



***Problematika lietania v horskom  
teréne***

**Jaroslav Ilčin, Bc.**

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Spodná vrstva troposféry</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Meteorologické polia v horských oblastiach</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Pole vetra</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Turbulencia</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1.1.1</b>	<b>Mechanická turbulencia</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1.1.2</b>	<b>Termická turbulencia</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.1.3</b>	<b>Dynamická turbulencia</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Dolinné a horské vetry</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Orografické vetry</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Pole teplotné</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>Pole tlakové</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4</b>	<b>Pole vlhkosťové</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Vlnové oblaky</b> .....	<b>15</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Kopovitá oblačnosť</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Föhnový oblak</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Hmly</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Námraza</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4.6</b>	<b>Vplyv orografie na fronty</b> .....	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Charakteristika letiska Poprad – Tatry</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Klimatologická charakteristika letiska Poprad – Tatry</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Teplotné pomery</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Zrážkové pomery</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Vietor</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Mimoriadne udalosti na letisku Poprad – Tatry spôsobené nepriaznivými meteorologickými podmienkami</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Postrehy od posádok lietadiel o špecifických vplyvoch počasia</b> .....	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Zoznam použitých zdrojov</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Zoznam použitých skratiek, symbolov a veličín</b> .....	<b>32</b>

# 1 Úvod

Počasie je jedným z hlavných obmedzujúcich faktorov pôsobiacich na leteckú prevádzku. Lietanie v horskom teréne alebo jeho blízkosti si preto vyžaduje nielen jeho dokonalú znalosť, ale aj znalosť špecifických meteorologických javov, s ktorými sa môže pilot v tomto prostredí stretnúť. Nástrah, ktoré v horskom teréne vplývajú na bezpečnosť letu, je množstvo. Pilot musí poznať ich vplyv na lietadlo pri zohľadnení jeho technických parametrov. Trasu svojho letu musí plánovať tak, aby už počas prípravy na let vylúčil možné vplyvy, ktoré by mohli bezpečnosť letu negatívne ovplyvniť. Znalosť všetkých nebezpečných javov, predvídanie a prispôsobenie taktiky letu tomuto prostrediu rozhodne eliminujú prípadné zdroje chýb. Taktiež je potrebné venovať zvýšenú pozornosť oboznámeniu sa so situáciou a priletovými a odletovými postupmi na letiská v horskom teréne alebo jeho blízkosti.

## 2 Spodná vrstva troposféry

Atmosféra a zemský povrch na seba navzájom pôsobia a ovplyvňujú sa. Vplyv zemského povrchu na pole meteorologických prvkov sa najviac prejavuje v hraničnej vrstve. Ak hraničnú vrstvu atmosféry posudzujeme z hľadiska prúdenia, t.j. uvažujeme o nej ako o vrstve, v ktorej sa prejavuje trenie prúdiaceho vzduchu o zemský povrch, hovoríme o vrstve trenia. Obdobne definujeme teplotnú alebo vlhkosťnú hraničnú vrstvu ako vrstvu, v ktorej je denný chod teploty alebo vlhkosti ovplyvňovaný podkladom.

Podľa [16] hraničná vrstva atmosféry dosahuje od zemského povrchu do výšky niekoľko stoviek m až približne 2 km, čo odpovedá zhruba výške izobarickej hladiny 850 hPa, a výška jej hornej hranice rastie so zväčšujúcou sa drsnosťou zemského povrchu, s rýchlosťou vetra a s rastúcou instabilitou teplotného zvrstvenia v ovzduší. Inými slovami môžeme povedať, že horná hranica hraničnej vrstvy atmosféry je výška, v ktorej vektor vetra prestáva byť ovplyvňovaný zemským povrchom (trením apod.) a pohyb vzduchových častíc je spôsobovaný len silou tlakového gradientu, silou zemskej tiaže a uchylujúcou silou zemskej rotácie. Nad touto výškou sa aj v teplote vzduchu prakticky neprejavuje denný chod. Hovoríme o voľnej atmosfére a pre nás, z hľadiska letov v blízkosti hôr, nemá žiaden ďalší význam.

Súčasťou hraničnej vrstvy atmosféry je aj prízemná hraničná vrstva, tiež nazývaná vrstva konštantného toku. Siahá len do výšky 100 m nad povrchom zeme. Môžeme rozlišovať turbulentnú a laminárnu hraničnú vrstvu podľa toho, či v nej je turbulentné alebo laminárne prúdenie. Reálna hraničná vrstva atmosféry je spravidla turbulentná. Laminárne prúdenie sa vyskytuje len nad hladkými typmi povrchu (napr. nad vodnou hladinou pri slabom vetre, alebo nad uhladenou snehovou pokrývkou) v tenkej vrstve vzduchu s hrúbkou radovo  $10^{-3}$  až  $10^{-2}$  m v tzv. laminárnej vrstve alebo laminárnej podvrstve.[16]

Ku klimatologickému hodnoteniu režimov prúdenia vzduchu patria predovšetkým teplotné zvrstvenie ovzdušia, priestorový rozptyl znečisťujúcich prímiesí, denné a ročné zmeny teploty a vlhkosti vzduchu v hraničnej vrstve, ktoré sú ovplyvňované tvarom reliéfu a drsnosťou zemského povrchu, jeho teplotou, schopnosťou odrážať slnečné žiarenie, vyparovať vodu, vlastnosťami pôdy apod.

### 3 Meteorologické polia v horských oblastiach

Ako uvádza [16] pod pojmom pole meteorologického prvku rozumieme priestorové rozloženie tohto prvku v atmosfére. Rozlišujeme tlakové a teplotné pole, pole vetra, zrážok atď. Podľa ich charakteru delíme pole meteorologického prvku na skalárne a vektorové, spojité a nespojité. Analýza polí meteorologických prvkov sa prevádza na meteorologických mapách a rezoch atmosférou pomocou izolínií, kriviek zmien meteorologických prvkov s výškou, obalových kriviek apod. Dôležitými charakteristikami meteorologických polí sú vertikálne a horizontálne gradienty meteorologických prvkov (napr. teploty vzduchu).

Meteorologickými poľami v horských oblastiach sa zaoberá horská meteorológia. Zaoberá sa poveternostnými, v širšom zmysle aj klimatickými zvláštnosťami horských oblastí, ktoré sú podmienené predovšetkým nadmorskou výškou, členitosťou horského reliéfu a orientáciou horských hrebeňov vzhľadom ku smeru prevládajúceho prúdenia vzduchu. Študuje vplyv hôr na pole vetra, teploty, zrážok a oblačnosti, ktorým sa podrobne venujeme v ďalších podkapitolách.

Horská klíma sa vyznačuje nižším tlakom vzduchu, intenzívnejším slnečným žiarením, bohatým predovšetkým na ultrafialovú zložku, čistotou vzduchu, nižšou teplotou vzduchu, jej menšou ročnou amplitúdou a väčšou rýchlosťou vetra v porovnaní s príľahlými nížinami. Veľkosť priemernej dennej amplitúdy teploty vzduchu je podstatne ovplyvnená konvexným tvarom reliéfu a výrazne klesá na hrebeňoch hôr. Vplyvom orografického zosilnenia zrážok ich úhrny s výškou obvykle vzrastajú až po hladinu inverzie zrážok, ich rozloženie však závisí aj na expozícii svahov.

#### 3.1 Pole vetra

Poľom vetra rozumieme vektorové spojité pole veľkosti a smeru rýchlosti vetra, alebo skalárne spojité pole veľkosti rýchlosti vetra. Pole vetra je spojené s cirkuláciou atmosféry a významne ovplyvňované členitosťou a drsnosťou zemského povrchu. V meteorologickej praxi sa skôr stretávame s dvojrozmernými poľami vetra vo zvolených hladinách. Rozlišujeme pole prízemného vetra, pole výškového vetra v jednotlivých izobarických hladinách apod. Iným príkladom môže byť pole vetra vo zvolenom vertikálnom reze atmosférou. Dvojrozmerné pole vetra graficky popisujeme pomocou izotach.[16]

V ďalších podkapitolách poľa vetra sa zameriavame na interakciu medzi vetrom a horským prostredím. Sústreďíme sa na turbulenciu a jej druhy, dolinné a horské vetry, ako aj pre horský terén typický föhnový efekt.

##### 3.1.1 Turbulencia

Turbulentným prúdením rozumieme neusporiadaný pohyb vzduchu, ktorého prúdnice tvoria víry s ľubovoľnou orientáciou os voči zemskému povrchu. Výsledkom letu v turbulentnom prostredí sú sily pôsobiace na lietadlo v rôznych smeroch a následne udeľovanie prídavných zrýchlení. Prelet takýmto prostredím je ako pre lietadlo, tak aj pre posádku a cestujúcich

nepríjemný. Prídavné zrýchlenia môžu niekedy dosahovať hodnoty prekračujúce medzu pevnosti a tým môže dôjsť k vážnemu poškodeniu lietadla. Turbulencia je preto v letectve klasifikovaná ako nebezpečný jav, ktorý je pozorovaný a hlásený zvláštnymi výstrahami, ako sú správy SIGMET a AIRMET<sup>1</sup> a je vyznačovaná v mapách význačného počasia (SW-mapy).

Čo sa týka merania intenzity turbulencie, používajú sa akcelerometre umiestnené v prednej časti lietadla. Intenzita je vyjadrená veľkosťou zrýchlenia, ktoré turbulencia udeľuje lietadlu. Vyjadruje sa v desatinách g.

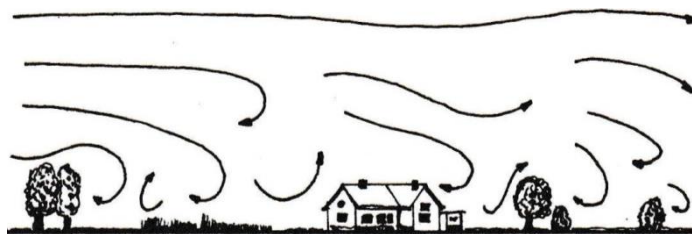
**Tab.1:** Klasifikácia turbulencie podľa intenzity [5]

Intenzita turbulencie	Zrýchlenie	Prejavy
<b>Slabá</b>	do 0,2 g	Malé náklony lietadla, u citlivých ľudí môže spôsobiť nepríjemné pocity
<b>Mierna</b>	0,2-0,5 g	Silnejšie nárazy, ktoré u niektorých osôb vyvolávajú nevoľnosť a chôdza v kabíne lietadla je obtiažna. Lietadlo je však stále možné udržať v letovej hladine
<b>Silná</b>	0,5-1,0 g	Prudké výkyvy lietadla, letovú hladinu nie je možné udržať, chôdza v kabíne je nemožná. Nutnosť použiť bezpečnostné pásy
<b>Veľmi silná</b>	nad 1 g	Môže dôjsť k mechanickým poškodeniam lietadla

Podľa príčiny vzniku delíme turbulenciu na mechanickú, termickú a dynamickú.

### 3.1.1.1 Mechanická turbulencia

Vzniká v dôsledku trenia prúdiaceho vzduchu o zemský povrch, a to už pri rýchlosti 7-10 m.s<sup>-1</sup> prevažne v horskom teréne. Nevylučuje sa jej výskyt ani nad relatívne rovným terénom. Podstatou vzniku je vytvorenie vírov pri nelaminárnom obtekaní či už horských, alebo v prípade rovinného terénu iných prekážok. Jednotlivé víry sa môžu tvoriť napríklad za budovami, lesmi apod.



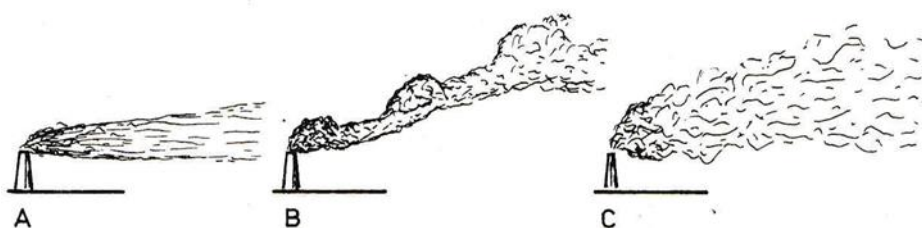
**Obr. 1** Mechanická turbulencia vznikajúca nad a za prekážkami[6]

<sup>1</sup> AIRMET: výstraha o výskyte alebo očakávanom výskyte nebezpečných javov vo výškach pod letovú hladinou 100, pričom AIRMET predstavuje opravu predpovede nebezpečných javov GAMET [8]



**Obr. 2** Turbulentná zóna (vyznačená bodkovaním) vznikajúca v divergentom prúdení v závetrí horskej prekážky[6]

Mechanická turbulencia siaha do pomerne malých výšok (iba niekoľko 100 metrov nad terénom). Je nebezpečná ako pre dopravné, tak aj pre poľnohospodárske letectvo či plachtenie, stavebno-montážne práce s vrtuľníkmi, horskú záchrannú službu apod. V dopravnom a poľnohospodárskom letectve postihuje lietadlá najmä v najkritickejšej fáze letu, čiže pri vzletoch a pristávaní. Inými slovami môžeme povedať, že tento druh letectva ovplyvňujú práve víry vzniknuté na rovinnom teréne v dôsledku vyššie spomenutých prekážok. Zvlášť významná mechanická turbulencia pri prúdení cez horské hrebene postihuje hlavne vrtuľníky, ktoré lietajú v náročnom horskom teréne. Výskyt turbulencie v prízemnej vrstve môžeme zistiť podľa tvaru dymovej vlečky vychádzajúcej z komína.

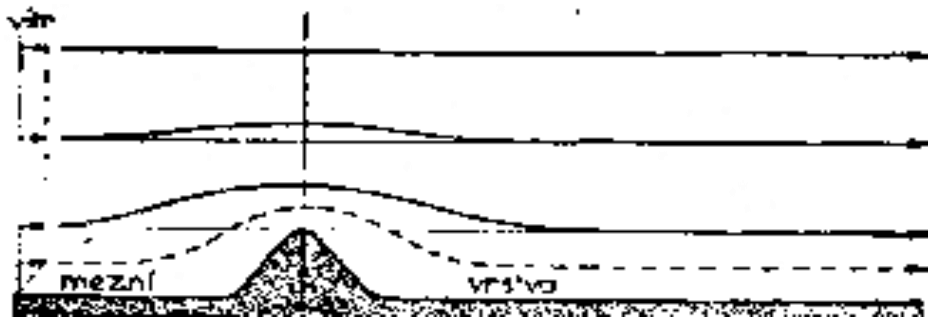


**Obr. 3** Tvary dymových vlečiek[6]

- A – laminárne prúdenie pri stabilnom zvrstvení a slabom vetre
- B – prúdenie v prípade konvekcie
- C – turbulentné prúdenie pri silnejšom vetre

V ďalšej časti výkladu o mechanickej turbulencii rozoberieme už podrobne skupiny javov, ktoré vznikajú pri prúdení vzduchu cez horské prekážky. Pretekanie vzdušného prúdu cez horské prekážky spôsobuje na náveternej strane výstupné a na záveternej strane zostupné pohyby vzduchu. Podľa Förchtgottovej klasifikácie záveterného turbulentného prúdenia rozlišujeme tri typy, ktoré spomenieme v nasledujúcich podkapitolách.

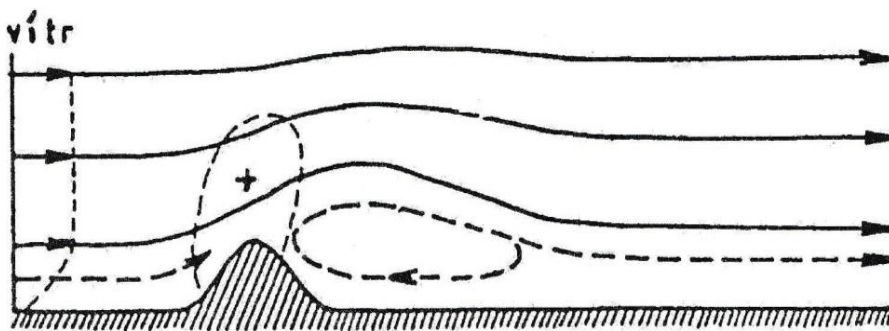
Pre lepšiu predstavu ešte predtým uvádzame a stručne opisujem elaminárne prúdenie. Budeme predpokladať horský hrebeň za dostatočne dlhý so stálym prevýšením  $h$  a vzdušný prúd mnohonásobne prevyšujúci túto prekážku so smerom kolmým na ňu. Pre laminárne prúdenie teda platí, že pri nepatrnej rýchlosti vetra si zachováva obtekanie prekážky laminárny charakter. Tesne nad povrchom terénu sa vytvorí tenká medzná vrstva. [10]



Obr. 4 Laminárne prúdenie za hrebeňom[10]

### Vírové prúdenie

Pri vyšších rýchlostiach vetra za inak nezmenených vyššie spomenutých podmienok nastáva za vrcholom hrebeňa odtrhnutie medznej vrstvy od prekážky, takže priestor priľahlý k záveternému svahu a k blízkej časti záveterného terénu je vyplnený vírom. Za hrebeňom sa vyskytuje slabá nárazovitosť, slabý vietor proti svahu a výstupný pohyb pozdĺž záveterného úbočia. Priestor s maximálnou hodnotou výstupnej zložky prúdenia sa v hladinách nad úrovňou prekážky posúva až priamo nad horský hrebeň. Vo vyšších hladinách vlnová deformácia slabne. K vzniku je potrebné stabilné teplotné zvrstvenie.

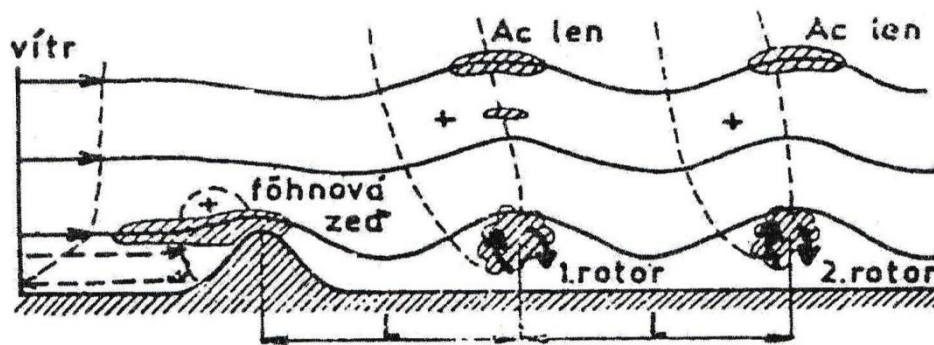


Obr. 5 Vírové prúdenie za hrebeňom (podľa J. Förchtgotta)

### Vlnové prúdenie

Ďalšie zosilnenie vetra aspoň na 15 kt v rozsahu prúdiacej vrstvy podporuje periodické uvoľňovanie vírov, ktoré sa postupne odpútavajú od záveterného priestoru. Usporiadáním mohutných vírov s horizontálnou osou rovnobežnou s horským hrebeňom vzniká za hrebeňom stabilný turbulentný systém, ktorý vnucuje prúdeniu v záveternom priestore výraznú, mnohokrát opakovanú vlnovú deformáciu.





*Obr. 6 Vlnové prúdenie za hrebeňom (podľa J. Förchtgotta)*

Najväčšia amplitúda vln sa vyskytuje v priestore prvej vlny za hrebeňom, so vzdialenosťou od prekážky sa vlnová deformácia postupne tlmí. Vzdialenosť prvého víru od hrebeňa odpovedá dĺžke vlny závislej predovšetkým od prevýšenia prekážky ( $L = 8-10 h$ ). Oblasť rotorov je pre prelet lietadla veľmi nebezpečná, pretože vertikálne rýchlosti v nich sú 20-30 m/s, čo je veľmi silná turbulencia.

Oblaky, ktoré vznikajú pri uvedenom type prúdenia, spomenieme v podkap. 3.4.1

Podľa [9] vlnové poruchy sa šíria do rôznych výšok. Najčastejšie sa vyskytujú v troposfére, kde sú najlepšie preskúmané, objavujú sa však aj v stratosfére. Vlnové prúdenie vzniká pri nasledujúcich podmienkach:

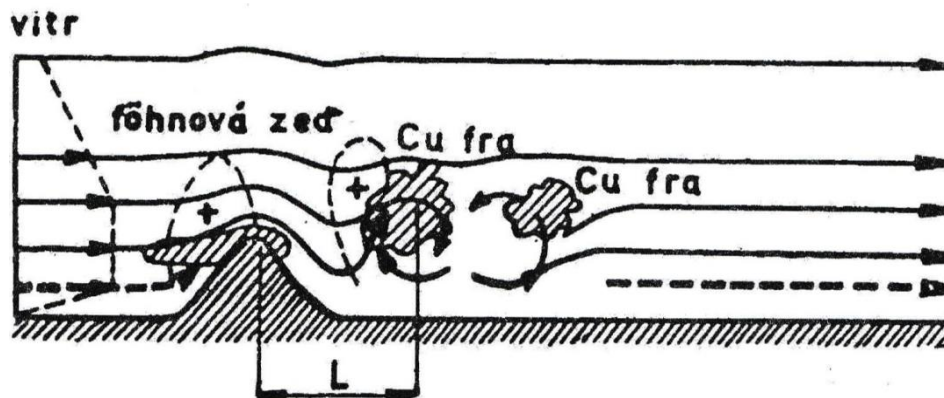
1. V blízkosti úrovne vrcholu hory je prítomná stabilná vrstva atmosféry, nad a pod touto vrstvou sa nachádzajú vrstvy s menšou stabilitou.
2. Vektor rýchlosti prúdenia sa v horizontálnej rovine odchyľuje od kolmice k hrebeňu prekážky maximálne o  $\pm 30^\circ$
3. Rýchlosť prúdenia je väčšia, než určitá minimálna hodnota  $v_{\min} = 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pre výšku prekážky 1 km a  $v_{\min} = 15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  pre výšku prekážky 4 km.

Turbulencie bývajú aj nad hladinou rotorov, do výšky asi štvornásobného prevýšenia hrebeňa. Förchtgott túto vrstvu nazýva aktívnou turbulentnou vrstvou. Pri prelete sa vyskytujú v záveternom priestore striedavé pásma silného klesania a stúpania, ktoré znemožňujú lietadlám udržať určitú letovú hladinu. Vlnové deformácie prúdenia taktiež vyvolávajú zmeny tlaku vzduchu, ktorých príčinu uvádzame v podkap. 3.3.

### **Rotorové prúdenie**

Posledným, veľmi podobným typom vlnového prúdenia je rotorové prúdenie. Vzniká pri rovnakých podmienkach ako vlnové prúdenie, avšak za predpokladu, že výška prúdiacej vrstvy je pomerne malá, porovnateľná s výškou prekážky. V závetrí vznikajúce rotory sa k sebe priblížia do tesnej blízkosti a k vlnovej deformácii nedôjde, pretože rotory vyplnia prakticky celú hrúbku prúdiacej vrstvy. Táto vrstva je opäť charakteristická silnou turbulenciou a prelet v nej je nebezpečný.

Štruktúra aktívnej turbulentnej vrstvy je nezmenená, avšak rozmery sú častokrát nižšie ako 4h. Vertikálnemu zníženiu systém aktívnej turbulentnej vrstvy odpovedá aj úmerne kratšia dĺžka vlny (až polovičná). Intenzita jednotlivých vírov blízko za hrebeňom je rovnaká ako pri vlnovom prúdení.[10]



Obr. 7 Rotorové prúdenie za hrebeňom (podľa J.Förchtgotta)

### 3.1.1.2 Termická turbulencia

Turbulencia vyvolávaná vztlakovými silami podmienenými nehomogenitou teplotného poľa, ktorú spôsobuje nerovnorodý zemský povrch. V podstate ide o termickú konvekciu sledovanú z hľadiska jej „turbulentného“ účinku, napríklad na lietadlo. Jav sa vyznačuje výrazným denným chodom najmä v rovnorodnej vzduchovej hmote, s maximom v popoludňajších hodinách.[8] Tento typ turbulencie sa vyskytuje pri instabilnom teplotnom zvrstvení za slnečného počasia, pri ktorom sa vzduch rýchlo zohrieva. Turbulencia začína obyčajne predpoludním a vrcholí v popoludňajších hodinách. Večer sa zoslabuje.

### 3.1.1.3 Dynamická turbulencia

Posledným typom turbulencie je dynamická turbulencia. Tá nie je závislá od horského terénu a vyskytuje sa len v hornej časti troposféry vo forme jet streamu. Pre úplné rozdelenie aspoň uvádzame krátku charakteristiku. Dynamická turbulencia vzniká pôsobením vnútorného trenia medzi vrstvami s rozdielnym smerom a rýchlosťou prúdenia, čiže v oblasti s výrazným strihom vetra.

## 3.1.2 Dolinné a horské vetry

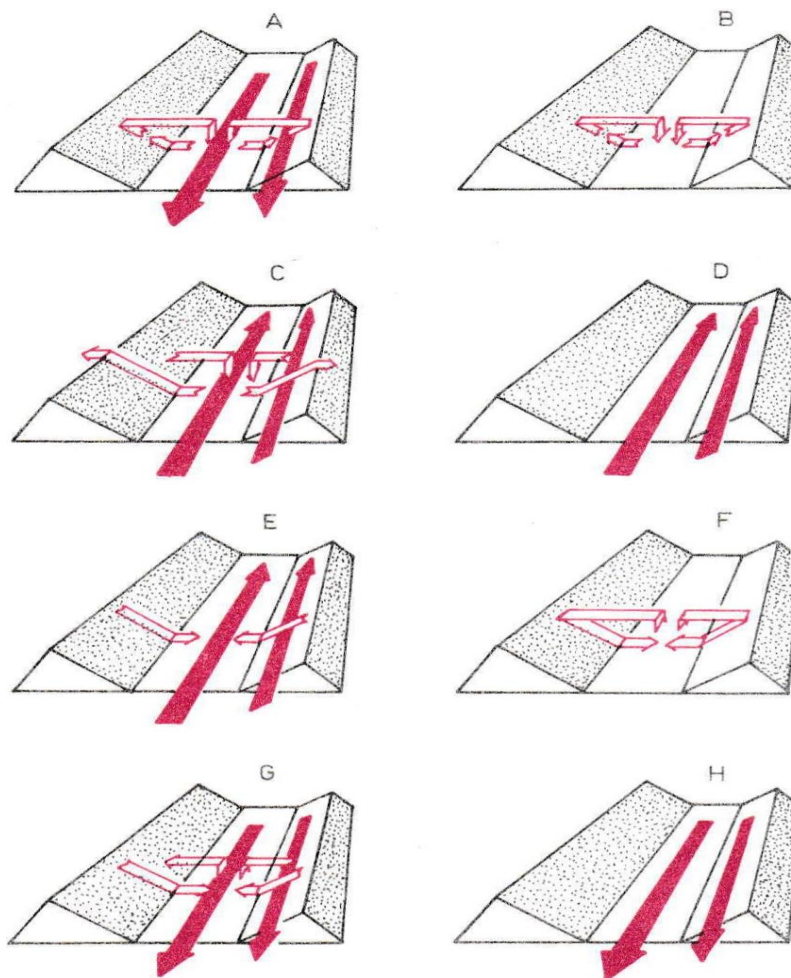
Dolinné a horské vetry sú vetry miestnej cirkulácie s dennou periodicitou v horských údoliach a priľahlých rovinách, ktoré sa vyskytujú súčasne so svahovým vetrom.

Dolinné vetry (anabatické t.j. výstupné) vanú v denných hodinách nahor, pozdĺž horských svahov. Cez deň sa totiž vzduch na slnkom ožiarených horských svahoch ohrieva viac než vzduch v rovnakej výške vo voľnom ovzduší. Tým vznikajú pozdĺž horských úbočí výstupné prúdy teplého vzduchu. Má väčší rozsah ako katabatický a jeho intenzita, ako aj vertikálna

hrúbka prúdiacej vrstvy nezávisí iba od vlastnosti svahu, ale aj od vertikálneho teplotného vrstvenia.

Horské vetry (katabatické t.j. padavé) sú taktiež bežným javom vo vysokohorských oblastiach. Vanú v nočných hodinách a majú opačný smer než údolné vetry.

V noci sa vzduch od horských svahov ochladzuje a ako ťažší studený vzduch steká pozdĺž horských úbočí do nížin. Katabatický vietor je o to silnejší, čím sú dlhšie a strmšie svahy. Vrstva postihnutá katabatickým vetrom býva hrubá niekoľko desiatok metrov. [5]S týmto javom je potrebné počítať pri priblížení na pristátie na horských letiskách vo večerných a nočných hodinách. Tento tzv. horský vietor býva spravidla rýchlejší (až  $8 \text{ m.s}^{-1}$ ) než dolinný vietor. Vysvetlenie horských a údolných vetrov podal rakúsky meteorológ A. Wagner (1932).



**Obr. 8** Schematické znázornenie denného chodu horských vánkov, vetrov na svahoch a údoliach (podľa E. Lexmana)

A – po východe slnka vzniká na oslnených svahoch anabatický vietor, ktorý popoludní zosilňuje. Dno údolia zostáva ešte pod vplyvom kompenzačných zostupných pohybov. B – dopoludnia je úplne vyvinuté anabatické svahové prúdenie C – na poludnie svahové vetry slabnú a začína výstupný údolný vietor D – neskoro popoludní svahový vietor zaniká, údolný vietor ešte pokračuje E – večer po západe slnka začína katabatické svahové prúdenie

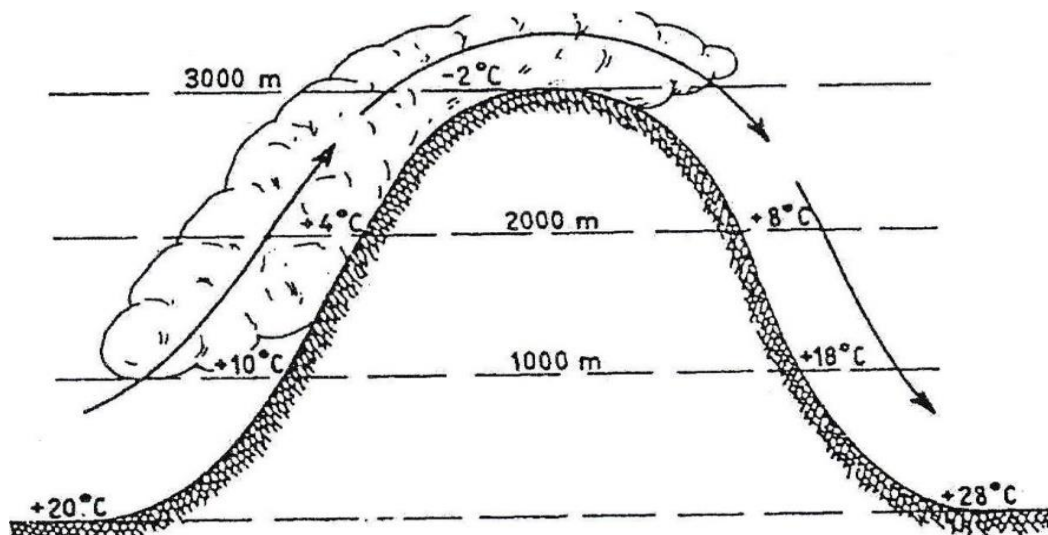
a anabatický vietor doznieva F – prvá časť noci – vyvinuté katabatické prúdenie pokračuje a začína katabatický údolný vietor H – druhá časť noci – svahový vietor zanikol, údolné katabatické prúdenie pokračuje.

### 3.1.3 Orografické vetry

Orografické vetry zahŕňujú hlavne föhn a bóru, ktoré sa viažu na procesy spojené s pohybom vzduchu ponad horskou prekážkou. Z procesov, ktoré zohrávajú pri vzniku orografických vetrov rozhodujúcu úlohu, treba uviesť hlavne adiabatické otepľovanie a ochladzovanie vzduchu.[7] Vzduch, ktorý sa dostal pri svojom horizontálnom postupe k horskej prekážke, začína na jej náveternej strane vystupovať, v dôsledku čoho prebieha proces jeho adiabatického ochladzovania.[7]

Pri vystupujúcom pohybe sa vzduch najskôr ochladzuje podľa nenasýteného adiabatického gradientu  $\gamma_d=1^\circ/100$  m až po hladinu nasýtenia (hladina kondenzácie). Akonáhle dôjde vo vystupujúcej častici vplyvom postupného ochladzovania k nasýteniu, bude ďalšie ochladzovanie tejto častice pokračovať podľa nasýteného adiabatického gradientu  $\gamma_d=0,6^\circ/100$  m. Keď skondenzovaná vodná para vypadne z föhnového oblaku v podobe zrážok, na záveternej strane pri zostupe sa začne vzduch ihneď nenasýtené adiabaticky otepľovať t.j. o  $1,0^\circ/100$  m.[5]

To znamená, že na záveternej strane je v rovnakej výške stále teplejšie ako na strane náveternej. Oteplenie je tým väčšie, čím nižšie sa na návetří nachádza kondenzačná hladina a čím je vyššia horská prekážka. Tento stav môže trvať niekoľko hodín až niekoľko dní a v zime môže vyvolávať prudké topenie snehu, pretože rozdiel medzi teplotou vzduchu na náveternej a záveternej strane hôr môže dosahovať až desiatky °C. Podľa [6] sa pri föhnových situáciách vyskytuje najviac havárii, ľudia trpia bolesťami hlavy a depresiami, sú často nervóznejší ako inokedy.



Obr. 9 Föhnový efekt [5]

Föhnovým efektom sa rozumie predovšetkým oteplenie a vysušenie vzduchu v závetří horskej prekážky. O vzniku charakteristických oblakov pojednáva kap. 3.4.3

Nie vždy sa však vzduch vyzdvihnutý na návetří vracia do svojej pôvodnej výšky v bezprostrednej blízkosti záveterného svahu a nemusí sa prejavíť ako padavý vietor. Niekedy, ak nie je vzduch zo záveternej strany odsávaný blízkou tlakovou nížou, sa v bezprostrednej blízkosti prekážky z oboch strán tvoria víry, ktorých spodná vetva smeruje proti všeobecnému prúdeniu. Tieto prúdy sa nazývajú odrazený föhn.[6]

Pojem föhn vznikol v alpskej oblasti, v súčasnej dobe sa však používa ako všeobecný termín pre tento typ prúdení bez ohľadu na miesto jeho výskytu. Za föhn môžeme považovať napríklad chinook na východnej strane Skalnatých hôr v Severnej Amerike. Na území ČR sa môže prejavíť napríklad v závetří Šumavy, niekedy aj Beskyd a Jeseníkov, na Slovensku hlavne v závetří Vysokých a Nízkych Tatier.

Bóra je označenie severovýchodného studeného vetra zo starogréckeho „borej“. Ako uvádza [7] bóra predstavuje silný nárazovitý vietor, často aj účinkom víchrice vyvolávajúcej polomy stromov a ďalšie škody. Je do veľkej miery podobná podmienkami föhnu. Pri bóre však chýba proces kondenzácie, ktorý pri föhne zmiernuje pokles teploty vzduchu s výškou. Stúpajúci vzduch sa pri bóre s výškou viac ochladzuje. Bóra na rozdiel od föhnu neprináša na záveternú stranu horskej prekážky oteplenie hlavne preto, že padá do teplejšieho prostredia.

Vzniká tým, že po nahromadení studeného vzduchu na náveternej strane začína prenikať studený vzduch horskými sedlami a na záveternej strane je jeho pohyb urýchľovaný, často s účinkami víchrice až orkánu. Priaznivé podmienky pre orografické zosilňovanie vetra sú na Skalnatom Plese vo Vysokých Tatrách. Absolútne maximálny náraz tam doteraz namerali 29. novembra 1965 s rýchlosťou až 283 km/h (78,6 m/s), čo po oprave na hustotu vzduchu je približne 350 km/h (97 m/s).[4]

### **3.2 Pole teplotné**

Pole teplotné podľa [16] je skalárne spojité pole teploty vzduchu, zložené v blízkosti zemského povrchu a uhladené vo voľnej atmosfére, s výnimkou oblastí atmosférických front. K najväčším priestorovým zmenám v teplotnom poli dochádza na atmosférických frontách a pri zemi v miestach s rozdielnym aktívnym povrchom. Ku znázorneniu teplotného poľa sa používajú izotermy. Dôležitou charakteristikou teplotného poľa je horizontálny a vertikálny teplotný gradient.

Zvláštnemu prípadu vertikálnej zmeny teploty vzduchu, pri ktorom teplota vzduchu so zväčšujúcou sa nadmorskou výškou vzrastá, hovoríme inverzia teploty vzduchu. Podľa výšky inverznej vrstvy nad zemou rozlišujeme prízemné a výškové inverzie. Podľa príčiny možno inverzie rozdeliť na advekčné, frontálne, radiačné, subsidenčné a turbulentné.[8] Inverzie teploty vzduchu majú značný význam aj preto, že stabilné teplotné zvrstvenie ovzdušia v inverznej vrstve brzdí premiešavanie vzduchu vo vertikálnom a horizontálnom smere. Tým dochádza v nižších, a zvlášť v uzavretých polohách k vytváraniu hmiel, jazier studeného vzduchu so silnými mrazmi v zime. V priemyslových a mestských oblastiach s väčšou hustotou zdrojov znečistenia ovzdušia dochádza ku zvýšeným koncentráciám znečisťujúcich látok, vzniku smogu a podobne. V oblasti dolnej hranice výškových inverzií teploty sa často



vytvára vrstevnatá oblačnosť, ktorá hlavne v zime spôsobuje výrazné skrátenie slnečného svitu v nižších polohách oproti nad inverzným horským polohám.[16]



*Obr. 10 Inverzné oblaky nad Popradskou kotlinou (vlastný zdroj)*

### **3.3 Pole tlakové**

Inými slovami pole barické je skalárne spojité pole, v ktorom v každom okamihu je tlak vzduchu funkciou súradníc  $p = p(x, y, z)$ . Tlakové pole charakterizujú izobarické hladiny, ktorých priesečnice s ľubovoľnou plochou tvoria izobary. Izobary sa najčastejšie konštruujú na prízemných synoptických mapách k vyjadreniu tlakového poľa redukovaného na morskú hladinu. K vyjadreniu tlakového poľa na výškových synoptických mapách sa používajú izohypsy. Časové zmeny prízemného tlakového poľa znázorňujú izalobary, výškového tlakového pole izalohypsy. Dôležitou charakteristikou tlakového pole je tlakový gradient.[16]

Z praktického hľadiska pri letoch v blízkosti hôr dochádza pri prúdení vzduchu cez horské hrebene z orografických dôvodov ku zhutneniu prúdnic a tým k lokálnemu poklesu tlaku vzduchu. V oblasti hrebeňa vlny je v skutočnosti lietadlo v menšej výške, ako ukazuje výškomer, čo v situáciách, keď je lietadlo v oblačnosti, môže byť nebezpečné. Chyby zvyčajne neprekračujú 300m.

### **3.4 Pole vlhkosťné**

Je to skalárne spojité pole niektorej z charakteristík vlhkosti vzduchu. V meteorologickej praxi sa skôr stretávame s dvojrozmernými poľami vlhkosti, napr. v izobarických alebo i iných hladinách atmosféry, v úrovni zemského povrchu (prízemné pole vlhkosti), poprípade vo zvolených vertikálnych rezoch atmosférou. Dvojrozmerné polia vlhkosti môžeme popísať pomocou izogram alebo izolinií ostatných charakteristík vlhkosti.[16]

Pri dostatočnej vlhkosti vzduchu v horskej oblasti môžeme byť svedkami vzniku a prítomnosti špecifickej oblačnosti, ktorej vznik je spojený s rôznymi meteorologickými vplyvmi.

Horské (orografické) oblaky je súhrnné označenie pre oblaky vznikajúce v dôsledku prúdenia vzduchu cez izolovanú terénnu vyvýšeninu alebo cez horský hrebeň. Vyskytujú sa v úrovni vrcholu prekážky, pod ním alebo nad ním. Pretože orografický oblak môže mať často vzhľad značne odlišný od ostatných oblakov mimo oblasť terénnych prekážok, býva pri meteorologických pozorovaniach zaradovaný vždy do jedného z desať druhov oblakov. Najčastejšie to býva *Alto cumulus*, *Strato cumulus* alebo *Cumulus*. [16]

Orografický oblak sa obvykle pohybuje veľmi pomaly alebo nemení svoju polohu vzhľadom k terénnej prekážke, a to ani pri silnom vetre. V blízkosti vrcholu izolovanej terénnej vyvýšeniny vytvárajú orografické oblaky často oblačnú čapicu, z ktorej spravidla zrážky nevypadávajú. Horské pásma alebo hrebene bývajú miestom pôsobení orografického föhnu, kedy môžu výdatné zrážky vypadávať najčastejšie na náveternej strane. Hustú oblačnosť pred vrcholmi a nad nimi môžeme zo zäveternej strany pozorovať ako tzv. föhnovú stenu. Často je pozorovaný jeden alebo niekoľko oblakov tvaru *lenticularis* priamo nad vrcholom prekážky, alebo za ním na zäveternej strane, ako dôsledok vlnového prúdenia.

Snímky oblakov nad horami, pochádzajúce hlavne z klimatologickej stanice na Štrbskom Plese či z observatória na Skalnatom Plese, spracovali A. Bečvář - B.Šimák. Dlhodobý pobyt vo veľkých výškach Vysokých Tatier im umožnil nahromadiť rozsiahle množstvo fotografií oblakov z rôznych typov meteorologických situácií, a vydať tak prvý a jedinečný Atlas horských oblakov.[1] Ku klasifikácii oblakov autori použili špecifické názvy, ktoré sa líšia od medzinárodne zavedeného názvoslovia oblakov, napríklad oblak *Alto cumulus lenticularis* pomenovali *Orographicus lenticularis*, aby zdôraznili jeho horský pôvod. (obr. 11)



*Obr. 11 Štrbské Pleso, Orographicus lenticularis, (stojatá vlna pri víchrici, rovnobežná s horským hrebeňom, na záveternej strane. Oblak narastá proti vetru rovnakou rýchlosťou ako sa rozplýva po vetre, takže stojí vo víchrici na jednom mieste) [1]*

### 3.4.1 Vlnové oblaky

Sú oblaky, ktorých vznik alebo vývoj je podmienený vlnovou deformáciou prúdenia. Príčinou vývoja vlnových oblakov môže byť prúdenie cez horské hrebene, orientované približne kolmo na smer prúdenia. Ak je vzduch dostatočne vlhký, tvorí sa vlnová oblačnosť na záveternej strane hrebeňa, často v radách rovnobežných s hrebeňom a to do vzdialeností až niekoľko desiatok km. Hovoríme, že nad rotormi jednotlivých vln sa tvorí aj niekoľko vrstiev vlnových oblakov Ac Len. Rotory pri dostatočnej vlhkosti vzduchu bývajú viditeľné ako oblačnosť Cu Fra, ale často sa vyskytujú aj v bezoblačnom stave (malá vlhkosť).

Za dobu 5 minút sa presúva predný okraj vlnového oblaku veľmi pozvoľne v smere vetra o pomerne malú vzdialenosť, odpovedajúcu približne výške hrebeňa  $h$ . Potom však nasleduje zdanlivý a rýchly presun oblaku v niekoľkých sekundách do pôvodnej polohy – proti vetru. Celý dej sa opakuje s veľkou pravdepodobnosťou po dobu trvania vhodného vetra. [6] Pri výstupe vzduchu na náveternej strane horskej prekážky dochádza k vzniku tzv. föhnového efektu, o ktorom sa zmiňujeme v kap. 3.3





*Obr. 12 Pohľad na Vysoké Tatry z FL 135 pri severozápadnom vlnovom prúdení s oblakmi Cumulus fractus [<http://www.aeroklubpoprad.sk/node/401>]*



*Obr. 13 Alto cumulus lenticularis (vlastný zdroj)*

### **3.4.2 Kopovitá oblačnosť**

Ide o mohutnú oblačnosť, ktorá sa formuje nad prehriatymi svahmi hôr v jarnom a letnom období. Vzniká, ak instabilita siaha až nad kondenzačnú hladinu. Tvorí sa tak kopovitá oblačnosť Cu, Cu con až Cb. Rýchlosť výstupných prúdov môže dosahovať aj niekoľko desiatok  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . [16]

Vplyv hôr a nížin na vývoj počasia je rozdielny. Nad nížinou zostáva dopoludnia jasno a až popoludní sa tvorí nevelké množstvo plochých kumulov, ktoré sa popoludní opäť rozpadnú. Naopak v horách sa môže tvoriť už skoro zrána rýchlo rastúca kopovitá oblačnosť, z ktorej vznikajú už okolo obeda prvé búrky trvajúce po celý zvyšok dňa. Príčinou týchto rozdielnych stavov počasia za rovnakých poveternostných podmienok je prízemná inverzia v nižších polohách, ktorú prekonáva slnečná energia niekoľko hodín po východe slnka, zatiaľ čo vrcholky hôr nie sú inverznou vrstvou ovplyvnené. Preto na horách stačí už krátka doba slnečného žiarenia, aby sa miestne prehriatie vzduchu na následných svahoch prejavilo výstupnými prúdmi a kopovitou oblačnosťou. Vplyv hôr na najväčší prejav konvekcie – búrky – sa zreteľne javí aj v početnosti búrok. [10]



*Obr. 14 Cumulus congestus (vlastný zdroj)*

### **3.4.3 Föhnový oblak**

Na náveternej strane hrebeňa v prípade föhnového efektu dochádza k nasýteniu vystupujúceho vzduchu a vypadávaniu zrážok. Hovoríme o föhnovej stene, čiže o časti föhnového oblaku, ktorá sa pri pohľade zo záveternej oblasti javí ako oblačná hradba nad pohorím pretekaným föhnovým prúdením. Smerom do závetria obvykle prechádza do föhnovej medzery. Je to bezoblačný priestor bez zrážok vznikajúci pri nenasýtení adiabatickom ohrievaní vzduchu v zostupnom föhnovom prúdení za horskou prekážkou. V súčasnej dobe sa akceptuje, že föhn môže nastať bez vypadávania zrážok na náveternej strane pohorí. Toto zníženie zrážkových úhrnov býva dobre identifikovateľné napr. na klimatologických mapách.



*Obr. 15 Föhnová oblačnosť pri južnom prúdení – Nízke Tatry, pohľad z FL 080 severovýchodne Ďumbiera (vlastný zdroj)*

#### **3.4.4 Hmly**

Ďalším nebezpečným meteorologickým prvkom, pri ktorom dochádza k zníženiu dohľadnosti pod 1000 m prítomnosťou vodných kvapôčok, prípadne ľadových kryštálikov, je hmla. Pre organizovanie leteckej prevádzky je veľmi dôležité určiť, kedy sa hmla začne tvoriť a ako dlho bude trvať. Predpoveď doby vzniku hmly, jej trvanie a doby jej rozpustenia je však veľmi obtiažne, pretože ide o zložitý, miestom a časovo veľmi premenlivý jav. Podľa príčin a spôsobu ochladzovania môžeme hmly roztriediť na niekoľko skupín. Uvádzame iba tie typy, ktorých vznik má súvis s horami.

Hmla svahová (orografická) - hmla, ktorá sa vytvára na náveterných svahoch kopcov a hôr v dôsledku adiabatického ochladzovania vzduchu vystupujúceho po svahoch. Podmienkou vytvárania je stabilné teplotné zvrstvenie nasýteného vzduchu. Pozorovateľom z nižších polôh sa javí ako vrstevnatá oblačnosť dosahujúca až na povrch svahu.[16]

Hmla údolná - hmla, ktorá sa tvorí v terénnych zníženinách, hlavne v údoliach následkom stekania chladnejšieho vzduchu po svahoch, silnejšieho ochladzovania a v dôsledku zvýšenej vlhkosti vzduchu. Pri pozorovaní z vyšších polôh sa údolná hmla javí ako oblačné more.[16]

### 3.4.5 Námraza

Veľmi nebezpečným poveternostným javom, s ktorým sa v leteckej prevádzke stretávame, je tvorba námrazy na povrch lietadla. Je to najmä horské prostredie, ktoré veľmi často vytvára podmienky na vznik námrazy. Na náveternej strane hôr vznikajú turbulentné prúdy vzduchu pri súčasnom vzniku oblačnosti a pri splnených podmienkach aj vzniku námrazy. Pri odletoch a príletoch na letiská ležiace v blízkosti hôr je potrebné s týmto javom počítať, predvídať ho a využiť všetky svoje znalosti na elimináciu nebezpečenstva spojeného so vznikom námrazy na lietadle.

#### Procesy vzniku námrazy

Procesy, ktoré vedú k jednotlivým druhom a formám námrazy, vychádzajú predovšetkým z teplotných a vlhkosťových podmienok prostredia, ako aj predmetu, na ktorom sa sledovaný jav vytvára. Nemalú úlohu hrajú aj podmienky obtekania vzduchu okolo exponovaných častí lietadla. Vznik námrazy na lietadlách namrzaním prechladených vodných kvapiek sa pozoruje najčastejšie a zároveň predstavuje najnebezpečnejšiu formu námrazkov. Pomerne častým javom je aj vznik námrazkov pri dotyku vodných pár s povrchom lietadla s teplotou pod bodom mrazu. Z uvedeného vyplýva, že dve hlavné podmienky na vznik námrazy sú:

- Na povrch lietadla dopadajú prechladené kvapôčky vody
- Teplota povrchu lietadla je pod bodom mrazu

#### Intenzita námrazy

Podľa prírastku, či už kryštalickej hmoty, alebo ľadu na exponovanom telese v milimetroch za jednotu času, najčastejšie za minútu rozdeľujeme intenzitu námrazy na:

- |          |                  |
|----------|------------------|
| - Slabú  | do 0,5 mm/min    |
| - Miernu | 0,6 – 1,0 mm/min |
| - Silnú  | nad 1,0 mm/min   |

#### Druhy námrazy

Námrazou rozumieme tri druhy ľadových usadenín. Sú to inoväť, zrnitá námraza a ľadovka.

Inoväť je najznámejším a najrozšírenejším druhom námrazy. Vzniká sublimáciou čiaščiek hmly alebo dymu pri nasýtení alebo presýtení vzduchu obsahom vody v plynnom skupenstve. Predstavuje kryštalickú krehkú usadeninu z jemných ihličiek a šupinovitých útvarov. Môže vzniknúť napr. pri rýchlom zostupe lietadla z vysokých hladín s teplotou hlboko pod bodom mrazu do teplejšieho vlhkého vzduchu. Jej hmotnosť na lietadle býva zanedbateľná, môže však zhoršiť aerodynamické vlastnosti povrchu krídel. Interval optimálnych teplôt vzniku najvhodnejšie podmienky pre jej vznik sú od  $-1^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$ .



Zrnitá námraza predstavuje kompaktnú hmotu, bielu usadeninu, akoby zdobenú vetvičkami, skladajúcimi sa z ľadových zrníek. Vzniká pri rýchlom mrznutí prechladených kvapiek hmly, oblakov alebo dažďa. Vytvára sa hlavne na nábežnej hrane krídel. Teplotne najvhodnejšie podmienky pre vznik a výskyt zrnitej námrazy sú od  $-1^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Ľadovka je druh námrazy, ktorá vzniká z veľkých kvapiek vody s teplotou pod bodom mrazu. Tieto kvapky zamrzávajú až potom, ako sa rozlejú po ploche so zápornou teplotou alebo po vrstve už vzniknutej námrazy. Ľadovka vytvára súvislý ľadový obal častí lietadla vo forme čirej priehľadnej kompaktnéj hmoty. Najčastejšie sa vyskytuje pri teplotách od bodu mrazu do  $-3^{\circ}\text{C}$ . [7]

### **Účinky námrazy**

Zhoršovanie aerodynamických letových charakteristík znamená najväčšie nebezpečenstvo vyplývajúce z námrazových javov na lietadlách. Účinky námrazy spočívajú hlavne vo zväčšovaní profilov, hmotnosti lietadla a zmene tvaru obrysových profilov. Hlavnými následkami pôsobenia námrazy je zväčšenie čelného odporu a zmenšenie vztlaku, čo vedie k zmenšeniu rýchlosti stúpania lietadla, k zmenšeniu dostupu a rýchlosti letu, ako aj k zhoršeniu manévrovacích schopností a pristávacích charakteristík lietadla. [7]

Zvlášť nebezpečné je vytvorenie námrazy na snímačoch celkového a statického tlaku, ktoré vedie k nesprávnej indikácii údajov na rýchlomeroch, výškometroch a variometroch. Následky nefunkčného pitot – statického systému môžu byť katastrofálne.

### **Spôsoby ochrany pred námrazou**

Na ochranu lietadla pred námrazou resp. na predchádzanie vzniku námrazy na lietadlách existuje niekoľko spôsobov. Môžeme ich rozdeliť na mechanické, fyzikálne – chemické a tepelné.

Mechanická ochrana sa realizuje najčastejšie prostredníctvom gumových hadíc v nábežnej hrane krídla lietadla, expanziou ktorých nastáva deformácia nábežnej hrany krídla. V námraze sa vytvárajú trhliny a námraza pôsobením prúdu vzduchu odpadáva. Tento spôsob je využiteľný pri slabej alebo miernej námraze, pri intenzívnejšej námraze je neúčinný.

Fyzikálne – chemické spôsoby ochrany sa zakladajú na účinkoch odmrázovacích kvapalín. Podstatou ich účinku je zníženie priľnavosti námrazku na povrchu lietadla alebo v znížení teploty mrznutia vody, presnejšie povedané zmesi odmrázovacej kvapaliny a vody. Najúčinnnejšie je ich preventívne použitie nástrekom nemrznúcej kvapaliny na povrch lietadla pred vzletom do podmienok s predpokladaným a predpovedaným vznikom námrazy.

Termický spôsob je najpoužívanejším postupom v boji proti námrazkom. Spočíva v tom, že nábežné hrany krídel a chvostových plôch sú vyhrievané horúcim vzduchom alebo elektricky. Aj pri tomto spôsobe ide o prevenciu a je potrebné aktivovať ho ešte pred vytvorením ľadovej vrstvy. [7]

Popri uvedených technických zariadeniach pre ochranu proti námraze je najúčinnjšou zbraňou pilota v tomto boji vysoká úroveň znalostí o námraze a rozvaha, s akou ich v konkrétnych podmienkach využije.[7]

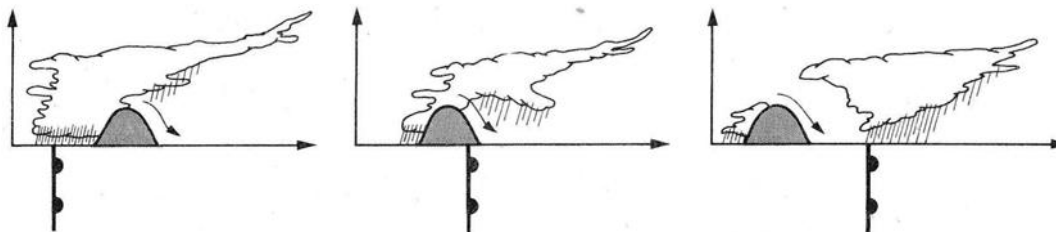
### 3.4.6 Vplyv orografie na fronty

Vplyv orografických podmienok na základné typy front je veľmi zložitý.

Studené fronty väčšinou prekonávajú horské prekážky malej výšky pomerne ľahko. Ak sa však vyskytujú na dráhe ich postupu vysoké hrebene, spôsobujú predovšetkým spomalenie postupu. Pri priblížení sa studeného frontu k horskej prekážke sa rozširuje zóna predfrontálnych a frontálnych javov následkom uzatvárania a vytlačovania teplého vzduchu medzi klinom studeného vzduchu a náveterným svahom horskej prekážky.

Čelo klinu studeného vzduchu sa pri dotyku s päťou prekážky ešte viac deformuje, frontálna stena sa stáva strmšou, v dôsledku čoho sa frontálne procesy ďalej zvyrazňujú. Pre búrky a prehánky tohto druhu je typická ich stagnácia na náveternej strane, ktorá je tým nápadnejšia, čím sú svahy návetria horskej prekážky strmšie. Po prekonaní horskej prekážky sa v určitej vzdialenosti, závislej od výraznosti vplyvu hory, frontálne javy čiastočne obnovia.

Teplý front prekonáva horskú prekážku oveľa ľahšie a jednoduchšie ako studený front. Pri približovaní sa teplého frontu k horskej prekážke nedochádza prakticky ku žiadnym zmenám základných frontálnych procesov. Kontakt frontálnej plochy s horskou prekážkou má za následok zväčšenie sklonu frontálnej plochy na náveternej strane a tým aj zvyraznenie frontálnych zrážok pred prekážkou. Tento postup uvádza [7].



*Obr. 16 Schematické znázornenie zmien teplého frontu pri prechode horskej prekážky[2]*

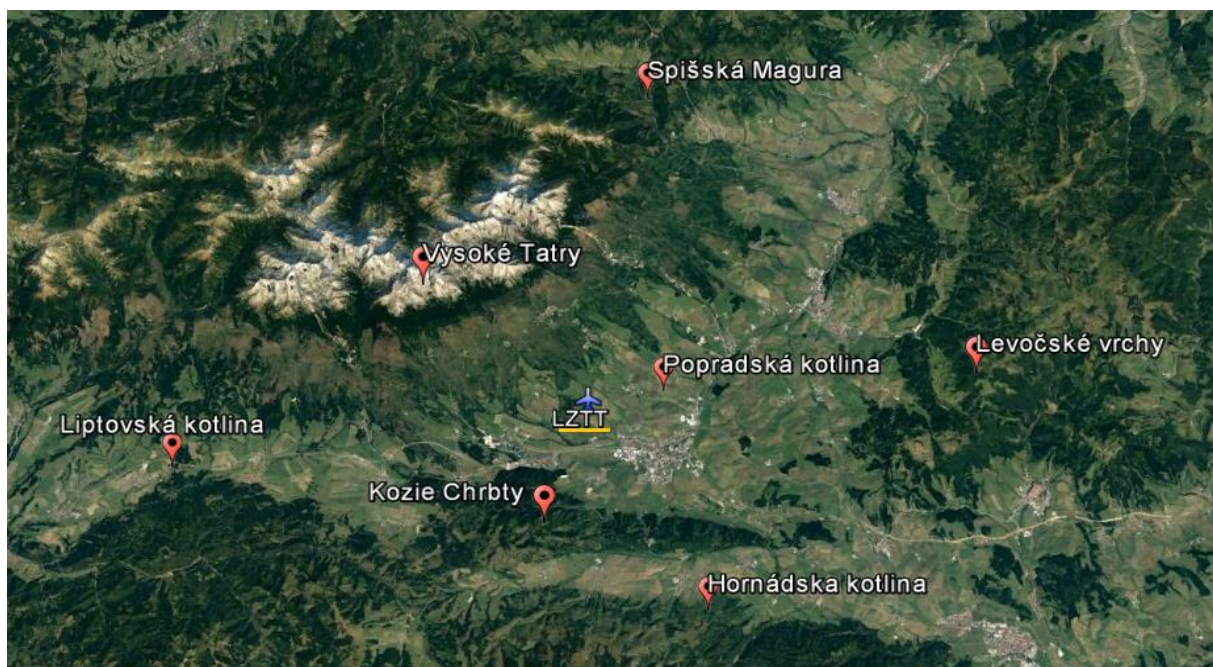
## 4 Charakteristika letiska Poprad – Tatry

Medzinárodné letisko Poprad – Tatry(kód IATA: TAT, ICAO: LZTT). Patrí medzi najvyššie položené medzinárodné letiská v Európe. Leží v nadmorskej výške 718 m n.m (2356 ft) iba 5 km od centra Popradu. Vzťažná teplota letiska<sup>2</sup> je 23°C.

V roku 1938 v rámci obranných opatrení pred druhou svetovou vojnou vzniklo západne od mestskej časti Veľká poľné letisko. Pravidelná civilná doprava začala v roku 1943 s linkou na trati Bratislava – Sliach – Poprad – Prešov. Pri príležitosti konania Majstrovstiev sveta v klasickom lyžovaní na Štrbskom Plese v roku 1970 bola daná do prevádzky nová betónová dráha a administratívna budova.[15]

Kvôli prevládajúcim západným smerom vetra v Popradskej kotline, pozri kap. 4.1.4, je betónová vzletová a pristávacia dráha orientovaná smerom východ/západ (09/27). Je 2600 m dlhá, 45 m široká, vybavená navigačným zariadením ILS I. kategórie ICAO pre prístrojové priblíženie na dráhu 27. V roku 2008 bol zrealizovaný projekt „Rekonštrukcia svetelnej približovacej sústavy dráhy 27“, zábleskové návěstidlá CAT I, 900 m svetelný systém s vysokou a strednou svietivosťou LIH/LIM.[12]

V súčasnosti je letisko otvorené celoročne pre IFR/VFR deň, noc prevádzku a využívajú ho pravidelné lety, nepravidelné lety, charterové lety s turistami a športovcami, súkromné a obchodné lety, výcvikové lety, vrtuľníková záchranná zdravotná služba ATE, Aeroklub Poprad a spoločnosť TLS air pre vyhlídkové lety.



*Obr. 17 Orografická mapa oblasti Popradskej kotliny a okolia [www.google.com/earth/]*

<sup>2</sup> Vzťažná teplota letiska je mesačný priemer denných maximálnych teplôt vzduchu najteplejšieho mesiaca roku (najteplejším mesiacom je mesiac s najvyšším mesačným priemerom teplôt). Táto teplota musí byť spriemerovaná za obdobie niekoľko rokov.[14]

Na obr. 17 je vidieť ako Popradskú kotlinu, v ktorej leží letisko Poprad – Tatry ohraničujú zo severu Tatry a Spišská Magura, z východu Levočské vrchy a z juhu Kozie Chrbty a Hornádska kotlina. Na západe nadväzuje na Liptovskú kotlinu. Okraje a priečne prahy majú výšku medzi 900 a 1000 m n.m. Dno popradskej časti má nadmorskú výšku 570 m. Ide tak o najvyššiu medzihorskú kotlinu na Slovensku. Jej osou je rieka Poprad, ktorá sa v oblasti Spišskej Magury vlieva do Dunajca.

Hlavne Tatry nachádzajúce sa severne od letiska predstavujú geografickú jednotku s vysokohorským charakterom. Ako mohutná horská klenba vytvárajú bariéru vzdušnému prúdeniu. Veľká absolútna výška, ako aj silne rozčlenený reliéf vtláča svoju pečať všetkým klimatickým prvkom a vytvárajú tak osobitné klimatické pomery v celej oblasti Vysokých Tatier. Hlavný hrebeň je oblúkovite vyklenutý na juh, s dĺžkou 26,5 km. Stredná výška hrebeňa dosahuje 2279 m. [4]

#### **4.1 Klimatologická charakteristika letiska Poprad – Tatry**

Ku vyhodnoteniu všetkých klimatických prvkov z letiska LZTT boli použité údaje za desaťročné obdobie 2001 až 2010. Materiál k bakalárskej práci nám bol poskytnutý Slovenským hydrometeorologickým ústavom. V ďalších podkapitolách rozoberáme už každý meteorologický prvok samostatne.

##### **4.1.1 Teplotné pomery**

Ročný chod teploty vzduchu v oblasti Tatier je daný predovšetkým geografickou polohou oblasti a reliéfom horstva. Popradské letisko leží v centrálnej časti strednej Európy a je približne rovnako vzdialené tak od Baltického mora, ako aj Jadranu a Čierneho mora, teda je možné hovoriť o relatívne kontinentálnej polohe. O celkovom charaktere klímy v stredoeurópskom vnútrozemí rozhodujú cirkulačné pomery, ktoré sú v tejto oblasti značne zložité a premenlivé. Ročný chod teploty vzduchu po mesiacoch vypočítaný z klimatologických termínov udáva tab. 2.

##### **4.1.2 Zrážkové pomery**

Režim zrážok tatranskej oblasti zodpovedá hlavným znakom kontinentálnej klímy horského typu mierneho pásma. Hlavným činiteľom, ktorý podmieňuje vznik a režim zrážok v tejto oblasti, je atmosférická cirkulácia a s ňou súvisiace striedanie vzduchových hmôt, sprevádzané prechodom poveternostných frontov. Vplyv cirkulácie sa prejavuje predovšetkým v postupe cyklón, ktoré vznikajú na polárnom fronte v oblasti Atlantického oceána, do strednej Európy.[4] Tatry ako prvá vysokohorská prekážka na ich ceste od severozápadu zadržiana svojej náveternej strane značnú časť vlhky, ktorú cyklóny prinášajú, a letisko Poprad – Tatry ležiace v zrážkovom tieni na záveternej strane horstva má výrazne nižšie úhrny zrážok. Z tohto dôvodu má aj pri prechode frontov vyhovujúce podmienky pre letovú prevádzku.

Priemerne sa za rok v tatranskej oblasti vystrieda asi 60 tlakových níží postupujúcich od Atlantiku. Ich vplyv sa najsilnejšie prejavuje koncom prvej polovice roka (jún, júl) pravidelnými vpádmi chladnejšieho vzduchu (obdobie tzv. európskeho monzónu) pozri tab.4.



Poveternostné vplyvy postupujúce z juhozápadu, z oblasti Stredozemného mora, sú menej časté. Výdatné zrážky vznikajúce na teplých frontoch z tohto smeru často zanikajú už na náveterných svahoch Nízkych Tatier, a preto ich bezprostredný vplyv na prevádzku letiska Poprad - Tatry nie je až taký výrazný.

Studené vzduchové hmoty ázijského pôvodu majú na zrážkových úhrnoch Popradskej kotliny iba malý podiel, keďže pri ich vpádoch do strednej Európy sú stabilne zvrstvené a majú malý vertikálny rozsah. [4]

V letnom období vznikajú výdatné búrkové lejaky, vyvolané termickou konvekciou. Vplyv hôr na priebeh zrážkových javov sa prejavuje zosilňovaním efektov a negatívne vplyva na bezpečnosť prevádzky na letisku Poprad – Tatry. Najnebezpečnejšími sprievodnými javmi búrok sú krúpy, húl'ava a strihy a nárazy vetra popísané v kap. 4.1.4

Krúpy predstavujú veľké ohrozenie pre leteckú prevádzku. V závislosti na rýchlosti letu a veľkosti krúp môžu vážne poškodiť nábežné hrany krídel, chvostové plochy, ale aj motory a čelné sklá lietadiel .

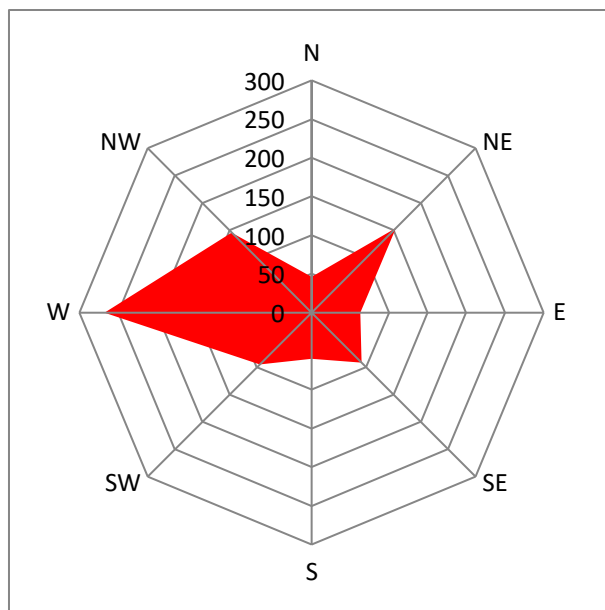
Vďaka svojej polohe a vplyvu orografie je Popradské letisko najmä v zimných mesiacoch december – február využívané ako náhradné letisko pre diverty lietadiel z neďalekých, nižšie položených letísk Košice a Krakow, na ktorých v tomto období v anticyklonálnych situáciách bývajú časté, dlhotrvajúce celodenné radiačné hmly. Početnosť hmiel v tomto období je v Poprade tiež najvyššia v roku (pozri tab.7), ale je podstatne nižšia, ako na nižšie položených letiskách.

### **4.1.3 Vietor**

Pre charakteristiku veterných pomerov prichádzajú do úvahy najmä údaje o rýchlosti a smere vetra. Pole prúdenia vzduchu v spodnej troposfére, ktoré vytvárajú zložky všeobecnej cirkulácie ovzdušia v strednej Európe, je veľmi ovplyvňovaná systémom pohorí Západných Karpát.

Veľký podiel na tejto deformácii má tatranský masív, ktorý tvorí výraznú orografickú bariéru, a to najmä pri severných zložkách vetra. Južné zložky prúdenia na Popradskú kotlinu je čiastočne obmedzovaný systémom pohorí nachádzajúcich sa južne od letiska. Preto vo výrazných dolinných polohách prevláda vietor v smere doliny, ktorý je podmienený najmä orografickou zložkou a zložkou termickej cirkulácie.

V Popradskej kotline sa v ročnom priemere najčastejšie vyskytuje vietor so západnou zložkou, pretože Vysoké Tatry veľmi zreteľne prejavuje pri zonálnych zložkách vetra. Orografická deformácia poľa prúdenia v oblasti Tatier a v ich okolí je pritom výrazne závislá od termodynamických vlastností spodnej atmosféry, a tak závisí nielen od poveternostnej situácie, ale aj od lokálnych termodynamických vplyvov. Veterná ružica (obr. 18) s tabuľkou o početnosti výskytov smerov vetra (tab.8) to názorne potvrdzujú.

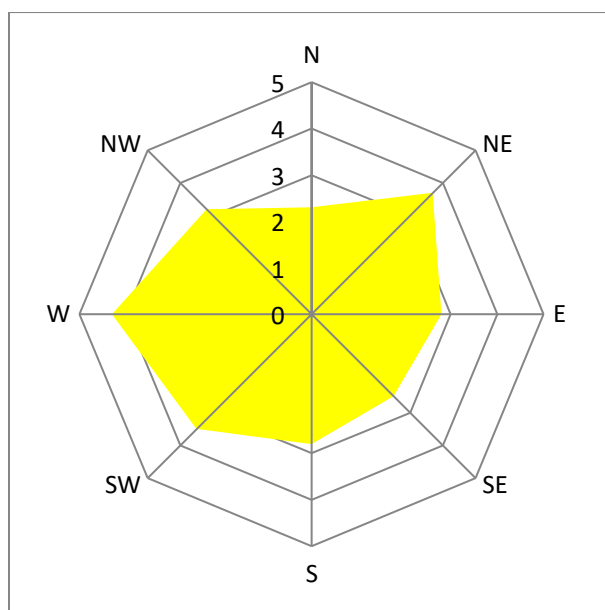


**Obr. 18** Početnosť výskytu smerov vetra [%] na letisku Poprad – Tatry z obdobia 2001-2010

**Tab.8** Početnosť výskytu smerov vetra [%] za desaťročie 2001-2010 z letiska Poprad - Tatry

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALM
46,1	154,3	63,0	91,8	59,8	95,0	267,6	145,7	76,7

V časovom a v priestorovom rozložení priemernej rýchlosti vetra v Poprade môžeme z obr. 19 pozorovať značnú rozmanitosť, a to rozdiel až  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  medzi západným (maximálnym) a severným (minimálnym) prúdením. Priemerné hodnoty rýchlosti vetra dopĺňa tab. 9.



**Obr. 19** Priemerná rýchlosť vetra [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] na letisku Poprad – Tatry za obdobia 2001-2010

**Tab. 9** Priemerná rýchlosť vetra [ $m \cdot s^{-1}$ ] v jednotlivých smeroch za obdobie 2001-2010

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
2,3	3,7	2,8	2,5	2,8	3,5	4,3	3,2

Húľava je veľmi nebezpečný vzdušný vír vyskytujúci sa na prednej strane búrkového oblaku a prejavujúci sa výraznou nárazovitosťou vetra a význačnými zmenami tlaku vzduchu. Táto situácia sa často vyskytuje v lete aj pred postupujúcim studeným frontom a nazývame ju frontálna húľava.

Strihy a nárazy vetra sú spôsobené chladným zostupným prúdom (downburst) na zadnej strane búrky, v pásme vypadávania zrážok. Pri strete tohto zostupného prúdenia so zemským povrchom dochádza k jeho roztekaniu na všetky strany a prejavuje sa ako silný nárazový vietor s rýchlosťou aj niekoľko desiatok  $m \cdot s^{-1}$ . Je to plošne obmedzený jav s priemerom od niekoľkých desiatok metrov (microburst), až po niekoľko desiatok kilometrov (macroburst), s krátkou dobou trvania. Často spôsobuje ničivé škody a je aj veľmi častou príčinou leteckých nehôd.

Silný vietor v horskom teréne v blízkosti LZTT môže spôsobovať nebezpečné situácie, na ktoré pilotov pri príletoch upozorňoval do roku 2006 článok z AIP SR AD2-LZTT-1-17 bod 2.20.1 Letiskové pravidlá, ktorý posádky lietadiel jasne upozorňoval na možné nebezpečenstvá spojené s týmto javom.

V riadenom okrsku letiska sa často vyskytuje horská vlna. Intenzita zvislých prúdov, nárazov a miestnych rozdielov v atmosférickom tlaku môže nepriaznivo ovplyvniť let lietadla, zvlášť lety IFR. V týchto podmienkach je potrebné vždy pamätať na nespoľahlivosť prístrojových údajov (hlavne tlakového výškomeru a variometra). Správy SIGMET budú odovzdávané Leteckou meteorologickou službou berúc do úvahy výskyt horských vln, ktoré by mohli ovplyvniť bezpečnosť letov za IMC.

V roku 2006 LPS tento text nahradili vetou: V prípade horskej vlny očakávajte v CTR Tatry turbulenciu. [12]

#### **4.1.3.1 Plachtárske využitie vlnového prúdenia**

Vlnové prúdenie nad horskou prekážkou spojené s turbulenciou v rotoroch za horským hrebeňom na záveternej strane, ktorá je nepríjemná a niekedy aj nebezpečná pre cestujúcich a posádky dopravných lietadiel je využívané športovými pilotmi, hlavne plachtármi na dosahovanie výškových rekordov.

Dlho sa predpokladalo, že len termické prúdy v instabilnej vzduchovej hmote budú pilotom bezmotorového lietania zabezpečovať stúpanie a následné zotrvanie nad zemským povrchom po dobu niekoľko hodín. Bolo preto prekvapením, že aj stabilne zvrstvený vzdušný prúd umožnil lety bez motora do vyšších hladín, než akých sa dosahuje pri výstupoch pod oblakmi Cu.

To, že tatranská orografia je vhodná pre vznik vlnového prúdenia, začali overovať už v roku 1948. Prieskum vlnového prúdenia vykonávali letci na lietadle C-106. Nie vždy však vystihli vhodné meteorologické podmienky. Prvý let v histórii vlnového lietania v Tatrách uskutočnili v novembri 1953 piloti Aeroklubu Poprad M. Žiaran a A. Polorecký. Na vetroni VT-109 Pionier dosiahli prevýšenie 3.500 metrov. Najúspešnejším plachtárom v tejto "disciplíne" bol V. Zejda, ktorý v roku 1961 na špeciálne upravenom vetroni L-13 Blaník dosiahol výšku 10.500 metrov. Motorové prvenstvo patrí R. Orlitovi, ktorý 31.10.1973 na lietadle Z-526F dosiahol československý výškový rekord 8.500 metrov.[11]

Objavenie oblastí stúpania na záveterných stranách pohorí prinieslo novú vlnu rekordov v dosiahnutej výške. Pilot však musí dávať pozor, aby sa nedostal do klesavej časti a rotorov. Počas letu si treba všimnúť aj hodinky. Vo veľkých výškach môže byť ešte svetlo, zatiaľ čo dole, na zemi je už súmrak. Najneprijemnejšie je však náhle uzatvorenie oblačnosti pod vetroňom. Príčinou môže byť náhle zoslabnutie vetra pri prúdení vlhkej vzduchovej hmoty. Pilot na túto možnosť musí stále pamätať a musí mať pripravenú rýchlu a bezpečnú zostupovú cestu k letisku.[6]

Vďaka riadenému vzdušnému priestoru v TMA Poprad je možné dosiahnuť až 13 500 ft (FL 135 / cca 4 100 m) nadmorskej výšky bez palubného odpovedača a bez podaného letového plánu. Pre stúpanie do vyšších letových hladín musí byť vetroň vybavený funkčným palubným odpovedačom (mód S), podaným letovým plánom a dýchacím prístrojom.

#### **4.2 Mimoriadne udalosti na letisku Poprad – Tatry spôsobené nepriaznivými meteorologickými podmienkami**

Z informácií dostupných z literatúry, od posádok lietadiel a riadiacich letovej prevádzky uvádzame niekoľko mimoriadnych situácií, ku ktorým došlo počas prevádzky v blízkosti horského terénu pri silnom vetre.

Ako uvádza [13] najväčším a najtragickejším leteckým nešťastím v histórii letiska Poprad bola havária lietadla ČSA Douglas DC-3 Dakota s imatrikulačnou značkou OK-WDZ, dňa 18.01.1956. Let z Prahy do Košíc bol po medzipristáti v Bratislave odklonený kvôli zlému počasiu v Košiciach na záložné letisko Poprad – Tatry. Ani tam počasie nebolo dobré, viacmenej bolo v limitoch. Fúkal silný vietor, bolo zamračené, poprchávalo a tvorila sa námraza.

DC-3 priletelo nad letisko Poprad, kde zahájilo riadený zostup. Po prelete letiska malo pokračovať 27 km na východ a ľavou zátačkou sa vrátiť zostupom na letisko. Vplyvom silného západného vetra s rýchlosťou okolo 100 kmh<sup>-1</sup>, ktorý posádka pravdepodobne nezohľadnila v navigačných výpočtoch, sa však dostalo až do vzdialenosti 38 km a severnejšie. Hlavným problémom však bola výška. Po dotočení zátačky na západ malo mať výšku 1300 m nad úrovňou letiska a potom zahájiť klesanie na 650 m. Miesto havárie bolo vo výške len 350 m nad letiskom. Lietadlo sa z nejakého dôvodu dostalo o 950 m nižšie, než bola

štandardná výška, dokonca o 300 m pod minimálnu výšku. V ľavej zátačke začalo lietadlo prudko klesať a nakoniec havarovalo na svahu kopca Škarpová v Levočských vrchoch.

Vyšetovaním leteckej nehody bolo zistených viacero príčin. Jednou z nich boli nesprávne nastavené výškomery posádky, jeden na 941 mb<sup>3</sup>, druhý na 936 mb, pričom skutočný tlak daný dispečerom z letiska bol 918,4 mb. To síce spôsobilo, že výškomer ukazoval skoro o 150 m väčšiu výšku, ako bola skutočná, ale nevysvetľuje, prečo lietadlo kleslo takmer o 1000 m. Zásadným problémom podľa vyšetrovateľov bolo nezohľadnenie rýchlosti vetra v navigačných výpočtoch, silná turbulencia, ale hlavne výskyt silnej námrazy, v ktorej došlo k zamrznutiu snímačov tlaku. Následkom toho prestali pracovať barometrické prístroje lietadla – rýchlomery, variometre a výškomery, ktoré ukazovali výšku, v ktorej došlo k zamrznutiu snímačov. To mohlo spôsobiť, že rýchlosť klesania bola podstatne väčšia a výška podstatne menšia, ako sa posádka domnievala.

Pod túto nehodu sa podpísali všetky nepriaznivé vplyvy počasia v kombinácii s jednoduchými navigačnými prostriedkami a chybami posádky.

V roku 2012 pri silnom severozápadnom prúdení a tým podmienenej vlnovej situácii sa pilot turbovrtuľového lietadla Beechcraft King Air 350 OM–VPM pri prilete na LZTT zo západu napriek doporučeniu dispečera pre štandardné prístrojové priblíženie (s ohľadom na smer a rýchlosť vetra a možnosť výskytu turbulencie v danej oblasti) rozhodol pre vizuálne priblíženie pravým okruhom na dráhu 27. Za slnečného počasia, s prítomnosťou charakteristických znakov vlnového prúdenia (oblačnosť Ac len) počas zostupu v blízkosti horského masívu v priestore Štrbského Plesa vo výške 6000 ft. vletel do rotora. Vzhľadom k tomu, že rotor nebol zvýraznený oblačnosťou, pilot pravdepodobne turbulenciu nepredpokladal a letel vyššou, ako maximálne povolenou rýchlosťou v turbulencii. Došlo k poškodeniu trupu lietadla. Let sa skončil bezpečným pristátím na letisku Poprad – Tatry. Pri dodržaní letového plánu a ILS priblížení na dráhu 27 by k incidentu nedošlo, pretože let by prebiehal vo vyššej letovej hladine a južnejšie, ďalej od horského masívu.

#### **4.2.1 Postrehy od posádok lietadiel o špecifických vplyvoch počasia**

Posádky sa pri ILS zostupe pri silnejšom západnom a severozápadnom prúdení často stretávajú so strihom vetra vo výške cca 4000ft 1NM pred VOR PPD a v poslednej fáze zostupu pred pristátím vo výške cca 2800 ft. Intenzita strihu vetra závisí od smeru a rýchlosti vetra a je spôsobená orografiou terénu. Pre včasnú identifikáciu strihu vetra a zvýšenie bezpečnosti letovej prevádzky v poslednej fáze priblíženia na pristátie plánuje letisko do roku 2019 inštaláciu radarového systému na detekciu strihu vetra v zostupovej osi pre dráhu 27.

Nepríjemné skúsenosti so strihom vetra pri vzlete z dráhy 27 majú aj piloti malých lietadiel. Pilot Z-43 v plnom obsadení odštartoval z dráhy 27. Po dosiahnutí výšky cca 60 m začalo lietadlo s plným vzletovým výkonom klesať rýchlosťou až 2,5 ms<sup>-1</sup>. Bolo to spôsobené strihom vetra a závetrím za vyšším lesným porastom severozápadne od VPD. Lietadlo nemá

---

<sup>3</sup> 1mb=1hPa

dostatočný prebytok výkonu motora pri vzletovom režime. Vzhľadom na dostatočnú použiteľnú dĺžku RWY pilot bezpečne pristál a vyhol sa stretu s prekážkami v teréne za dráhou.

## 5 Zoznam použitých zdrojov

- [1] BEČVAŘ, A. - ŠIMÁK, B. *Atlas horských mraků*. Praha: Přírodovědecké nakladatelství, 1953. 240 s.
- [2] ENGLAND, J.-ULBRICHT, H. *Flugmeteorologie*. Berlin: Transpress, 2. Auflage, 1990. 399s. ISBN 3-344-00429-8
- [3] ILKO, J. – NEDELKA, M. *Porovnanie výskytu hmiel na letiskách Sliač a Tatry (obdobie 1956 – 1965)*. Meteorologické Zprávy, roč. 69, č. 1, s. 66-72.
- [4] KONČEK, M., et al. *Klíma Tatier*. Bratislava: vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1974. 855 s.
- [5] KRÁČMAR, J., KRŠKA, K., SOBOTA, J., SVATOŠ, V. *Meteorologie (050 00)*. Učební texty dle předpisu JAR-FCL 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 305 s. ISBN 80-7204-447-8
- [6] LEXMAN, E. *Meteorológia pre športového pilota*. Bratislava: Alfa, 1.vydanie, 1986. 243 s. ISBN 80-05-00082-0
- [7] NEDELKA, M. *Prehľad leteckej meteorológie*. Bratislava: Alfa,1. vydanie, 1984.222 s.
- [8] NEDELKA, M., et al. *Slovenskýletecký slovník terminologický a výkladový*. Bratislava: Magnet-Press Slovakia, s. r. o., 1998. 494 s. ISBN 80-96873-0-7
- [9] PFLEGROVÁ, E. *Prúdenie vzduchu cez horské prekážky*. Meteorologické Zprávy, roč. 83, č. 5, s. 139-142
- [10] PROKOP, M., et al. *Meteorologie pro sportovní letce*. Praha: Naše vojsko, 2. vydanie, 1963. 268 s.
- [11] Aeroklub Poprad. [online]. [cit. 2017-08-04]. Dostupné z : <http://www.aeroklubpoprad.sk/node/433>
- [12] Letecký predpis L14 Letiská: Hlava 2 – Údaje o letiskách [online]. [cit. 2017-16-04]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [13] Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, [online]. [cit. 2017-03-09]. Dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>

## 6 Zoznam použitých skratiek, symbolov a veličín

Ac len	Alto cumulus lenticularis	
AIP	Aeronautical information publication	letecká informačná príručka
APN	Apron	odbavovacia plocha
ATIS	Automatic terminal information service	automatická informačná služba riadenej oblasti
°C	Degree Celsius	stupeň Celsia
CALM	Calm	bezvetrie
CAT	Category	kategória
Cb	Cumulonimbus	
CTR	Control zone	riadený okrsok
Cu	Cumulus	
Cu con	Cumulus congestus	
Cu fra	Cumulus fractus	
E	East	východ
FL	Flight level	letová hladina
ft	Foot	stopa
hPa	Hektopascal	hektopascal
IATA	International Air Transport Association	Medzinárodné združenie leteckých dopravcov
ICAO	International Civil Aviation Organization	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
IFR	Instrument Flight Rules	pravidlá pre let podľa prístrojov
ILS	Instrument Landing System	system pre presné priblíženie a pristátie
km	Kilometer	kilometer
kt	Knot	uzol
m	Meter	meter
METAR	Aerodrome routine meteorological report	pravidelná letecká meteorologická správa
mm	Milimeter	milimeter
m n. m.	Metres above sea level	metre nad hladinou mora
RWY	Runway	dráha
SHMÚ		Slovenský hydrometeorologický ústav
SPECI	Aerodrome special Meteorological report	zvláštna letištná meteorologická správa
SW-mapa	Significant weather chart	mapa význačného počasia
TAF	Terminal aerodrome forecast	letisková predpoveď
TMA	Terminal control area	koncová riadená oblasť
TREND	Landing forecast	pristávacia predpoveď