním stavem je provést přepočet po aktualizaci modelu. Jelikož se jedná o model GFS, je aktualizace k dispozici každých šest hodin.

Z obrázku je vidět, že pokud se bude pilot v tomto ilustračním výpočtu držet celou dobu letu těsně nad zemí, měl by po 24 hodinách přistávat ve východním Rumunsku nebo západní Moldávii. Jestliže hned po startu nastoupá do výšky 5 000 ft MSL, přistane v Maďarsku.

6. ZÁVĚR

Při meteorologickém zabezpečení horkovzdušných balonů je třeba si uvědomit, že celý let probíhá v mezní vrstvě atmosféry. Tedy v oblasti, která sahá od zemského povrchu až do výšky 1,5–2 km, v níž se již neprojevují bezprostřední interakce mezi atmosférou a zemským povrchem. Její horní hranice roste se zvětšující se drsností zemského povrchu, s rychlostí větru a se vzrůstající instabilitou teplotního zvrstvení ovzduší [2]. Mezní vrstva atmosféry je tedy zpravidla turbulentní. Převážná část letů probíhá za klidného počasí. Proto nemusíme přihlížet k dynamické turbulenci a orientovat se pouze na turbulenci termickou.

Tento článek si neklade za cíl podrobně a vyčerpávajícím způsobem popsat myšlenkový postup meteorologa při vytváření předpovědi pro balonové létání. Přibližuje pouze zdroje, které meteorolog může při zabezpečení využít.



Obr. 5 Trajektorie letu na 24 hodin pro námi určené letové hladiny.

Fig. 5. Flight trajectory for 24 hours for us designed a flight level.

Na závěr jedna zajímavost. Státní ústav meteorologický v Praze poprvé zabezpečoval lety balonů v roce 1927, a to při mezinárodních balonových závodech. Akci popsal G. Swoboda v publikaci [4]: *Pro zajištění 1. mezinárodních závodů balonových pořádaných Aeroklubem Republiky Československé dne 11. 7. 1927 odpoledne bylo letecké oddělení státního ústavu meteorologického na půl dne přiděleno na stadion v Praze. Každému jednotlivému vůdci balonovému byly předány: ranní a odpolední povětrnostní mapa Evropy, mapa výškových větrů v Evropě, letecká mapa Československé republiky, přehled povětrnosti, prognosa, poslední měření výškového větru z Prahy a slovní vysvětlivky. Start musel být vykonán mezi dvěma bouřkami a místa přistání balonů byla podle toho, jak kdo využil divergentních větrů výškových, rozdělena na všechny světové strany ve větší nebo menší vzdálenosti od cíle v Milovicích.*

Poděkování

Děkuji ing. Tomáši Stejskalovi řediteli AVIATIK SERVIS, s. r. o. za poskytnutí parametrů, daných výrobcem a meteorologických podmínek pro lety horkovzdušných balonů, uváděných v letové příručce výrobce.

Literatura

- [1] DITRICH, B., 2005. Sláva balonům, 1. vyd. Praha: Dokořán. 207 s. ISBN 80-7363-054-0.
- [2] DVOŘÁK, P., 2010. Letecká meteorologie, 2. vyd. Cheb: Svět křidel. 482 s. ISBN 978-80-86808-85-7.
- [3] SOBIŠEK, B. a kol., 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 1. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. 596 s. ISBN 80-85368-45-5.
- [4] Státní ústav meteorologický v prvním desetiletí republiky 1918–1928, 1928. Praha: SÚM, publ. řady C, I. sv. 91 s.

Elektronické zdroje

- [5] Letecká informační příručka AIP ENR 1.2.1. Dostupné na WWW: <http://ais.ans.cz/ais_data/aip/data/valid/e1-2.pdf>.
- [6] Předpověď konvekce. Dostupné na WWW: <www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=J-SPTabContainer/P9_0_Predpovedi/P9_1_Pocasi/P9_1_4_Letecke/P9_1_4_13_Balon/P9_1_4_13_1_Konvekce&last=false>.
- [7] Předpověď oblačnosti a srážek. Dostupné na WWW: <www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=J-SPTabContainer/P9_0_Predpovedi/P9_1_Pocasi/P9_1_4_Letecke/P9_1_4_13_Balon/P9_1_4_13_2_Oblacnost&last=false>.
- [8] Flymet. Dostupné na WWW: <<http://flymet.meteopress.cz/cr/?gmetyp=curya&gmicpic=16>>.
- [9] UM model. Dostupné na WWW: <<http://new.meteo.pl/>>.
- [10] Model Aladin. Dostupné na WWW: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/index_full.html>.
- [11] Mapy konvekce. Dostupné na WWW: <<http://www.lightningwizard.com/maps/>>.
- [12] Radarové odrazy. Dostupné na WWW: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/data_jsradview.html>.
- [13] Trajektorie letu. Dostupné na WWW: <<http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/blntrajsrc.pl>>.

Lektor (Reviewer) RNDr. K. Krška, CS.