

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

TERMICKÉ STOUPAVÉ PROUDY V ČESKÉ REPUBLICCE A JEJICH VYUŽITÍ SPORTOVNÍMI PILOTY

THERMAL CONVECTION IN CZECH REPUBLIC AND ITS USING BY SPORT PILOTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN OŽANA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

RNDr. KAREL KRŠKA, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Ožana

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Profesionální pilot (3708R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Termické stoupavé proudy v České republice a jejich využití sportovními piloty

v anglickém jazyce:

Thermal convection in Czech Republic and its using by sport pilots

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konvekce, její druhy a parametry, časový a geografický výskyt. Vznik a vývoj významných konvekčních proudů a jejich praktické využití.

Cíle bakalářské práce:

Pojednat o nejčastěji se vyskytujících stoupavých proudech v CR na základě literatury a vlastních zkušeností pilota.

Seznam odborné literatury:

[1] Dvořák,P.: Letecká meteorologie. Cheb, Svět křídel, 2004

[2] Dvořák,P.: Termika. Cheb, Svět křídel, 2002

[3] Lexmann,E.: Meteorológia pre športového pilota. Bratislava, Alfa, 1986

[4] Wala,T.: Metodika výcviku na kluzácích. III.díl. Praha, Svazarm, 1982

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Karel Krška, CSc.

ANOTACE

Tato práce se zabývá stručným přehledem typů stoupavých proudů nad naším územím, především pak výskytem a předpovědí termické konvekce. Protože jsou kluzáky do vzduchu vleány motorovými letadly, obsahuje i přehled informací, které by měl znát pilot motorového vlečného letounu.

ANOTATION

This thesis provides a brief overview of ascending airflow typology in the Czech Republic, in particular the occurrence and prediction of thermal convection. Since gliders are usually towed by motor aircraft, it also includes summary of knowledge, that should be known by towing aircraft pilot.

KLÍČOVÁ SLOVA

Termika, konvekce, stoupavé proudy, meteorologie, kluzák, svahové proudění, proudění ve tvaru vlny, plachtění

KEYWORDS

Thermal convection, ascending airflow, meteorology, glider, uphill flow, lee wave, soaring

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OŽANA, M. *Termické stoupavé proudy v České republice a jejich využití sportovními piloty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 35 s.
Vedoucí bakalářské práce RNDr. Karel Krška, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Termické stoupavé proudy v České republice a jejich využití sportovními piloty vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

29. května 2009

.....
Martin Ožana

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu RNDr. Karlu Krškovi, CSc. za odborný dohled, cenné rady a připomínky.

Dále mé poděkování patří také panu Ing. Róbertu Šošovičkovi, Ph.D. a zaměstnancům Leteckého ústavu FSI VUT v Brně.

OBSAH

1 Úvod	7
2 Historie využití stoupavých proudů	8
3 Druhy stoupavých proudů nad našim územím	10
3.1 Svahové proudění	11
3.2 Proudění ve tvaru vlny	14
3.3 Termické proudění	17
4 Výskyt termického proudění z geografického hlediska	20
4.1 Vhodnost povrchu pro vznik termiky	20
4.2 Vhodnost terénní konfigurace pro vznik termiky	20
4.3 Oblast výskytu termiky nad našim územím.	23
5 Výskyt termického proudění z časového hlediska	25
5.1 Výskyt termického proudění z hlediska roční doby	25
5.2 Výskyt termického proudění z hlediska denní doby	26
6 Předpověď termiky	27
6.1 Aerologický diagram	29
6.2 Moderní informační zdroje	31
7 Termika z pohledu motorového pilota - vlekaře	33
8 Závěr	34
9 Seznam použité literatury	35

1 Úvod

Kluzáky mají dnes své místo především ve sportovním – rekreačním a soutěžním létání.

Větroň díky stoupavým proudům získává potřebnou výšku pro další let. Intenzita a typ stoupavých proudů se mění v závislosti na členitosti terénu nebo typu povrchu země, na roční době a aktuálním vývoji počasí.

Protože se kluzáky dostávají do vzduchu také prostřednictvím aerovleků za motorovými letouny, jsou znalosti o stoupavých proudech důležité i pro piloty – vlekaře, kteří pro správné provedení aerovleku musí vědět, kde se proudy nacházejí a jak je nalézt, aby dopravili kluzák do optimálních startovních podmínek. Z toho důvodu práce obsahuje také souhrn potřebných znalostí, na které by měl pilot vlečného letounu dbát, aby let s aerovlekem byl nejen co možná nejvýhodnější a nejekonomičtější, ale rovněž i bezpečný.

2 Historie využití stoupavých proudů

V počátcích létání, kdy teprve člověk poznával zákony aerodynamiky, neměli lidé pro letadla vhodné motory a na kluzácích objevovali principy létání.

Touhou člověka bylo dostat se do vzduchu a udržet se tam co nejdéle. Jako nejvýhodnější místo pro starty jejich prvních pokusů se jevilo využívat převážně kopce, které převyšovaly okolní krajinu. Ty dávaly možnost získat energii potřebnou pro vzlet rozběhem ze svahu či startem pomocí gumových lan. Nejprve šlo jen o krátké klouzavé lety, postupem času však lidé začali



využívat proudů, které v blízkosti kopců pozorovali. Tak se začalo rozvíjet svahové létání a let kluzáku se už neomezil jen na několikasekundový klouzavý let. Snad právě z této doby pochází jiný název pro kluzák – „větroň“, jelikož se kluzáky dokázaly udržet nad svahem celé hodiny, díky proudění vzduchu (větru).



Postupem času se zlepšovala technika a člověk vyvinul motorová letadla, která se dokázala samostatně odlepit ze země a tak se mohl přesunout z kopců blíže svým obydlím, do údolí. Motorová letadla byla později schopna vlekat kluzáky a spolu s navijáky byla novým prostředkem, který umožňoval vzlet kluzáků. Navíc byl



kluzák po vypnutí, zejména z aerovleku, v daleko větší výšce než po vzletu ze svahu a v těchto větších výškách začal pozorovat výskyt i jiných stoupavých proudů, než které doposud znal. Tak objevil termické stoupavé proudy, nad kterými bádá desetiletí a dá se říci, že bádá dodnes. Díky poznatkům, které člověk později získal o proudění ve tvaru vlny, pozorovaném na závětrné straně hor, dokázal překonat do té doby neuvěřitelné výškové rekordy. Létání na kluzácích prošlo za svou historii rozmanitým vývojem, kdy byl kluzák nejdříve využíván k objevování zákonů aerodynamiky, základnímu výcviku pilotů, ale například i k transportním a vojenským účelům. Ačkoliv je dnes plachtění především sportovní disciplínou, tak se výkony kluzáků i pilotů díky novým znalostem meteorologie i mnohým poznatkům z aerodynamiky rok od roku zlepšují. Zkušenosti získané na nejmodernějších kluzácích jsou dnes, stejně jako v minulosti, uplatňovány při vývoji moderních dopravních i vojenských letadel.

*Obrázky 2-3 převzaty z archivu
Slezského aeroklubu Zábřeh*

3 Druhy stoupavých proudů nad našim územím

Využití vzdušného proudění pro letecké účely je tak staré jako letectví samo. S postupným poznáváním charakteru vzdušného proudění především piloty bylo rozlišeno několik druhů vzdušného proudění za horský překážkami i v rovinném terénu a vzniklo několik klasifikací především s ohledem na bezmotorové létání, ale také z čistě meteorologického hlediska.

Z českých meteorologů, kteří byli aktivními sportovními piloty, se třídění vzdušného proudění zabýval především RNDr. Jiří Förchtgott, který je poprvé publikoval v roce 1953. Jeho klasifikace (jeho třídění) vzdušného proudění se v tehdejším Československu začala běžně používat a pronikla do různých příruček a učebnic letecké meteorologie. Lze se s ní však setkat i v některých učebnicích. Na základě Förchtgottova výzkumu také Meteorologický slovník ^[1] uvádí tyto typy proudění: Laminární, chaotické, rotorové, turbulentní, ve tvaru vln, vírové. S výjimkou proudění laminárního jde v podstatě vesměs o druhy turbulentního proudění v závětrí horských překážek.

V meteorologickém slovníku nenacházíme proudění vlnové ale jen proudění ve tvaru vln, protože z čistě fyzikálního hlediska vlnovým proudění rozumíme jen zdánlivý postup vlny, zatímco elementární částice vykonávají pohyb po přímkách kolmých k rovině osy zdánlivé postupující vlny.

Piloti zejména sportovní si postupně vytvořili vlastní terminologii pro vzdušné proudění, která se liší od meteorologické terminologie, např. proudění svahové, proudění vlnové, termické proudění, termiky a podobně. V této práci vzhledem k jejímu využití

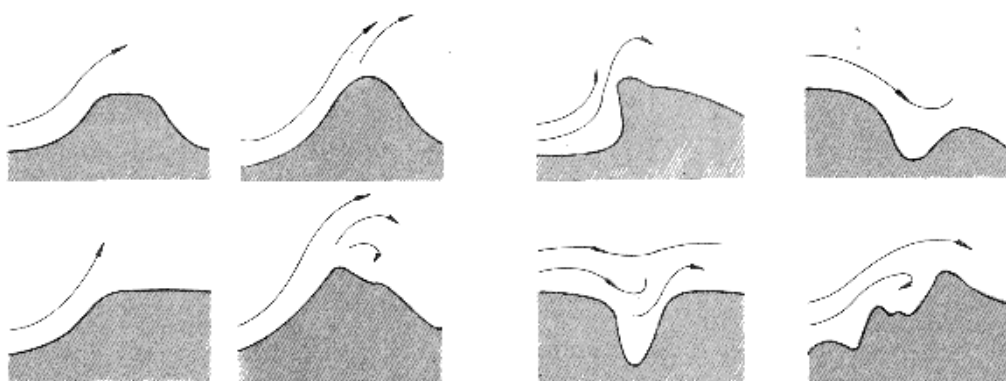
v plachtařském sportu je použito názvosloví běžného v okruhu pilotů kluzáků, případně pilotů motorových vlečných letounů.

3.1 Svahové proudění

Svahové proudění vzniká na vhodných svazích, kdy vzduch proudící na návětrnou stranu překážky je nucen vystoupat.

Výskyt proudění:

- Na vhodném svahu, vhodným svahem se rozumí svah dostatečného převýšení vůči okolnímu terénu (alespoň 200 metrů) a hřeben svahu by měl být alespoň 500 metrů dlouhý. Za vhodných podmínek však vzniká využitelné proudění i na menších svazích.
- Předpolí před návětrnou stranou svahu (tou, odkud na svah fouká vítr) by mělo být v co největší vzdálenosti otevřené a rovné.
- Sklon svahu by měl být 45° až 60° . Při menším sklonu se proudění významněji neprojeví, na kolmějších skalních stěnách je narušen plynulý laminární pohyb proudění, které se mění na turbulentní.
- Vzduch lépe proudí nad svahem bez porostu, avšak u nás je úspěšně využíváno i několik zalesněných svahů. Členitost svahu ale bývá příčinou turbulence vzdušného proudu.
- Zápolí svahu (závětrná strana) nemá sice vliv na využitelnost, ale je lépe, pokud je vrchol ukončen delší náhorní rovinou, ta omezuje vznik závětrného turbulentního víru. Létání v závětrné straně svahu je životu nebezpečné, neboť kluzák je sestupnými proudy snášen k terénu!
- Svahové proudění se vykytuje většinou do výšky 300 metrů nad svahem.



Obr. 3.1.1 – Vlevo – příklady vhodných terénů pro vznik využitelného svahového proudění
Vpravo – terény nevhodné pro vznik využitelného svahového proudění

Meteorologické podmínky pro vznik svahového proudění

- Vítr by měl vanout na svah v horizontálním směru a to co nejkolměji k ose hřebene svahu, nejméně pod úhlem 45° .
- Rychlost větru by měla být alespoň 4 m/s, při nižší rychlosti nebývá proudění využitelné.
- Z bezpečnostního hlediska bývají v metodikách a v letových příručkách uváděny také maximální povolené rychlosti proudění pro létání na svahu na která je nutno dbát, aby nedošlo k překročení provozních omezení kluzáků, popř. vlečného letounu. Horní hranici rychlosti proudění si také pilot musí upravit sám podle svého svědomí a získaných zkušeností.
- Proudění by mělo být co nejrovnoměrnější – je nutné sledovat vývoj počasí a nestartovat, pokud není zřejmé, že proudění na svah je stálějšího charakteru.
- Svahové proudění by nemělo být rušeno jinými typy pohybů vzdušné hmoty, např. konvekcí.



Obr. 3.1.1 – Proudění vzduchu při nárazu na horský hřeben – svahové proudění.

Červená barva označuje oblast s nejvyužitelnějším stoupáním

Využití svahového proudění sportovními piloty

Prakticky jde o udržení větroně v nosné části svahu, na jeho návětrné straně.

Naopak se nesmíme dostat na závětrnou stranu, kde panují silné sestupné proudy, které mohou být vážným nebezpečím a každoročně jsou bohužel příčinou úmrtí několika letců. Toto nebezpečí je o to větší, čím silnější je vítr, neboť stejně jako v návětrné straně jeho síla pomáhá, ve straně závětrné dokáže život letce značně znepříjemnit. Při hledání svahového proudění se snažíme používat jakékoliv vizuální reference o směru a síle větru, např. kouře z komínů továren, či obydlí poblíže svahu. Letíme potom v takovém pásmu, kde „vycítíme“ nejsilnější stoupání (resp. kdy odečteme nejvyšší údaj z variometru, který však většinou nepřekročí hodnotu 2 m/s). Stoupání je nejintenzivnější v malých výškách nad svahem, s výškou slábne a využitelné bývá maximálně do 300 metrů. Rychlost stoupání se v jednotlivých úsecích bude lišit, což bude způsobeno jednak členitostí terénu a zákrutami svahu a jednak případnou změnou směru větru, foukajícího na svah.

3.2 Proudění ve tvaru vlny

„Proudění vzduchu především v závětrné oblasti hor, které je vázáno na vertikální mohutnou vrstvu vzduchu se stabilním teplotním zvrstvením“^[1]

Výskyt proudění:

- Za překážkou, nejčastěji horským masivem, ale jsou známé výskyty vlny i za hlubokým údolím řek.
- Pro vznik proudění ve tvaru vlny je důležitý tvar horského hřebene, zejména jeho závětrná strana. Čím strměji klesají svahy hor, tím výraznější vlna se utváří.
- Následuje-li v násobku vlnové délky za hlavním hřebenem ještě další paralelní horský hřeben, může se vlna ještě zesílit.
- Mnohdy zaznamenáváme vlnový proud ještě mnoho desítek i stovek kilometrů za horami. Amplituda vln vzrůstá s výškou, maxima dosahuje ve střední troposféře a pak se pomalu snižuje.

U nás vzniká vlnové proudění nejčastěji v Krkonoších, Jeseníkách, Beskydech, Krušných horách, nad Železnými horami, za hřebenem Ještědu, ale např. také u hlubokého údolí řeky Vltavy v okolí Zbraslavi.

- Maximální teoretická výška výskytu vlny je dána výškou troposféry, v našich podmínkách tedy okolo 11 000 m, v r. 1951 dosáhl Švéd K.E.Övgard nad pohořím Sierra Nevada výšky 16 000 m. Jeho let však kvůli nedostatečnému vybavení vzhledem k této výšce skončil tragicky.
- V praxi však nad naším územím bývá ve vlně dosahováno výšky 5 až 6 km, v ojedinělých případech až 8 km.

Meteorologické podmínky pro vznik proudění ve tvaru vlny:

- Vítr by měl vanout na hřbet v horizontálním směru a to co nejkolměji, nejméně pod úhlem 60° .
- Stáčení směru větru s výškou by nemělo překročit 30° .
- Rychlost větru by měla být v počátku alespoň 10 m/s, čím je vyšší pohoří, tím je také potřebná vyšší, tzv. kritická rychlost pro vznik nového proudění.
- Rychlost větru by měla s rostoucí výškou podstatně narůstat. Čím je vyšší rychlost větru, tím je delší vlnová délka proudění a také amplituda vln.
- Pro vlnu je rovněž žádoucí pokud možno stabilní teplotní zvrstvení, navíc v úrovni hřebene s touto stabilitou ještě zesílenou.
- Instabilní zvrstvení a termika totiž narušuje kontinuitu vlny a ta při rostoucí instabilitě atmosféry zaniká. Proto se vlna vyskytuje hlavně v netermickém období, tj. od podzimu do jara a také v noci.



Obr.3.2.1 Let kluzáku v proudění ve tvaru vlny 4300 m nad terénem. Vlivem stabilního zvrstvení dochází k výskytu souvislé vrstvě oblačnosti a tím ke ztrátě vizuálního kontaktu se zemí – nebezpečná stránka létání ve vlně

Princip vzniku proudění ve tvaru vlny

V závětrří hor se mezi zemským povrchem a horní amplitudou vlnového proudu formují rotory s vodorovnou osou otáčení. Vítr u země je pod nimi nárazovitý a podléhá značným změnám. Rotory se také často projevují specifickou oblačností typu stratocumulus fractus. Let rotorovou oblastí je nepříjemným zážitkem a pilot by se jí proto měl raději vyhnout, je-li to možné.



Obr.3.2.2 – Vzdušné proudy a

rotory při proudění ve tvaru vlny

Proudění ve tvaru vlny je často průvodním jevem větru fohnu, tudíž se na návětrří hor může utvářet velká oblačnost se srážkami a naopak v závětrří může panovat polojasné až skoro jasné počasí, ale velmi větrné. Existence proudění ve tvaru vlny je velmi často indikována čočkovitými oblaky altocumulus lenticularis

3.3 Termické proudění

Termické stoupavé proudy jsou vertikální pohyby vzduchu vznikající následkem termické konvekce v důsledku horizontálních teplotních nehomogenit, zpravidla nerovnoměrným radiačním ohříváním zemského povrchu. Objem vzduchu s teplotou vyšší než okolí působením archimédovských vztlačových sil stoupá vzhůru, pokud jeho teplota a hustota nedosáhne teploty a hustoty okolního vzduchu a energie se nevyčerpá na tření s okolním prostředím.

Podmínky pro vznik konvekčních stoupavých proudů:

- Teplota vystupující částice musí být co nejdéle (co nejvýše) vyšší, než teplota okolní atmosféry.
- Teplotní zvrstvení atmosféry musí být instabilní (labilní) – na zemi musí být tepleji než ve vzduchu, musí být dodržen požadovaný vertikální teplotní gradient.
- Při vzduchu nenasyceném vodní párou je nutný vertikální teplotní gradient alespoň 1°C .
- Při vzduchu nasyceném vodní párou stačí pokles teploty na 100 metrů o $0,65^{\circ}\text{C}$
- Pokud jsou rozdíly teplot na 100 metrů výšky nižší, jde o stabilní teplotní zvrstvení atmosféry a termika zaniká.

Druhy konvekčních stoupavých proudů z hlediska vzniku:

- Proudý, které vznikají v důsledku nerovnoměrného prohřívání zemského povrchu
- Proudý chladné advekce, které vznikají při vnikání chladného arktického vzduchu nad přehřátý povrch
- Proudý uvnitř mraků, které vznikají cirkulací vzduchu uvnitř mraku, jako výsledek uvolňování skryté teploty při kondenzaci páry

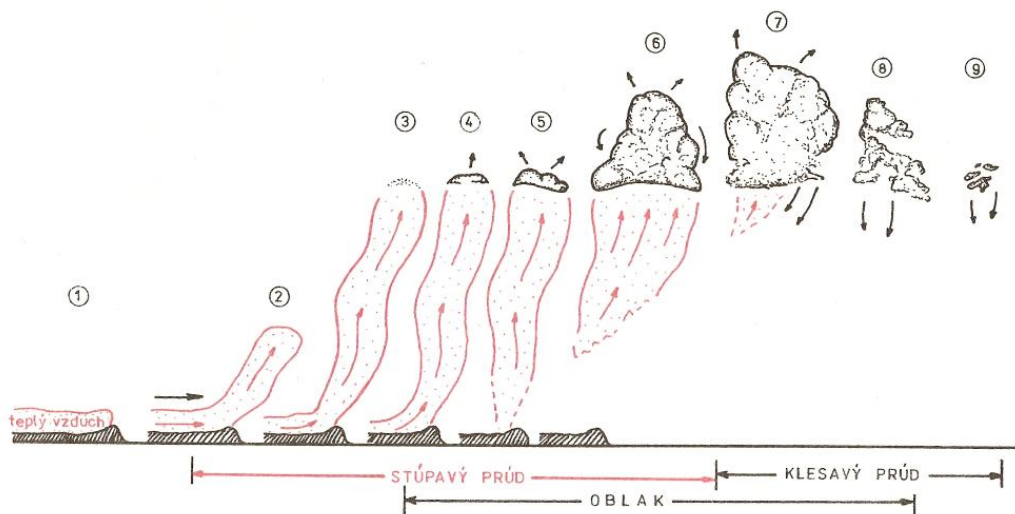
Druhy konvekčních stoupavých proudů z hlediska vyvolání výstupného pohybu:

- Volná konvekce – vertikální pohyby částic, vyvolávané vztlačovou silou, vyplývající z teplotní instability. Může souviset také s rozdílným ohřevem dvou povrchů.

- Vynucená konvekce – vertikální pohyb vynucen mechanickou silou – např. při proudění větru přes zakřivený terén, nebo pokud sousedí vodní a suché plochy a vznikají turbulence vlivem rozdílného tření vzduchu o zemský povrch, atd...

Bezoblačné a oblačné termické stoupavé proudy:

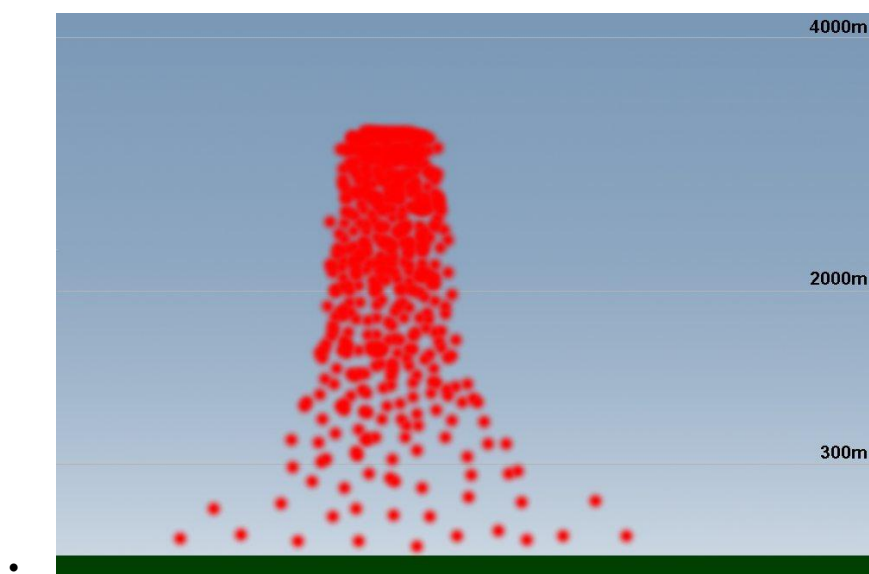
- Bezoblačné termické stoupavé proudy – při výstupu nedostoupí do kondenzační hladiny, konvekce v mezní vrstvě je tzv. suchá a poměrná vlhkost je v celém rozsahu nižší než 100 procent
- Oblačná termika – bubliny dostatečně vlhkého teplejšího vzduchu, které při výstupu dosáhnou hladiny kondenzace, nad níž se formují kondenzační oblaka. V závislosti na dalších podmínkách v atmosféře se pak oblaka mohou rozvíjet do dalších oblačných útvarů, např. kumulonimbů.



Obr. 3.3.1 – Vývojová stádia oblaku *Cumulus congestus* ^[4]

Sestupné proudy

- Pokud se zemská částice zvedne od okolního povrchu a stoupá, musí být nahrazena jiným vzduchem, který do jejího výchozího místa sklesá z okolní atmosféry – v blízkosti stoupavých proudů jsou vždy i sestupné proudy.
- Klesání trvá tak dlouho, dokud se sestupný proud od okolního povrchu opět neprohřeje a nezačne stoupat – ráno a později večer je chladnější povrch, proto méně stoupavých a více klesavých proudů.



Obr.3.3.2 – Vertikální výskyt konvekce nad našim územím – při zemi jednotlivé bubliny, které se ve výšce okolo 300m nad terénem slévají do stoupavých proudů. Vertikální výskyt nad našim územím je obvykle do 2000-2500 m, ojediněle až do 4 km.

4 Výskyt termického proudění z geografického hlediska

Z geografického hlediska ovlivňuje výskyt termiky hned několik faktorů. Intenzita výskytu se mění se zeměpisnou polohou, je ovlivněná členitostí terénu a vlastnostmi povrchu nad kterým vzniká. V této práci se zabývám termikou nad naším územím, budu se tedy věnovat terénu a povrchům našich zeměpisných šířek.

4.1 Vhodnost povrchu pro vznik termiky

Zemský povrch se neprohřívá zcela rovnoměrně, některý je teplejší, jiný chladnější. Tento fakt je způsoben mimo jiné i tím, že od každého druhu povrchu se sluneční záření odráží (respektive je jím pohlcováno) v rozdílném množství. Pro vznik termického stoupavého proudu je vhodným povrchem takový, od kterého se co nejméně odráží sluneční záření. Sluneční energie, která se neodrazí, může být totiž využita k ohřevu povrchu. Hodnotě odrazivosti slunečního záření říkáme albedo. Čím více povrch odráží sluneční záření, tím větší má hodnotu albeda a tím více sluneční energie se odrazí zpátky do vesmíru, čím menší je hodnota albeda, tím méně povrch sluneční energii odráží, pohlcuje ji a dochází k její přeměně na teplo, povrch se rychleji prohřívá a od něj i vzduch nad ním. Vzduch, který je teplejší než okolní má i nižší hustotu, než okolní vzduch a díky tomu nad takový chladnější okolní vzduch stoupá.

4.2 Vhodnost terénní konfigurace pro vznik termiky

Vhodným terén je obecně takový, kde se intenzivně zahřívá vzduch. To platí pro místa, kde je omezeno proudění větru a místa, na které co nejdéle svítí slunce (tedy ta která nejsou ve stínu). Tyto podmínky splňují závětrí kopců a hor, města a vesnice, lesy, údolí a kotliny. „Závětrí hor má ještě takové specifikum, že při větru se zde v takových pulsacích objevují časové intervaly zklidnění větru (a je tedy čas k vytvoření prohřátého vzduchu), střídané nárazovitými poryvy větru, které jsou zase impulzem k odtržení prohřátého vzduchu od země a zahájení jejich stoupání v podobě termiky. Tento jev se nazývá závětrnou termikou, která patří k velmi dobře využitelným efektům, zejména u nás při severním větru, kdy jsou závětrné

strany na jižních, osluněných svazích. Severní vítr také vane často po přechodech studených front, které k nám přinášejí instabilní vzduchovou hmotu^[X]«

Pokud bychom tedy výše popsané chtěli zobecnit, dá se říct, že z geografického hlediska jsou pro výskyt stoupavých proudů vhodná tato místa:

- Tmavé povrchy - mají nižší albedo, neodrážejí velké množství slunečního záření zpět do atmosféry, tím zůstane dost záření na ohřev povrchu a lépe nad ním vzniká termika.
- Suchá místa - nespotebovávají teplo na výpar vody, rovnou se zahřívají.
- Místa, kde je omezeno proudění větru, který by povrch i vzduch nad ním ochlazoval.
- Slunci přístupná místa, tedy ta, která nejsou po většinu dne ve stínu.

TYP POVRCHU	HODNOTA ALBEDO
Vysušené lány zralého obilí	Extrémně nízká
Asfalt	Extrémně nízká
Černá půda	Velmi nízká
Vlhký písek	Velmi nízká
Jehličnatý les	Velmi nízká
Půda bez vegetace	Nízká
Trávník	Nízká
Listnatý les	Nízká
Poušť / voda	Střední
Suchý písek	Vysoká
Sníh	Velmi vysoká

Tab. 4.1 Hodnoty albeda pro různé typy povrchů



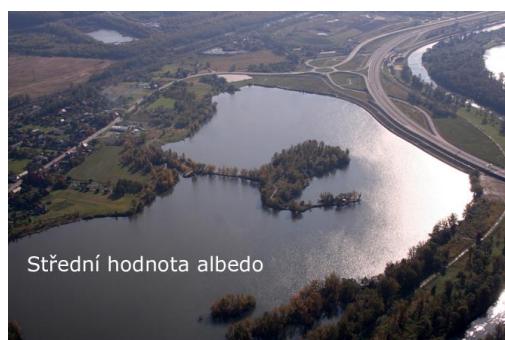
Vyprahlé pole – Obilné klasy mají velice členitý povrch, který navzdory světlejšímu odstínu velice dobře pohlcuje sluneční záření. Obilí neobsahuje téměř žádnou vodu a tak dochází k velmi rychlému prohřátí a intenzivnímu termickému stoupání.

Jehličnatý les – jehlice nemají velký povrch na výpar vody, navíc jsou pokryté voskem. Zejména borový les – tmavé a suché koruny, absorbují intenzivně sluneční záření, stromy stojí na suché a dobře se prohřívající se půdě.



Zorané / uvláčené pole – hlína má tmavou barvu a dobrou schopnost se prohřát. Voda sice zvyšuje tmavost povrchu, ale rovněž zvyšuje dobu potřebnou k vlastnímu prohřátí.

Vodní hladina – vodní hladina je lesklá a odráží velké množství slunečního záření. Velké objemy vody je obtížné prohřát a tak i během teplých dnů zůstává voda chladná. Ovšem při dlouhodobě teplých dnech se voda prohřeje a může být zdrojem termiky i v následujících chladnějších dnech.



Sněhová pokrývka – čistý sníh má extrémně vysokou hodnotu odrazivosti a sám o sobě není schopen akumulovat teplo – dodané teplo se spotřebuje na změnu skupenství a nikoliv na vyzáření do okolí v podobě termiky.

4.3 Oblast výskytu termiky nad našim územím

Oblasti výskytu termiky na našem území jsou dány podmínkami, uvedenými v předchozí části kapitoly, zabývající se geografickým výskytem stoupavých proudů.

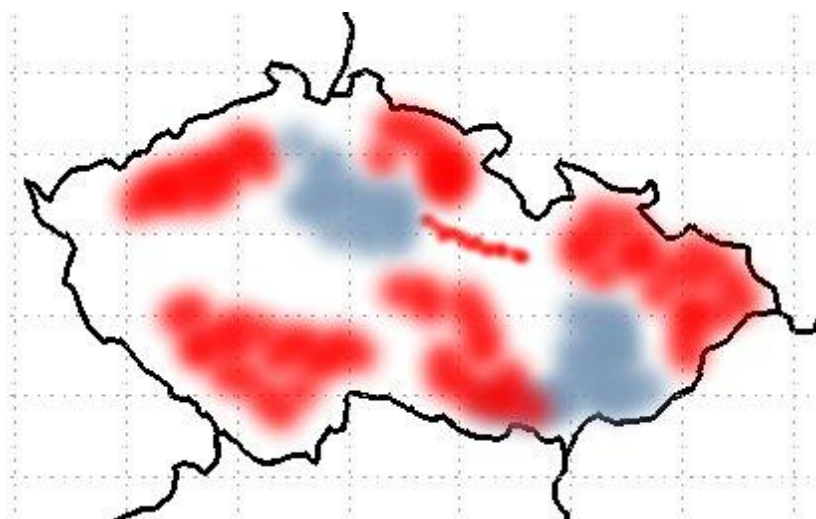
Statistické údaje byly získány z archívu celostátní plachtařské soutěže a ze zkušeností starších plachtařů. Z těchto hodnot se jeví jako nejlepší z hlediska výskytu stoupavých proudů v ČR tyto oblasti:

- Jičínsko, Podkrkonoší, Vysočina, Slezsko, Jesenicko, jihozápadní Čechy a Krušnohorský

Nejhůře jsou na tom naopak tyto oblasti:

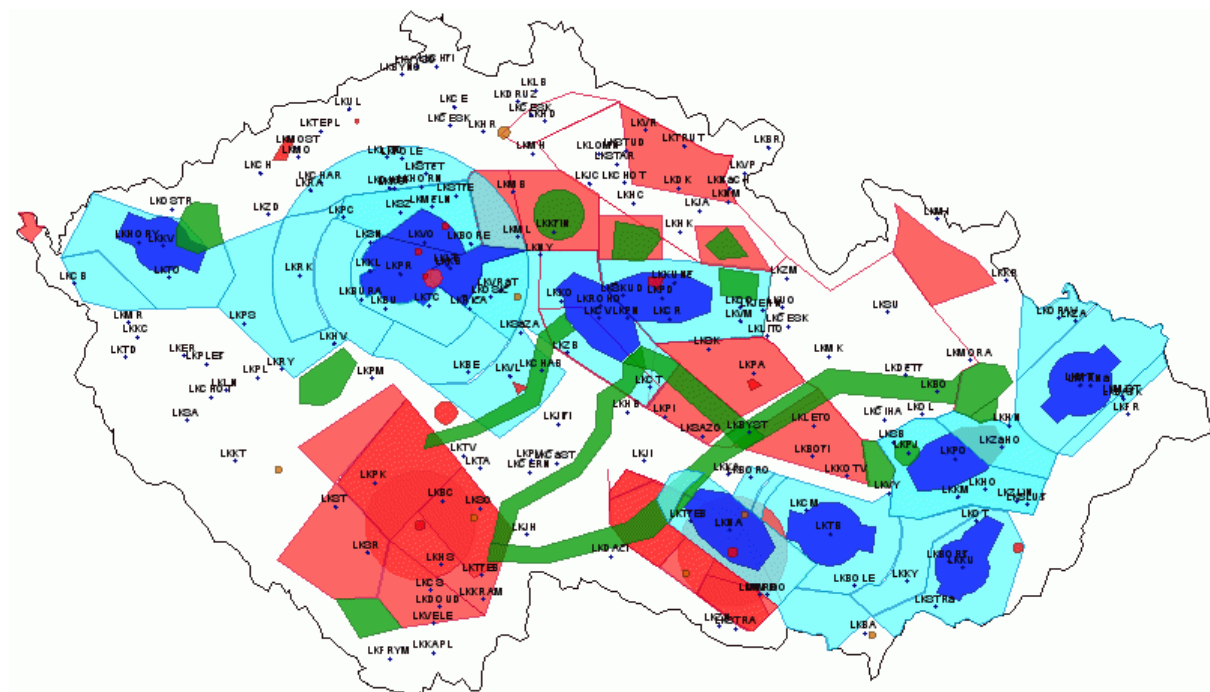
- Polabí, Hodonínsko, Olomoucko, avšak směrem na Hranice a Šumperk už jsou podmínky lepší.

Za malý výskyt termiky v těchto oblastech může zejména malá členitost terénu.



Obr. 4.3.1 Nejčastější výskyt konvekce nad našim územím (červené plochy) a oblasti statisticky nejslabších výskytů stoupavých proudů(modré plochy)

Tyto údaje jsou však ovlivněny rozdělením vzdušného prostoru nad našim územím, kde se vyskytuje množství zakázaných prostorů, omezených prostorů, nebezpečných prostorů, řízených prostorů a prostorů využívaných armádou, jak ukazuje obr. 4.3.2



Obr.4.3.2 – Rozdělení vzdušného prostoru nad našim územím

5 Výskyt termiky z časového hlediska

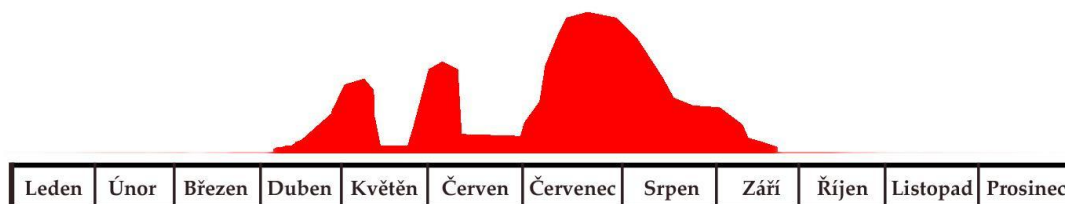
5.1 Výskyt termiky z hlediska roční doby

Pro pořadatele plachtařských závodů nebo aerokluby plánující plachtařská soustředění je výhodné mít přibližný přehled o klimatu v místě konání akce, neboť ji plánují zpravidla několik měsíců předem, v případě konání významnějšího plachtařského závodu i mnohem dříve. Dopředu lze sice těžko zaručit, že bude počasí pořadatelům nakloněno, avšak lze provést statistický rozbor výskytu termiky v daném místě a pokusit se přibližně určit nejvýhodnější termín pro pořádání akce. V této bakalářské práci je výskyt termiky z časového hlediska zobrazen na výskyt nad naším územím.

Konvekce se u nás začíná projevovat s nástupem jara, výrazněji od druhé poloviny dubna. V průběhu května díky rychlému prohřívání země roste nejrychleji teplota a výskyt termiky je o to častější a má delšího trvání. Po teplých květnových dnech přichází ochlazení a tím statisticky slabější výskyt termických stoupavých proudů. Po třech zmrzlících se pak u nás opět otepluje až do června. V červnu k nám proudí chladný oceánský vzduch (Evropský pseudomonzun), který nepříznivě ovlivní podmínky pro plachtění, někdy až na celý měsíc. V červenci, většinou nejteplejším měsíci roku, vrcholí léto a je to měsíc se statisticky největším výskytem konvekce u nás. Během tohoto měsíce také bývá uskutečněno největší množství termických přeletů. Tento zvýšený výskyt přeletů můžeme dát částečně za příčinu i letním prázdninám, avšak výskyt konvekce je zde i tak zcela prokazatelně nejvyšší a vrcholí v druhé polovině měsíce. Přesto však pro pořadatele plachtařských akcí nemusí být červenec vždy měsícem nejvýhodnějším, jelikož je to zároveň měsíc s vysokým výskytem srážek a bouřkové činnosti. Z jiných statistik však víme, že bouřky se u nás nejčastěji vyskytují začátkem července a na přelomu července a srpna, tudíž i tento fakt můžeme při plánování akcí na měsíc červenec zohlednit. V srpnu se začíná pomalu ochlazovat a pomalu klesá i výskyt termiky. Z hlediska pořádání plachtařských soustředění zejména pro začínající žáky je tento měsíc nejjistějším. Na přelomu srpna a září už klesají teploty rychleji a počasí je častěji stabilním. V průběhu září, během babího léta, nastávají poslední výrazněji vhodné podmínky pro plachtění.

Po žních je zároveň větší pestrost krajiny, tím i rozdílná rychlost prohřívání jednotlivých povrchů, tedy i rozdíl teploty vzduchu nad nimi, což umožňuje vznik termiky. Koncem září je statistický výskyt konvekce minimální a s nástupem ranních mlh, hlásících příchod stabilního

podzimního počasí, končí plachtařská sezóna. Výskyt termiky z časového hlediska je dán také polohou slunce nad horizontem – když je slunce níže, jak je tomu právě v zimě, musí projít tlustší vrstvou atmosféry, která pohltí více energie, než když je v nadhlavníku. Přesto se však konvekce, někdy dokonce provázená bouřemi vyskytuje také v zimě, avšak spíše ojediněle a ze statistického hlediska je její výskyt zanedbatelný.



Obr. 5.1.1 – Statistické znázornění intenzity výskytu termiky v průběhu roku

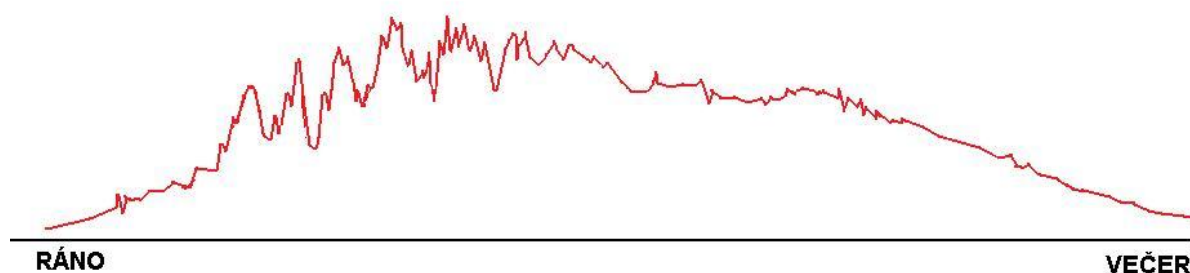
5.2 Výskyt termiky z hlediska denní doby

Při plánování termického přeletu je výhodné přemýšlet nad výskytem termiky také z hlediska jejího denního chodu. Zejména pokud si naplánujeme nějaký delší přelet je rozumné zvážit, zda už není k odchodu na trať příliš pozdě.

V průběhu dopoledne se po noci ochladlá zem začíná opět oteplovat, počasí se tedy mění velmi rychle. Stoupání je nejintenzivnější. Díky tomu, že se zemský povrch prohřívá nerovnoměrně, je však počasí turbulentní a plachtařské podmínky se rychle mění.

Odpoledne je již zemský povrch prohřátý rovnoměrněji a má podobnou charakteristiku nad širším územím. Základny kumulů jsou výše než dopoledne a stoupání je méně turbulentní.

Na večer termika slábne, občas se přesto ještě někde utrhne bublina na zahřátém místě, když okolí chladne rychleji a způsobuje tak poslední záchvěvy denního výskytu stoupání.



Obr. 5.2.1 – Znázornění průběhu intenzity termického stoupání během dne

6 Předpověď termiky

Následující kapitola čerpá informace především z [2] a [3] .

Pro úspěšnou předpověď termického proudění musíme mít k dispozici co nejvíce dostupných informací.

Vhodné zdroje informací pro předpověď termiky:

- Poslední dostupný aerologický diagram.
- Předpovědní aerologické diagramy. Tyto diagramy jsou ale málo přesné, vycházejí z numerologického modelu, který je počítán jen pro některé vrstvy. Může tak dojít k zanedbání některých vrstev mezi dvěma hladinami, které ve výsledné předpovědi nebudou zahrnuty.
- Průběh konvekce ze zkušenosti plachtařů, kteří létali předešlý den – zde musíme brát v úvahu fakt, že subjektivní pocity jednotlivých plachtařů se mohou lišit od skutečného průběhu.
- Směr vzdušného proudění. Směr proudění nám totiž může napovědět následující:

Východní kontinentální proudění přináší suchý, teplý vzduch. Tvoří se jen malá nebo žádná kupovitá oblačnost.

Jižní vítr přináší oteplování ve všech hladinách a zhoršování termiky.

Jihozápadní proudění přináší vlhký vzduch, nejčastěji přechodem studené fronty a tím zlepšení termiky.

Severozápadní a severní vítr přináší chladný vlhký vzduch, velké množství oblačnosti s deštěm. Toto počasí je pro plachtění nevyužitelné.

Pro vznik konvekce je v podmínkách ČR příhodné:

Aby ve výšce byla teplota vzduchu co nejnižší a při zemi naopak co nejvyšší. Odhadem teploty při zemi se dopočítáme gradientu mezi zemí a hladinou 850 hPa. Je-li tento pokles okolo $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ anebo vyšší, jsou příhodné podmínky pro vznik termiky.

Dalším činitelem majícím vliv na termiku je gradient teplot těsně u země ve vrstvě silné několik stovek metrů. Zde je výhodný gradient $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ a vyšší. Jeho hodnotu určíme

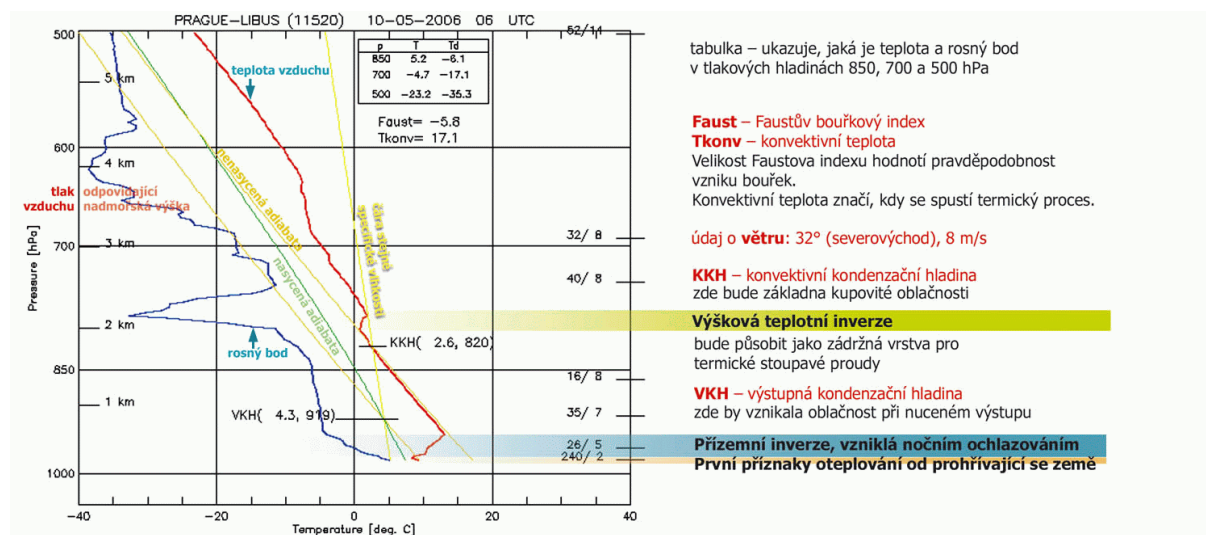
ranním výstupem, kdy pozorujeme přízemní inverzi a teploty a výšky získáme na místě zlomu této inverze.

Dále je důležité, aby čára teploty po celém rozsahu vrstvy mezi zemí a kondenzační hladinou udržovala kritérium instability, tedy aby její sklon byl stejný nebo strmější než sklon nasycené adiabaty. Ta je v diagramu také zakreslena. Plocha mezi adiabatou a teplotní křivkou nám určuje energii, kterou má ohřátý vzduch stoupající od země.

Aby panovalo ideálně jihozápadní proudění, které, jak již bylo řečeno, přináší vlhký vzduch, nejčastěji přechodem studené fronty a tím zlepšení termiky.

6.1 Aerologický diagram

Aerologický diagram je výstupem z měření meteorologické sondy, vypouštěné 4x za den, v České republice z Prahy a Prostějova. Řešíme v něm vertikální průběh teploty, vlhkost a tlak vzduchu, případně ještě i proudění větru v různých výškových hladinách.



Obr. 6.1.1 – Aerologický diagram ^[3]

Předpověď konvekce pomocí aerologického diagramu:

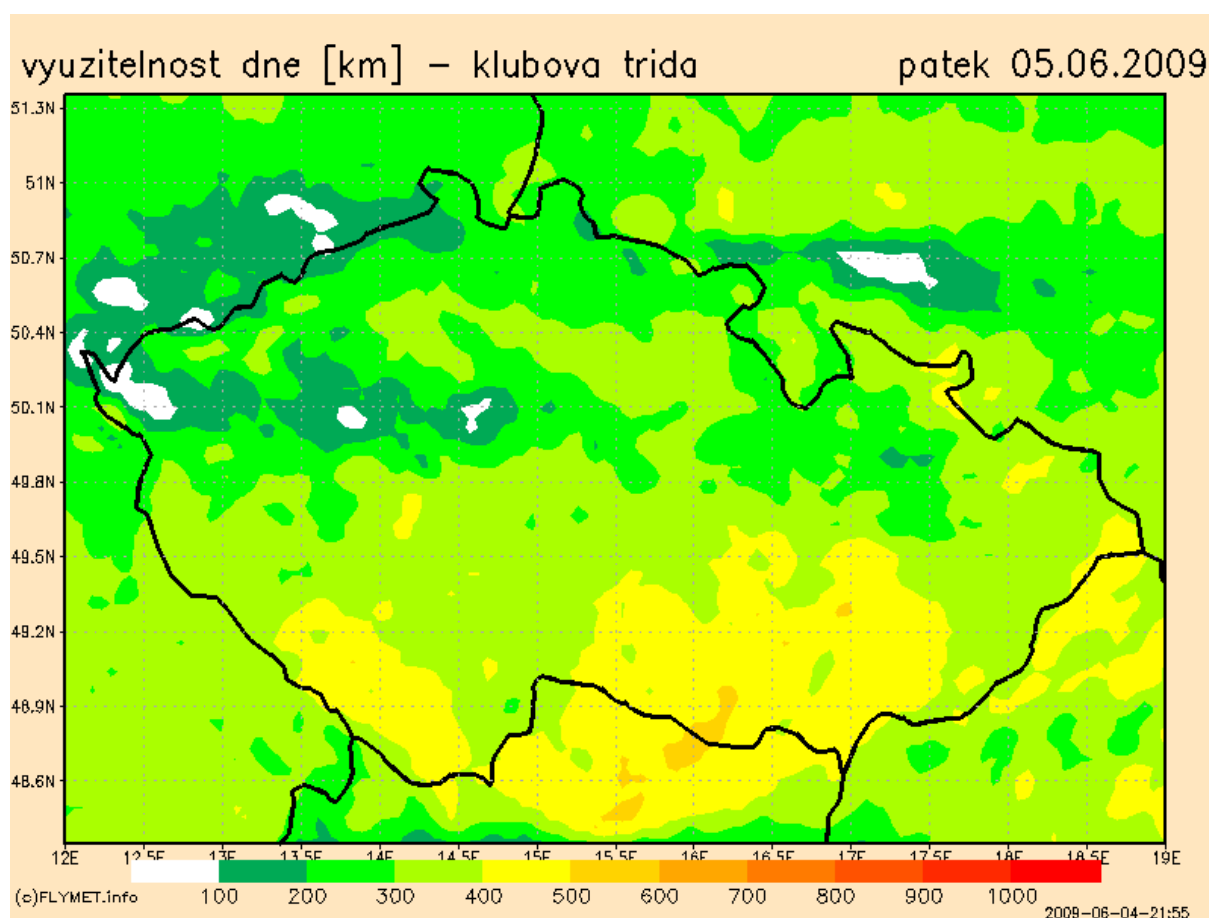
- Na diagramech z ČHMÚ, vidíme dvě nepravidelné křivky – červenou a modrou. Červená křivka značí průběh teploty vzduchu podél vertikály, modrá křivka znamená průběh teploty rosného bodu. Rozdíl obou teplot, který odpovídá vzdálenosti obou křivek podél vodorovné osy, symbolizuje relativní vlhkost. Čím blíže je křivka rosného bodu teplotní křivce, tím je vlhkost vzduchu větší a tím níže leží základna kupovitých oblaků, bude jich více a jejich vertikální rozsah bude větší.
- Na grafu jsou ještě další čáry, téměř přímkové. Oranžová čára s poklesem o 10°C na 1 km výšky značí tzv. nenasycenou adiabat. To je křivka, ukazující změnu teploty s výškou pro nenasycený vzduch. Právě pomocí nenasycené adiabaty snadno rozeznáme, zda se teplota (červená křivka) atmosféry mění tak, aby atmosféra byla instabilní nebo ne – přímo v grafu porovnáváme obě čáry a vidíme, zda křivka teploty je vůči nenasycené adiabatě strmější, méně strmá anebo zhruba totožná. Posuzujeme-li, zda nastane termika či nikoliv, pohlédneme určitě nejdřív právě na toto kritérium instability – zhodnotíme, zda vertikální změna teploty dosahuje či dokonce přesahuje

hodnotu $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ výšky čili $10^{\circ}\text{C}/1\text{ km}$ výšky. Zelená čára představuje nasycenou adiabatu s poklesem o 6°C na 1 km výšky.

- V diagramu, který můžeme vidět na internetových stránkách ČHMÚ, je vyznačena také VKH a KKH. Zkratka VKH znamená výstupnou kondenzační hladinu – to je taková výška, v níž dojde ke kondenzaci vodní páry, pokud je vzduch nucený k výstupu do výšky. K tomu dochází například při proudění přes horskou překážku, kde nad návětrnou stranou vzduch stoupá nikoliv „dobrovolně“, ale nuceně.
- KKH znamená konvektivní kondenzační hladinu. Zde nastává kondenzace vodní páry při termickém výstupu, tedy takovém, kdy vzduch stoupá sám od sebe, protože je teplejší a lehčí, než jeho okolí. KKH je tedy hladinou, kde najdeme základnu kupovité oblačnosti při dané teplotě a vlhkosti. Protože se vzduch během dne vysušuje, dochází postupně ke zvyšování KKH a kupovitá oblaka mohou dokonce během dne úplně zaniknout, neboť KKH je pak výše, než jaký je dostup termických proudů.
- Na diagramu najdeme ještě tabulku s bouřkovým Faustovým indexem, jenž nám napovídá, jestli je stav atmosféry natolik instabilní, aby došlo k bouřkám. Je však potřeba považovat tento index pouze za zběžné vodítko, nikoliv za směrodatnou veličinu.
- Na levé straně diagramu je výšková stupnice a současně údaje o atmosférickém tlaku – tlak je totiž také možno považovat za vyjádření vertikální souřadnice. Levá strana diagramu nám tudíž přímo ukazuje, jaký je tlak vzduchu v dané výšce a můžeme z toho posoudit, zda je v příslušné hladině nižší, standardní či vyšší tlak vzduchu. Pravá strana diagramu vyjadřuje směr a rychlost větru v různých hladinách. Vítr se měří sice nepřetržitě během výstupu sondy, do grafu se vynáší jen zlomové hladiny, ve kterých je výraznější změna vektoru větru.

6.2 Moderní informační zdroje

Dnešní plachtař má díky rychlému rozvoji informačních technologií daleko méně práce s předpovědí vhodného počasí, než měli jeho předchůdci. Pokud má k dispozici počítač s připojením na internet, najde zde většinou informací, potřebných ke kvalitní předletové přípravě. Např. na stránkách ČHMÚ (www.chmi.cz) si může najít nejen aerologické diagramy, ale také předpovědi pro sportovní letectví, které mohou výrazně pomoci v rozhodování kdy a kterým směrem se vydat na termicky přelet. Z dalších webových stránek bych zmínil zejména stránku www.flymet.info, která nároky na pilota připravujícího se na termický přelet snižuje na minimum. Najde zde například mapku, která, jak demonstruje obrázek 6.2.1, pilotovi napoví, kde v České republice bude v daný den nejlepší počasí pro termický přelet a jakých uletěných vzdáleností bude na přeletu možno dosáhnout.



Obr. 6.2.1 – Předpovědní mapa potenciální délky přeletů z webu www.flymet.info

Na různých fórech, jaké najdeme u nás např. na stránkách www.gliding.cz, si plachtaři mohou předávat mezi sebou zkušenosti ze svých letů. Na stránkách celostátní plachtařské soutěže (www.cpska.cz) jsou pak k vidění analýzy přeletů plachtařů, kteří se do této soutěže zapojili. Jejich studováním se člověk rovněž mnohému přiučí, je zde např. možné zkoumat přelety nejúspěšnějších plachtařů, kteří jsou v soutěži na předních příčkách.

Internet je tedy neustále se rozvíjejícím informačním zdrojem, který nejen zkrátí čas přípravy, ale zároveň, je-li vhodně využíván, dokáže přípravu také zkvalitnit.

7 Termika z pohledu motorového pilota - vlekaře

Ačkoli let letounu, jakožto letadla s motorem, není běžně příliš závislý na výskytu stoupavých proudů, je právě motorový pilot většinou tím, kdo kluzák doveđe během aerovleku do stoupavého proudu. Pilot vlekař by měl mít alespoň základní vědomosti o plachtění, neboť svou činností může plachtaře uvést do výhodných startovních podmínek, nebo mu naopak může začátek letu dostatečně zkomplikovat.

Navíc, i pokud se nejedná o aerovlek někam poblíž startovní pásky během významného závodu, ale třeba jen o běžný výcvikový let do pár set metrů nad letiště, je dobrý vlekař pro plachtaře cenným pomocníkem. Už jen z ekonomického hlediska každá minuta aerovleku stojí nemalé peníze, a pokud bude pilot - vlekař přemýšlet a během aerovleku bude směřovat letoun (a tím celý aerovlek) do oblasti stoupavých proudů, bude moci jejich energii využít jako pomocnou a celá doba do vypnutí kluzáku bude o to kratší. Taktéž pokud bude vlekař přemýšlet, kudy a jak po vypnutí co nejrychleji sestoupit zpět k letišti, ušetří další sekundy a jak z praxe víme, oproti některým vlekařům bohužel i minuty.

Pilot vlekař by tedy měl:

- Sledovat spolu s plachtaři vývoj počasí.
- Před vzletem zjistit o počasí vše, co lze poznat pohledem ze země (směr a síla větru, poloha konvekční oblačnosti aj).
- Využít zkušenosti s výskytem známých místních stoupavých proudů v okolí letiště.
- Vyskytuje-li se svahové proudění, využít jej.
- Vletí-li do stoupavého proudu, pokusit se jej ustředit a pokračovat ve stoupání v něm.
- Během silnější turbulence by měl věnovat zvýšenou pozornost rychlosti – při stoupání nelétat v blízkosti minimální rychlosti, ani při vyšší rychlosti, aby nepřekročil provozní omezení kluzáku. Navíc některé závodní kluzáky mají vyšší pádovou rychlost, než vlečný letoun, na což musí vlekař také brát zřetel.
- Pokud letí v jednom dni více aerovleků, využívat během každého dalšího poznatky z dřívějších aerovleků, popř. vlekat do stoupavých proudů, které úspěšně využívali plachtaři startující dříve.



8 Závěr

Pochopení stoupavých proudů je podmínkou jejich správného využívání. Snahou této práce je seznámit se základními druhy proudění, vyskytujícími se nad naším územím, zejména pak s termickou konvekci. U termické konvekce jsem na základě statistických údajů určil místa a období jejího nejčastějšího výskytu. Hodnoty pro tyto statistiky byly čerpány z archivů aeroklubů, archívu celostátní plachtařské soutěže a ze zkušeností pilotů. Takto zpracované údaje mohou pomoci např. při určení nejvhodnější doby v roce pro pořádání plachtařských akcí, či nejvhodnější denní doby pro zahájení termického přeletu. Také mohou při plánování trati pilotovi ukázat oblasti České republiky, nad kterými nejčastěji vedly trasy úspěšných plachtařských přeletů.

Tato práce je určena plachtařům, především začínajícím, ale také pilotům vlečných letounů, kdy oběma skupinám může pomoci k vytvoření alespoň rámcové představy o stoupavých proudech, se kterými se mohou setkat při letech nad územím České republiky.

9 Seznam použité literatury

- [1] *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*, 1993. Praha: Academia + MŽPČR.594s.
- [2] DVOŘÁK, P. *Letecká meteorologie*. 2004. Cheb: Svět křídel. 221s.
- [3] DVOŘÁK, P. *Jak to vlastně je s tím aerologickým diagramem*. Aeroweb.cz[Online] 17. květen 2006. [Citace: 21.březen 2009].
<http://www.aeroweb.cz/clanek.asp?ID=183&kategorie=29>
- [4] LEXMANN, E. *Meteorológia pre športového pilota*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1989. 248s.
- [5] DVOŘÁK, P. *Termika aneb vyšší škola plachtění*. Cheb: Svět křídel, 2002. 226s.
- [6] FÖRCHGOTT, J. *Turbelence vzdušného proudu za horskými hřebeny*. In *I. celostátní meteorologická konference v Bratislavě 21.X. – 25.X. 1952*. Sborník dokumentů. Praha: Státní meteorologický ústav v Praze, 1953. Str. 109 – 122.
- [7] NEDELA, M. *Prehľad leteckej meteorológie*. Bratislava: Alfa, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1984. 222s.
- [8] *Let za snížených povětrnostních podmínek*. Praha: Naše vojsko, 1963. 312s.
- [9] *Meteorologie pro sportovní letce*. Praha: Naše vojsko, 1963 268s.
- [10] *Meteorologie (050 00) , Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR – FCL 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006.