



# MINISTERSTVO DOPRAVY, VÝSTAVBY A REGIONÁLNEHO ROZVOJA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Letecký a námorný vyšetrovací útvar  
Námestie slobody 6, P.O.BOX 100, 810 05 Bratislava 15



Ev.č.: SKA2012012

## Z Á V E R E Č N Á   S P R Á V A

o odbornom vyšetrovaní leteckej nehody

vrtníka typu **Mi-8T**

poznávacej značky **OM-TMT**

Dátum: 03.08.2012

Miesto: letisko Poprad / LZTT

Odborné vyšetrovanie leteckej mimoriadnej udalosti bolo vykonané podľa § 18 zákona č. 143/1998 o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov, v súlade s Nariadením Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 996/2010 o vyšetrovaní a prevencii nehôd a incidentov v civilnom letectve, ktorými sa riadi vyšetrovanie leteckých nehôd a incidentov v civilnom letectve.

Záverečná správa je vydaná v súlade s predpisom L 13, ktorý je aplikáciou ustanovení ANNEX 13, Vyšetrovanie leteckých nehôd a incidentov k Dohovoru o medzinárodnom civilnom letectve.

Výhradným cieľom odborného vyšetrovania je zistenie príčin vzniku udalosti a prevencia vzniku takýchto udalostí, nie však poukazovanie akejkoľvek viny alebo zodpovednosti osôb.

Táto záverečná správa, jej jednotlivé časti alebo iné dokumenty, vzťahujúce sa k odbornému vyšetrovaniu predmetnej udalosti majú len informatívny charakter a nemôžu byť použité inak, len ako odporúčenie pre realizáciu opatrení, ktoré by zabránili vzniku ďalších leteckých mimoriadnych udalostí s obdobnými príčinami.

## A. ÚVOD

Prevádzkovateľ / Vlastník: TECH-MONT Helicopter company, s.r.o.  
Typ prevádzky: letecké práce  
Typ vrtuľníka: Mi-8T  
Poznávacia značka: OM-TMT



Miesto vzletu: Popradské pleso  
Fáza letu: pristátie z visu  
Miesto nehody: LZTT  
Dátum a čas nehody: 03.08.2012, 17:30

Poznámka: Všetky časové údaje v tejto správe sú uvádzané v UTC čase.

## **B. INFORMATÍVNY PREHĽAD**

Dňa 03.08.2012 posádka vrtuľníka Mi-8T, poznávacej značky OM-TMT, vykonávala letecké práce - prevážanie podvesených bremien z miesta skládky na Popradskom plesu na chatu pod Rysmi.

Pri spiatočnom lete zo staveniska chaty pod Rysmi, počas zostupného letu, prišlo k vniknutiu voľného oceľového transportného lana pre prepravu nákladu do vyrovnávacieho rotora. Jeho navinutím na rotorovú hlavu a následným roztrhnutím prišlo k poškodeniu listov vyrovnávacieho rotora, ktorý aj pri zníženej účinnosti umožnil návrat vrtuľníka klesavým letom s optimálnou rýchlosťou na letisko LZTT. Časť useknutého transportného lana odpadla do terénu pod vrtuľníkom.

Kapitán vrtuľníka sa rozhodol pre pristátie na letisku LZTT. V priebehu pristávacieho manévru začal byť vrtuľník nestabilný, tesne pred dotykom so zemou sa začal otáčať okolo zvislej osi s následnou stratou riaditeľnosti, pričom prišlo k stretu listov nosného rotora (ďalej len „NR“) s terénom a ich deštrukcii. Vrtuľník po skončení rotácie ostal stáť v polohe na pravom boku.

Posádka opustila vrtuľník vlastnými silami s drobnými odreninami a bola prevezená do nemocnice bez vážnejších zranení.

Na vyšetrovanie príčin vzniku predmetnej udalosti bola ustanovená komisia:

Ing. Igor BENEK  
Ing. Zdeno BIELIK

Správu vydáva:

Letecký a námorný vyšetrovací útvar  
Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky

## **C. HLAVNÁ ČASŤ SPRÁVY**

1. FAKTICKÉ INFORMÁCIE
2. ANALÝZY
3. ZÁVERY
4. ODPORÚČANIA NA ZAISTENIE BEZPEČNOSTI

### **1. FAKTICKÉ INFORMÁCIE**

#### **1.1 Priebeh letu**

Posádka vrtuľníka vykonávala prepravu materiálu v podvese zo skládky v priestore Popradského plesa na chatu pod Rysmi. Po odpojení, v poradí piateho bremena na chate pod Rysmi, posádka letela s prázdny transportným oceľovým lanom v klesavom lete na skládku v priestore Popradského plesa s úmyslom podvesiť a prepraviť ďalšie bremeno.

Asi v polovici tejto trasy palubný inžinier spozoroval samovoľné kmitnutie oceľového lana upnutého v háku vrtuľníka (za letu voľne viselo pod vrtuľníkom). Následne prišlo k jeho vniknutiu do vyrovnávacieho rotora, k navinutiu na rotorovú hlavu a jeho roztrhnutiu, čo spôsobilo poškodenie listov vyrovnávacieho rotora a tým zníženie jeho účinnosti.

Všetci členovia posádky zaznamenali silnú ranu a následné rozkmitanie vrtuľníka. Po ustabilizovaní letu sa kapitán vrtuľníka rozhodol pre pristátie s dojazdom na letisku LZTT. Pred samotným pristátím však zmenil svoj pôvodný úmysel a zvolil si klasické vrtuľníkové pristátie z visu.

Rozpočet a priblíženie uskutočnil na trávnatú vzletovú a pristávaciu dráhu (ďalej len „VPD“) 07.

Priebeh priblíženia na pristátie bol normálny. V bezprostrednej blízkosti nad zemou začal vrtuľník vybočovať vľavo, krúžiť v špirále a otáčať sa okolo zvislej osi. Následne prestal byť ovládateľný a prišlo k nárazu o zem. Pri náraze prišlo k dotyku listov NR so zemou a ich polámaniu. V priebehu poslednej fázy letu, pred dotykom, sa oddelila chvostová časť s vyrovnávacím rotorom, pričom boli oddelené i jednotlivé časti transmisie.

Vrtuľník po zastavení rotácie ostal stáť v polohe na pravom boku.

Denná doba: Deň

Pravidlá letu: VFR

## 1.2 Zranenie osôb

Zranenie	Posádka	Cestujúci	Ostatné osoby
Smrteľné	-	-	-
Vážne	-	-	-
Lahké	-	-	-
Bez zranení	3	-	-

## 1.3 Poškodenie vrtuľníka

Vrtuľník bol pri leteckej nehode zničený.

## 1.4 Ostatné škody

Leteckému a námornému vyšetrovaciemu útvaru neboli oznámené okolnosti s prípadným uplatnením iných náhrad škôd voči tretej osobe.

## 1.5 Informácie o leteckom personáli

### Kapitán vrtuľníka:

občan Slovenskej republiky, vek 47 rokov,

držiteľ preukazu spôsobilosti dopravného pilota vrtuľníkov ATPL(H), č. SK 08040337, vydaný dňa 22.12.2004 Leteckým úradom SR, s platnosťou do 03.05.2017.

Osvedčenie zdravotnej spôsobilosti:

1. triedy s vyznačenou platnosťou do 26.01.2013,
2. triedy s vyznačenou platnosťou do 26.07.2014.

### Letové skúsenosti:

Celkový nálet: 4044 hod 25 min  
Z toho za posledných 90 dní: 92 hod 55 min  
Z toho za posledných 30 dní: 46 hod 30 min  
V deň leteckej nehody: 2 hod 55 min

### **Druhý pilot-letovod:**

občan Českej republiky, vek 61 rokov,

držiteľ preukazu spôsobilosti obchodného pilota vrtuľníkov HCP, č. CZ/001228538, vydaný dňa 01.02.1999 Úradom pro civilní letectví Českej republiky, s vyznačenou dobou platnosti do 28.04.2014.

Osvedčenie zdravotnej spôsobilosti 1. triedy s vyznačenou platnosťou do 27.01.2013.

#### **Letové skúsenosti:**

Celkový nálet:	3626 hod 50 min
Z toho za posledných 90 dní:	57 hod 15 min
Z toho za posledných 30 dní:	18 hod 35 min
V deň leteckej nehody:	2 hod 55 min

### **Palubný inžinier:**

občan Slovenskej republiky, vek 43 rokov,

držiteľ preukazu leteckého personálu palubného inžiniera č. 10980023, vydaný dňa 09.02.1998 Leteckým úradom SR, s platnosťou do 22.05.2013.

Osvedčenie zdravotnej spôsobilosti:

1. triedy s vyznačenou platnosťou do 23.05.2013,
2. triedy s vyznačenou platnosťou do 23.05.2014.

#### **Letové skúsenosti:**

Celkový nálet:	4656 hod
----------------	----------

## 1.6 Informácie o vrtuľníku

### **Drak:**

typ:	MI-8T
poznávací značka:	OM -TMT
výrobné číslo:	98308361
výrobca:	MIL MOSCOV, HELICOPTER PLANT

Osvedčenie letovej spôsobilosti č. 0764, vydané Leteckým úradom Slovenskej republiky, platné do 15.04.2013.

Zákonné poistenie: Allianz Slovenská poisťovňa, č. 411014360.

## 1.7 Meteorologická situácia

Oblačnosť: 3-4/8 na výške 5300 ft, 5-7/8 so spodnou základňou 8000 ft, teplota 21°C, dohľadnosť nad 10 km, vietor 250°/5 kt.

### **Meteorologická situácia v oblasti Poprad – Vysoké Tatry**

Počasié v horskom masíve Vysoké Tatry bolo dňa 03.08.2012 pomerne stabilné, bez výrazných zmien prúdenia. V odpoľudňajších hodinách prechádzal cez oblasť Tatier nevýrazný studený front, ktorý sa prejavil nárazovým vetrom, prehánkami búrkového charakteru a prírastkom oblačnosti.

### **Správy METAR zo dňa 03.08.2012 (15:00-18:00) LZTT**

METAR LZTT 031500Z 25004KT 220V280 9999 FEW060 24/16 Q1016 NOSIG=

METAR LZTT 031530Z VRB01KT 9999 FEW060 24/17 Q1015 NOSIG=

METAR LZTT 031600Z 00000KT 9999 FEW053TCU 25/16 Q1015 NOSIG=

METAR LZTT 031630Z 05002KT 9999 FEW053 23/18 Q1015=

METAR LZTT 031700Z 27003KT 9999 SCT053 22/18 Q1016=  
METAR LZTT 031730Z 25005KT 9999 SHRA SCT053 BKN080 21/16 Q1016=  
METAR LZTT 031800Z 27009KT 9999 TSRA SCT050 CB SCT060 BKN080 21/15 Q1017=  
METAR LZTT 031830Z VRB06KT 9999 VCTS-SHRA SCT048CB SCT060 BKN080 20/15 Q1017  
RETS=

Zvrstvenie vzduchu bolo v daný deň podmienené labilné, teda prehriaty prízemný vzduch potreboval dosiahnuť hladinu voľnej konvekcie, ktorá bola v tlakovej hladine 758,6 hPa (cca 2200 m) nejakým iným mechanizmom, aby potom už samovoľne konvektívne stúpala a vytvárala kopovitú oblačnosť. Dá sa predpokladať, že v horskom teréne mohol byť týmto mechanizmom anabatický výstup prehriatej prízemnej vrstvy pozdĺž oslneného kamenného podlažia Mengusovskej doliny. Táto miestna cirkulácia, zvaná aj údolný teplý vietor, má dennú periódu zmeny a po západe Slnka sa mení na katabatický studený horský vietor vanúci dole svahom. Táto zmena smeru vanutia nie je skoková, ale mení sa postupne podľa toho ako je zatienené dané údolie. V čase udalosti bol západný svah Mengusovskej doliny už v tieni a radiačne sa ochladzoval, kým východný bol stále ožiarený Slnkom a zrejme stále produkoval stúpajúci prúd vzduchu pozdĺž svahu. Tento stúpajúci prúd mohol ľahko dosiahnuť až výšku voľnej konvekcie a pokračovať v ďalšom výstupe. Na západnej strane údolia začínal ochladzujúci sa vzduch postupne klesať do údolia a na jeho miesto bol nasávaný vzduch z vyšších hladín, čo spôsobilo klesavé prúdy nad západnou stranou údolia. Tento obraz prúdenia je zvlášť v oblasti dotyku stúpavého a klesavého značne chaotický, s výskytom vírov rôznych rozmerov a intenzity. Konvektívna dostupná potenciálna energia (CAPE) bola v daný deň 731,9 J/kg, Bulk Richardsonovo číslo (BRCH) vyjadrujúce intenzitu termickej turbulencie a strihu vetra bolo 72,83. Tieto hodnoty naznačujú, že intenzita vývoja búrok a termickej turbulencie bola nízka. Je však potrebné povedať, že tieto indexy sú modelované pre voľnú atmosféru a v podmienkach intenzívneho trenia ako je to v horskom teréne majú menšiu reprezentatívnosť.

**CAPE** – dostupná potenciálna energia konvektivity, je mierou nestability ovzdušia a dňa 03.08.2012 mala hodnotu 731,9 J.kg<sup>-1</sup>, čo predstavuje slabú aktivitu. V našich zemepisných šírkach je v letnom období pri búrkovej situácii CAPE >1000 J.kg<sup>-1</sup>.

**BRCH** – Bulk Richardsonovo číslo je kritériom termodynamického nestability atmosféry. Pre daný deň malo hodnotu 72,83. Čím je číslo **menšie**, tým je turbulentné prúdenie silnejšie. Slabá turbulencia začína pri čísle BRCH < 0,5. Pre deň 03.08.2012 udávaná hodnota ukazuje na stabilnú atmosféru.

## 1.8 Navigačné zariadenia

Neuvádza sa.

## 1.9 Spojenie

Vrtuľník bol vybavený rádiovým komunikačným vybavením umožňujúcim obojsmerné spojenie v každom okamihu letu so všetkými leteckými stanicami.

## 1.10 Informácie o letisku

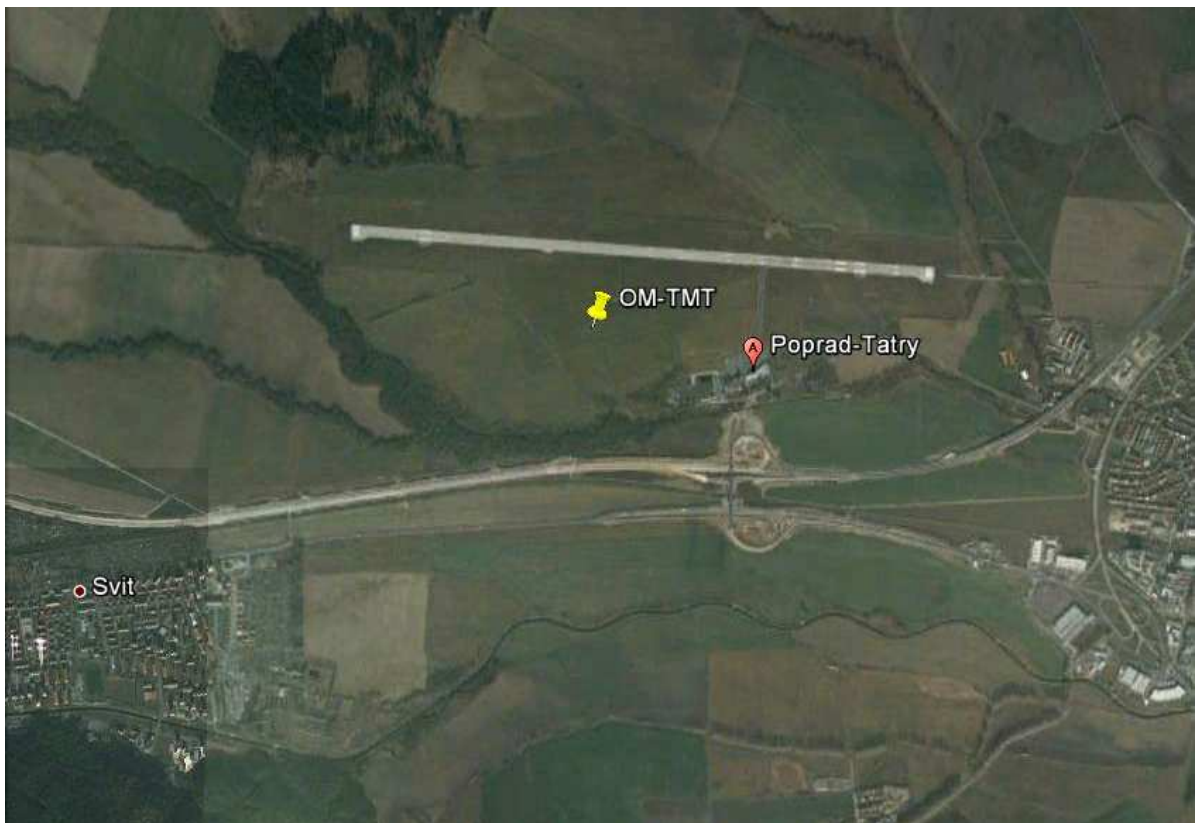
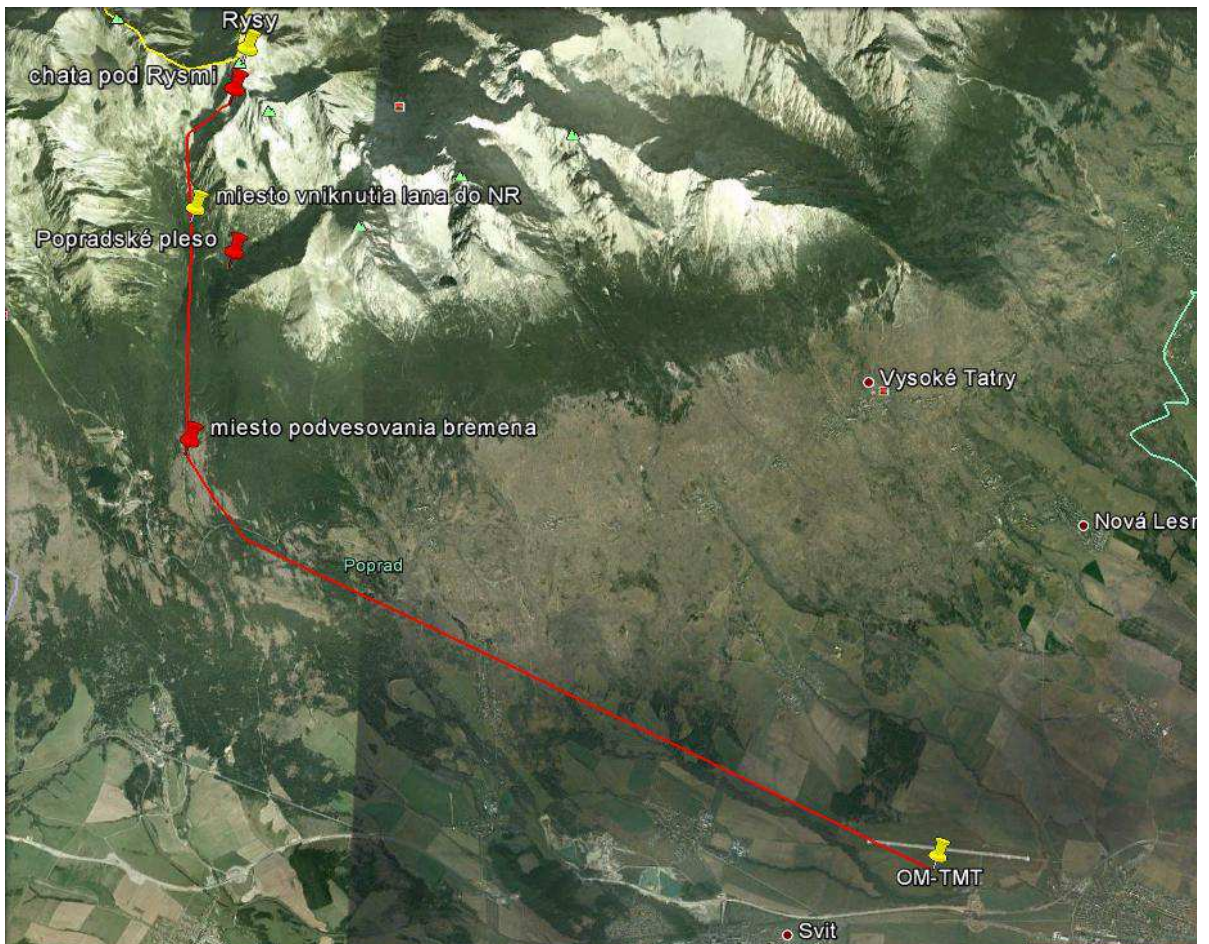
Neuvádza sa.

## 1.11 Letové zapisovače a ostatné záznamové prostriedky

Vrtuľník nebol vybavený palubným zapisovačom letových údajov a nemal iné záznamové prostriedky.

## 1.12 Informácia o dopade a troskách

Miesto nehody sa nachádza na VPD 07 letiska LZTT a je určené zemepisnými súradnicami: N 49° 04' 13,9'', E 020° 14' 17,6''









#### 1.13 **Lekárske a patologické nálezy**

Neuvádza sa.

#### 1.14 **Požiar**

Nevznikol.

#### 1.15 **Aspekty prežitia**

Pátranie a záchranu prostriedkami SAR nebolo nutné vykonať.

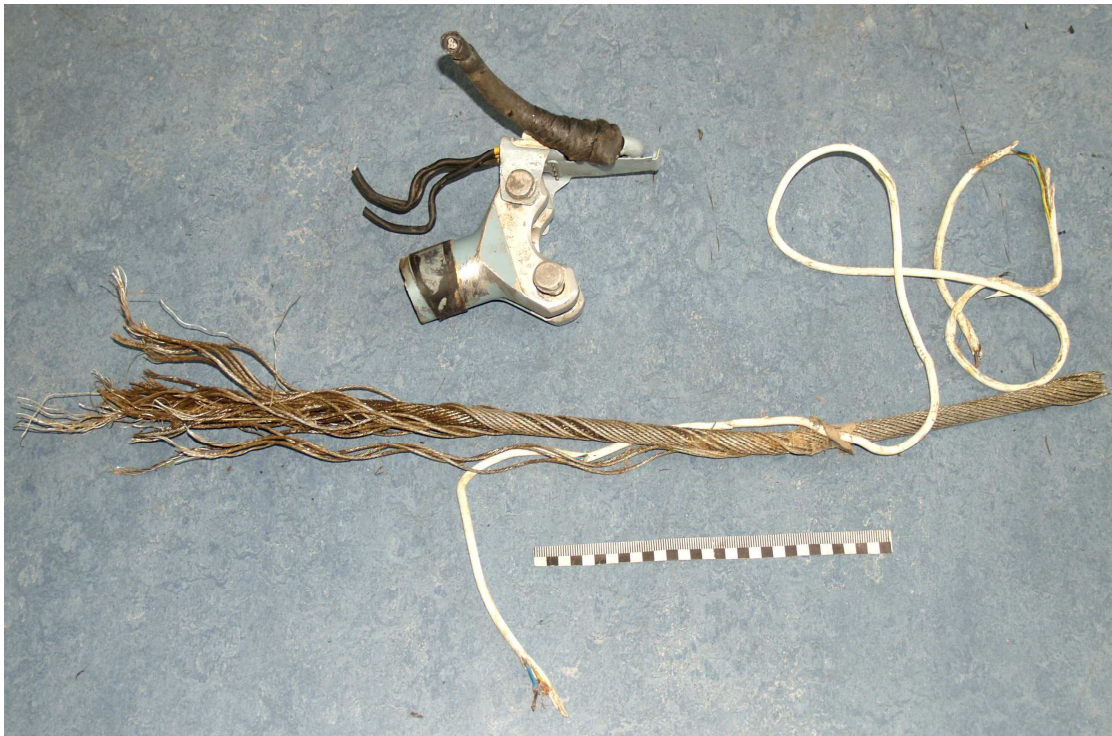
#### 1.16 **Testy a výskum**

Na skúmanie boli predložené dve vecné stopy

- časť otočného uloženia listu vyrovnávacej vrtuľky
- časť poškodeného oceleového lana

Na základe vykonaného skúmania bolo zistené, že predložené oceleové lano bolo poškodené nedovoleným, resp. nekorektným, priečne smerovaným zaťažením (kontakt s cudzím telesom). Lano svojou konštrukciou (protismerné vinutie a priemer drôtov) korešpondovalo s ryhami a vtláčkami na povrchu predloženej časti uloženia listu vyrovnávacej vrtuľky.

Stopy (povrchové ryhy) na predloženej časti z uloženia listu vyrovnávacej vrtuľky vzhľadom na charakter skúmaných rýh a vtláčkov a poškodenia lana, na prakticky nulovú možnosť kontaktu vyrovnávacej vrtuľky s iným oceleovým lanom možno s veľkou pravdepodobnosťou predpokladať, že stopy na predloženej časti uloženia listu vyrovnávacej vrtuľky boli vytvorené skúmaným lanom.



#### 1.17 Informácie o organizáciách a riadení

Let vrtuľníka bol uskutočnený v rámci vykonávania leteckých prác – preprava materiálu z miesta skládky neďaleko železničnej stanice Popradské pleso na Chatu pod Rysmi.

Prevádzkovateľom vrtuľníka je spoločnosť, ktorá je držiteľom platného povolenia na vykonávanie leteckých prác č. SK002 vydaného Leteckým úradom SR.

#### 1.18 Doplnkové informácie

Let prebiehal s voľne podveseným transportným lanom celkovej dĺžky 28m v zostave:

- oceľové lano Herkules  $\varnothing$  18 mm o dĺžke 20 m,
- dva nylonové pásy, každý o dĺžke 4 m,
- dva pláténé pásy ukončené oceľovými závesnými hákmi, každý o dĺžke 2 m,
- konopné lano pre navedenie nákladu na miesto o dĺžke 2 m.



### 1.19 Spôsoby odborného vyšetovania

Boli použité bežné spôsoby vyšetovania.

## 2. ANALÝZA

### 2.1 Prvá fáza letu vrtuľníka – úsek chata pod Rysmi po kolíziu transportného lana s vyrovnávacím rotorom

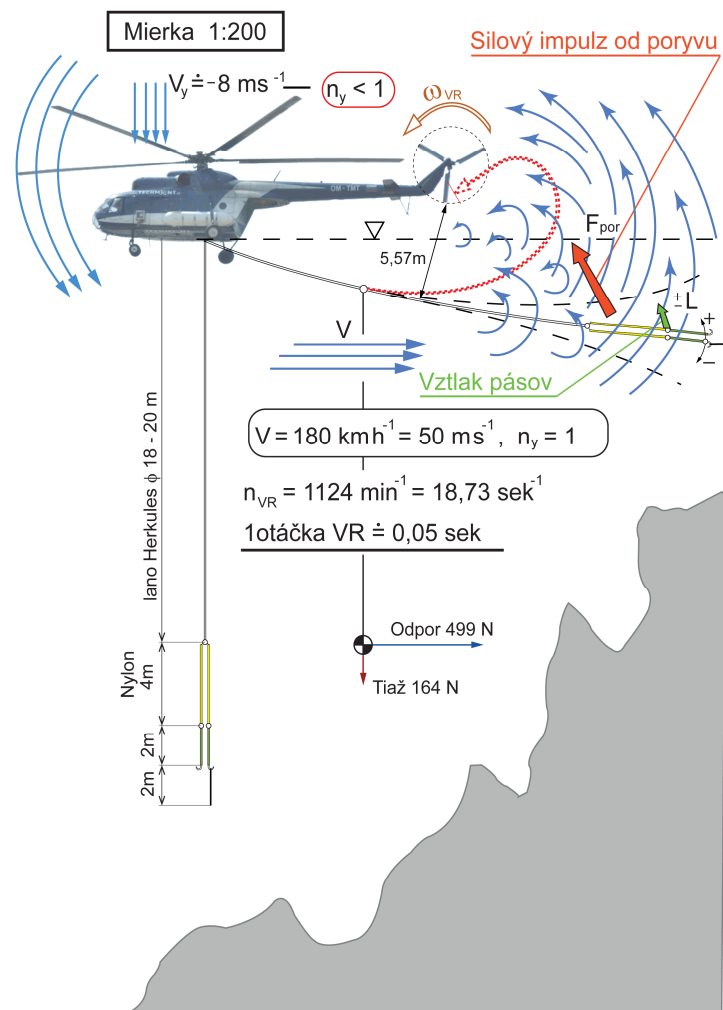
Vrtuľník Mi-8T nebol vybavený palubným zapisovačom letových údajov, preto analýza letu sa z hľadiska parametrov letu opiera o výpoveď posádky vrtuľníka.

Po zložení nákladu v priestore chaty pod Rysmi vo výške 2250 m, za dobrých miestnych meteorologických podmienok (vietor 3 – 4 m.s<sup>-1</sup>, dohľadnosť 10 km), v čase krátko po 17 hodine, pilot nasadil na zostupný let po západnej strane Mengusovskej doliny.

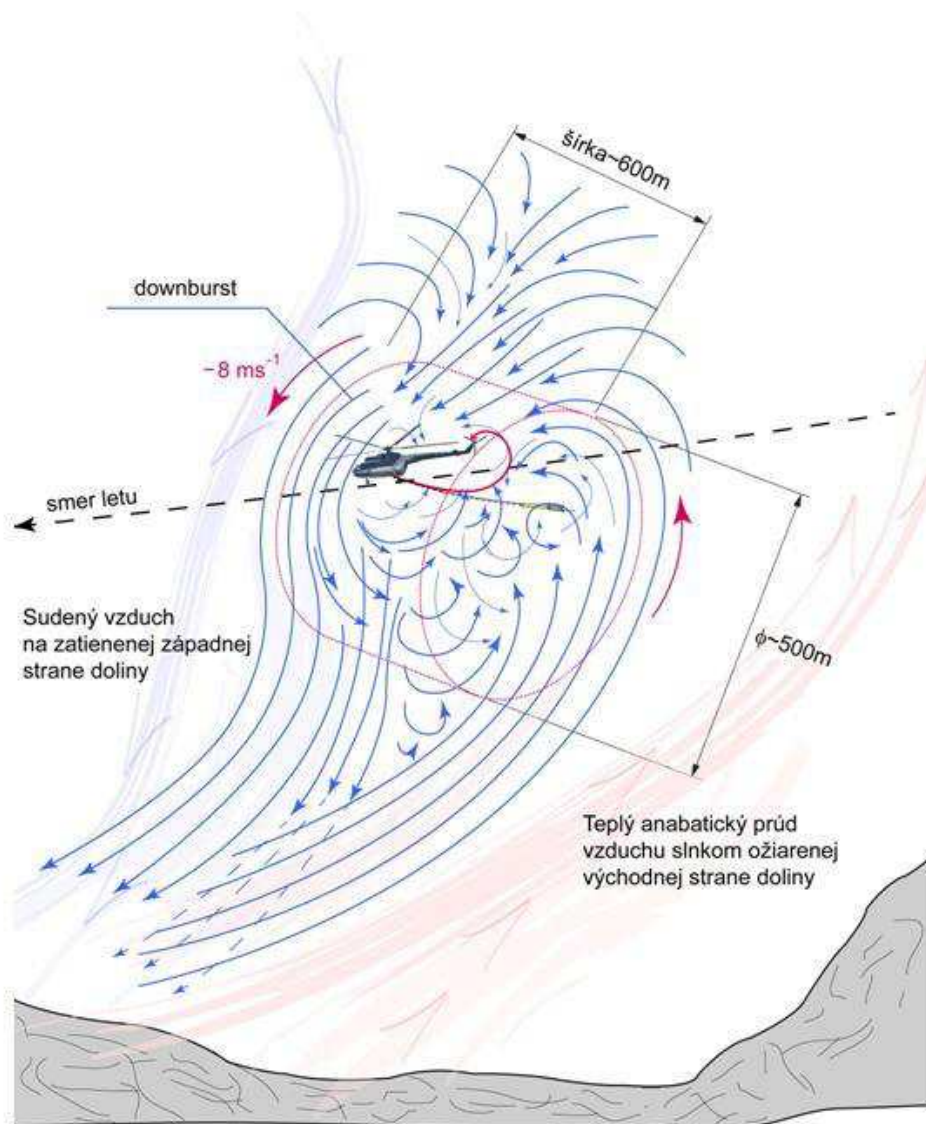




Let prebiehal s voľne podveseným transportným lanom



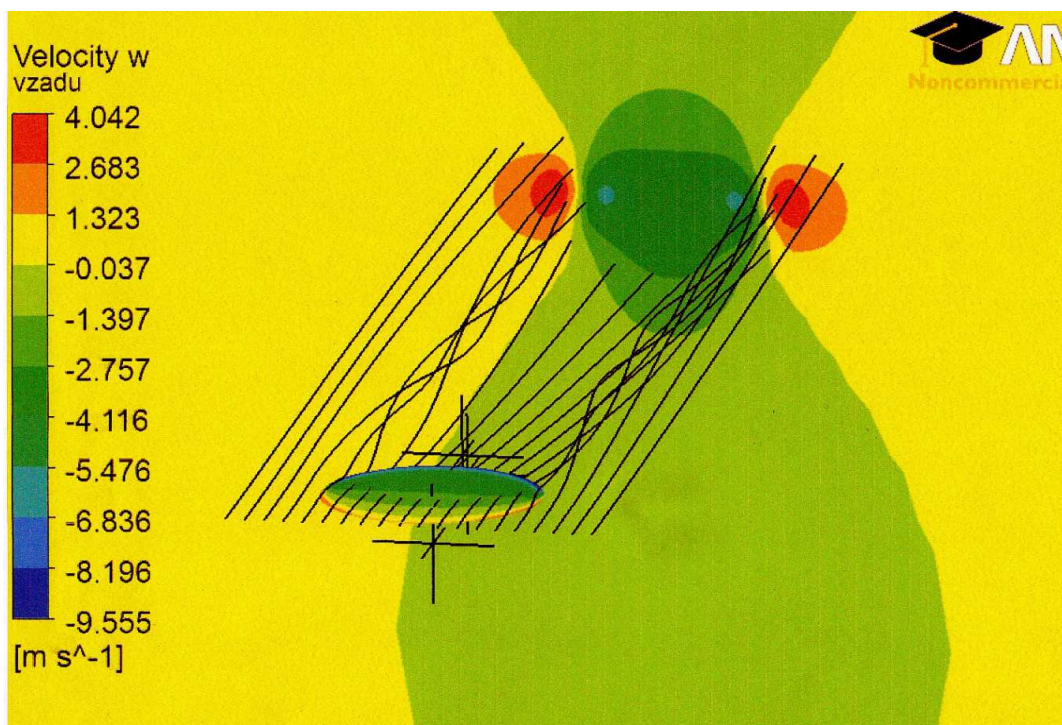
Predpokladaný fyzikálny model atmosférických procesov, ktoré boli primárnym faktorom leteckej nehody vrtuľníka



Miestna meteorologická situácia v hornej časti Mengusovskej doliny pod Žabími plesami a jej náhodný dynamický vývoj je charakteristický pre doliny, kde orografické a tepelné vplyvy sú pri náhlom prechode prúdenia z oslnenej časti do tieňa v protiklade. Ohriaty vzduch sa dostáva do konvekcie, ktorou sú tepelné nehomogenity v atmosfére vo forme stúpajúcich bublín vzduchu.

Spúšťač konvekcie v prízemných hladinách je teplotný gradient väčší ako  $4,2^\circ$  na km, vznikajúci pri prudkom prehrievaní, v danom prípade, skalného povrchu (začiatok augusta sa vyznačoval teplotami okolo  $30^\circ\text{C}$ ), ktorý iniciuje stúpajúcu bublinu vzduchu s jej privedením až do hladiny voľnej konvekcie (LFC). Hladina LFC kde už teplota vzduchovej bubliny bude vyššia ako okolitá teplota je podľa priloženého termodynamického grafu v danom čase v tlakovej hladine 759 hPa t.j. vo výške cca 2100 m. Pri dotyku teplého vzostupného anabatického prúdenia po slnkom ožiarenej východnej stene Mengusovskej doliny a klesajúceho, ochladeného katabatického prúdenia po zatienenej západnej strane doliny sa vytvorí rotácia vzduchovej hmoty. V závere doliny pri zmene smeru sa mechanizmus prepadu studeného vzduchu (downburst) prejavuje akceleráciou klesavého prúdu s prisávaním okolitého vzduchu na uvoľnené miesto.

Táto rotujúca vzduchová hmota (odhadom s priemerom 500 m a šírkou 600 m) o hmotnosti cca 150 ton by mala pri teplotnom rozdieli cca 10°C medzi oslnenou a zatienenou stranou doliny zrýchlenie až  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , čo dáva predpokladanú rýchlosť vírového prúdenia okolo  $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . (Výsledok dáva idealizovaný model výpočtu, ktorý uvažuje len tepelný rozdiel – v praxi pôsobia aj ďalšie vplyvy). Interakcia gradientu zrýchlenia parciálnych vnútorných prúdení uvažovanej vzduchovej hmoty s poruchami vertikálneho tlakového gradientu, strihom vetra, členitosťou terénu a turbulencie vytvorenej prácou NR, môže významne zvýšiť intenzitu turbulentnej rotácie vzduchu a jej hybnosť s veľkým energetickým obsahom.

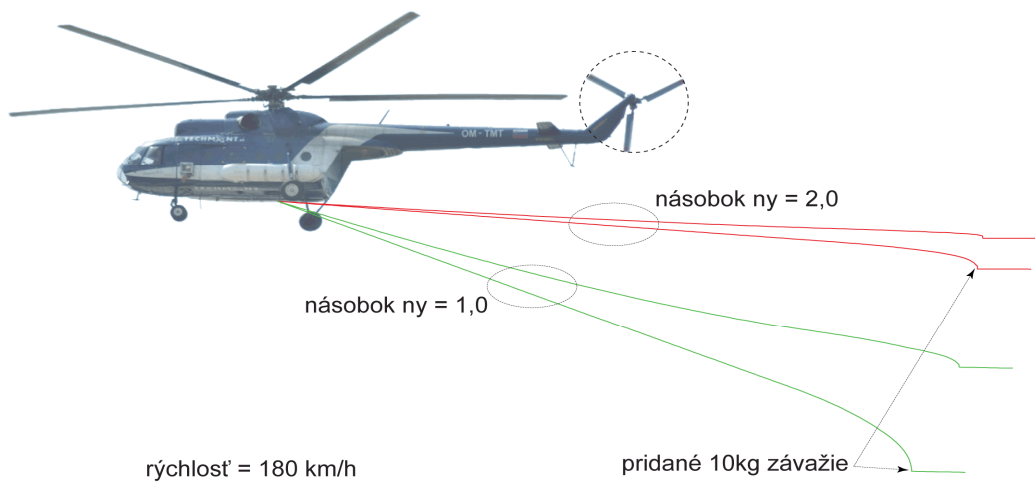
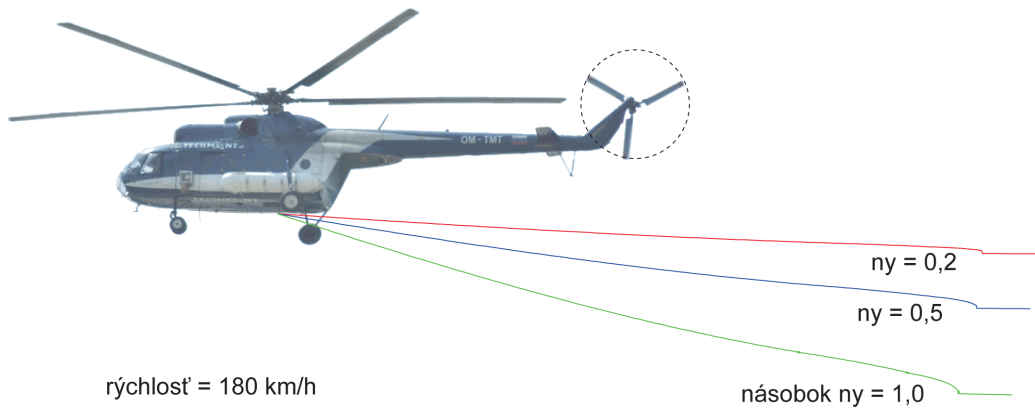
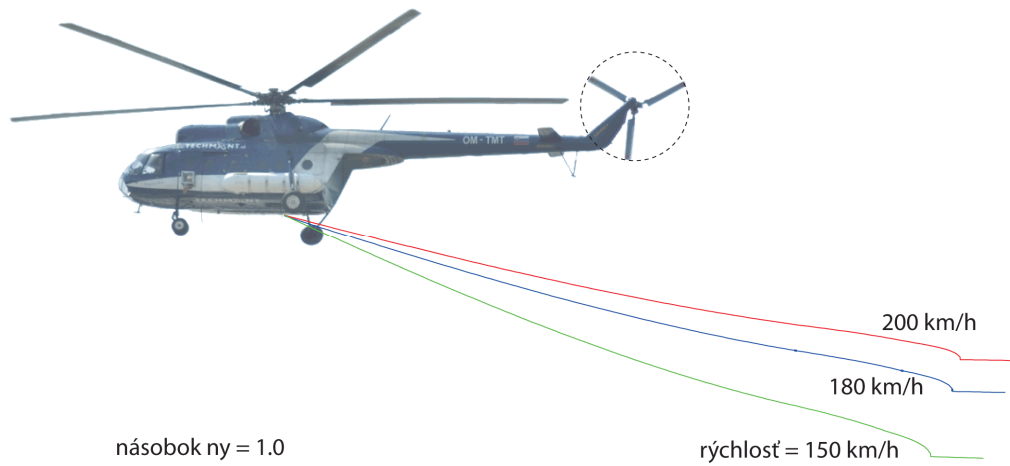
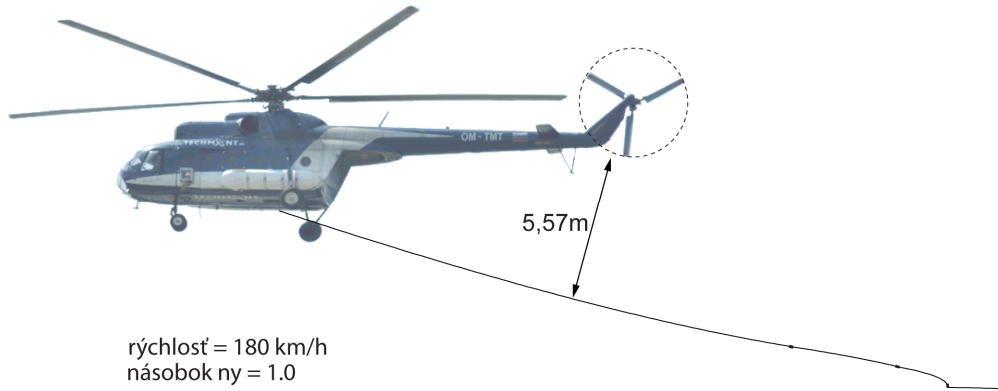


### Kolízia transportného lana s vyrovnávacím rotorom vrtuľníka

Vlietnutie vrtuľníka do zostupnej časti rotujúcej vzduchovej hmoty, padajúcej rýchlosťou okolo  $-8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  v priestore pod Žabími plesami sa prejavilo jeho presadnutím, pravdepodobne s poklesom násobku zaťaženia na hodnotu blízku nule ( $n_y \approx 0,2$ ). Následne prišlo k samovoľnému zvýšeniu rýchlosti letu zo  $180 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  na 200 až  $210 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Pilot s najväčšou pravdepodobnosťou podvedome zareagoval pritiahnutím páky cyklického riadenia pre korekciu zvýšenej rýchlosti letu. Spoločným menovateľom uvedených faktorov a jeho dôsledkom bolo vzájomné zblíženie transportného lana a roviny otáčania vyrovnávacieho rotora z nasledujúcich dôvodov:

- Zvýšenie rýchlosti letu vrtuľníka po vlietnutí do zostupného poryvu vyvolá zvýšenie aerodynamického odporu podvesu. Väčší ťah odporu na lano podvesu sa prejaví zvýšením jeho polohy, t.j. priblížením k vyrovnávaciemu rotoru.
- Pokles násobku zaťaženia pri presadnutí vrtuľníka sa prejaví priblížením vyrovnávacieho rotora k zvýšenej úrovni koncovej časti lana podvesu.
- V snahe znížiť poryvom spôsobený samovoľný prírastok rýchlosti letu pilot pravdepodobne podvedome pritiahnutím páky cyklického riadenia (v danom prípade je správne reagovať zdvihnutím kolektívu) priviedol vrtuľník na kladný uhol sklonu. Chvostový nosník s vyrovnávacím rotorom klesol a tým sa ešte viac priblížil ku zvýšenej úrovni kmitajúcej koncovej časti transportného lana.

Polohy lana vzhľadom k vrtuľníku pre rôzne prípady letu ukazuje počítačová simulácia.



Treba zdôrazniť, že popísaný proces dynamických premien je časovo aj svojou lokalizáciou bleskurýchly, náhodný dej, často bez možnosti posádky ovplyvniť jeho výsledok. Proti jeho záľudnosti nie sú zárukou bezpečnosti lietania v horských podmienkach ani dlhoročné skúsenosti. Každý let v horách je svojim spôsobom iný a nebezpečenstvo nestability vzduchových hmôt často ničím nesignalizuje svoju prítomnosť (napr. tvorbu oblačnosti). V danom prípade vniknutie vrtuľníka do vzdušného víru, charakterizovaného zložitou vnútornou štruktúrou turbulencie s veľkou kinetickou energiou, spolu s odozvou vrtuľníka a reakciou pilota boli príčinou vniknutia transportného lana do pracovného priestoru vyrovnávacieho rotora.

Štartovacím podnetom pre vniknutie lana do vyrovnávacieho rotora boli pravdepodobne, okrem hore uvedených faktorov aj náklon a vybočenie vrtuľníka pri jeho presadnutí. Asymetria prúdenia rotujúcej hmoty vzduchu spôsobila energetický stranový pohyb vrtuľníka, ktorý bol impulzom bočného vykmitnutia lana, najmä jeho veľmi poddajnej nylonovej časti spolu s plátennými pásmi, ktoré boli v jadre vzostupnej časti turbulentného víru. Pôsobením zotrvačných síl hmôt lana a aerodynamických síl na vzdušným vírom rozkmitaných, poddajných nylonových pásoch sa koncová časť lana priestorovo zvinula do slučky a v tomto okamihu stačil aj relatívne malý silový impulz aby energicky vykmitla smerom hore, kde ju pravdepodobne nasal podtlak na sacej strane vyrovnávacieho rotora a následne zachytili jeho listy.

## 2.2 Fáza letu vrtuľníka po vniknutí lana do vyrovnávacieho rotora

Vyrovnávací rotor má pri nominálnom režime práce pohonnej jednotky otáčky  $1124 \text{ ot.min}^{-1}$ , to je 18,73 otáčok za sekundu. Po dotyku pravdepodobne koncovkej poddajnej konopnej časti transportného lana s rovinou otáčania vyrovnávacieho rotora začalo jeho bleskurýchle navíjanie na hlavu vyrovnávacieho rotora. Pri otáčkach rotora 18,73 za sekundu trvalo namotanie časti lana, ktorá presahuje dĺžku vrtuľníka (15,3 m) na hlavu vyrovnávacieho rotora o priemere  $\varnothing$  280 mm, do napnutia zostávajúcej časti lana (12,7 m), ukotvanej na záves v trupe vrtuľníka cca 0,9 sekundy! V tom okamihu oceľové lano dynamicky napnuté na medzu pevnosti prasklo v mieste ohybu (koncentrátor napätia ) na dotykovom bode so závesom listu vyrovnávacieho rotora.







Po roztrhnutí sa časť voľného konca roztrhnutého lana, ukotveného v trupe vrtuľníka svojou pružnosťou vymrštila a namotala na pravú polovicu stabilizátora, ktorú vážne poškodila.

Odtrhnutá časť lana (cca 15,3 m), namotaná na hlavu vyrovnávacieho rotora, sa začala postupne odvíjať (proti smeru otáčania rotora relatívne pomalšie ako pri navíjaní) pôsobením progresívne narastajúcej odstredivej sily. Postupným odvíjaním lana narastala hmotová nevyváženosť vyrovnávacieho rotora, ktorá sa prejavila **intenzívnym** rozkmitaním vrtuľníka v pozdĺžnom smere. (Pod pojmom hmotovej nevyváženosti rotujúceho telesa rozumieme stav, keď hlavná centrálna os zotrvačnosti nie je totožná s osou jeho rotácie – statická nevyváženosť).



Po odvinutí bolo lano vymrštené odstredivou silou do priestoru a amplitúda kmitov vrtuľníka sa podstatne znížila. (Počas odvíjania pravdepodobne muselo lano niekoľko krát preletieť aj medzi listami NR bez ich vážnejšieho poškodenia).

Pri opúšťaní plochy opisovanej vyrovnávacím rotorom, pravdepodobne koncová časť závesu so závesnými hákmi, nárazom do najbližšieho listu vyrovnávacieho rotora ho vážne poškodila. Pôsobením odstredivej sily sa list v mieste poškodením zoslabenej časti odtrhol (voštinová časť konca listu pravdepodobne o hmotnosti cca 5kg).

Odtrhnutím časti listu spôsobené vyosenie ťažiska vyrovnávacieho rotora z osi otáčania vznikla jeho nová hmotová nevyváženosť, ktorá sa prejavila pokračujúcim, ale miernejším pozdĺžnym kmitaním vrtuľníka. Počas ďalších sekúnd letu sa pravdepodobne na ďalšom, menej poškodenom protiláhlom liste odtrhla pôsobením odstredivej sily časť voštinového úseku, čím sa zmenšila hmotová nevyváženosť vyrovnávacieho rotora a tým aj úroveň vibrácií vrtuľníka.

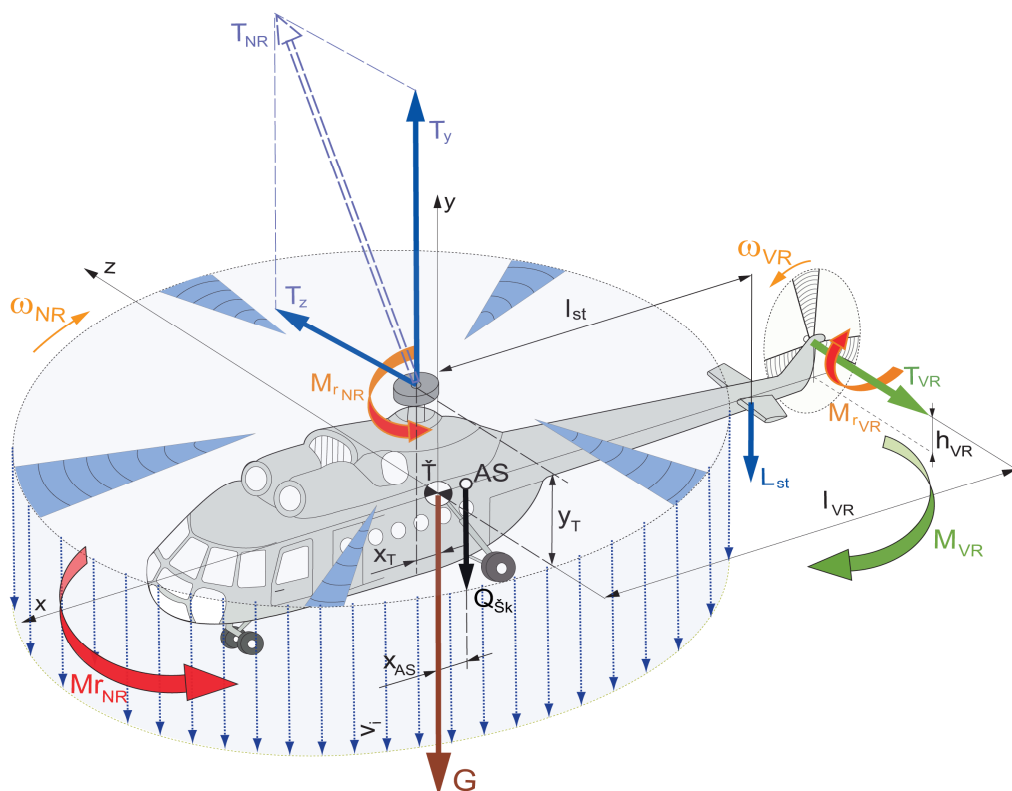
Úbytok plochy listov vyrovnávacieho rotora znížil účinnosť jeho práce, ktorá však bola pri **danej rýchlosti letu** (cca 150 km.h<sup>-1</sup>) dostatočná, kompenzovateľná väčším uhlom nastavenia listov rotora pravým pedálom smerového riadenia.

V tejto fáze letu pilot subjektívne nevnímal žiadne relevantné varovné príznaky, signalizujúce vážne ohrozenie bezpečnosti letu.

### 2.3 Záverečná fáza letu

Vzhľadom na predpokladané poškodenie vyrovnávacieho rotora neznámeho rozsahu, ktoré však v režime motorového klesania pri rýchlosti cca 150 km.h<sup>-1</sup> dovoľovalo riadenie letu sa pilot rozhodol prerušiť pracovný program a pristáť na letisku LZTT.

Priblíženie vykonal zo smeru letu a zvolil klasické vrtuľníkové pristátie brzdením rýchlosti letu až do zavisenia vo výške 3 – 5 m a dosadnutie vertikálnym znížením na trávnatú plochu vedľa betónovej pristávacej dráhy letiska. Sily a momenty pôsobiace na vrtuľník v kritickej záverečnej fáze letu, ktorá normálne končí zavisením vrtuľníka pri nulovej rýchlosti letu ukazujú pri rovnovážnom, ustálenom stave schéma síl na obrázku:



### Hlavné podmienky ustáleného visenia vrtuľníka:

1.  $T_y = W$ : podmienka stálej výšky visenia
2.  $T_z = T_{VR}$ : podmienka nulového bočného posunu vrtuľníka
3.  $T_x = 0$ : podmienka nulového posúvania v pozdĺžnom smere (v smere osi x)
4.  $M_{VR} = M_{rNR}$  podmienka stáleho smeru visenia

#### 2.4 Rozbor príčin leteckej nehody v záverečnej fáze letu

Hlavnou príčinou nehody, ktorou skončilo pristátie vrtuľníka, je nesplnenie v poradí štvrtej podmienky o rovnováhe momentov okolo zvislej osi vrtuľníka, teda  $M_{VR} = M_{rNR}$ .

#### Chronológia fyzikálnych zákonitostí v priebehu letu:

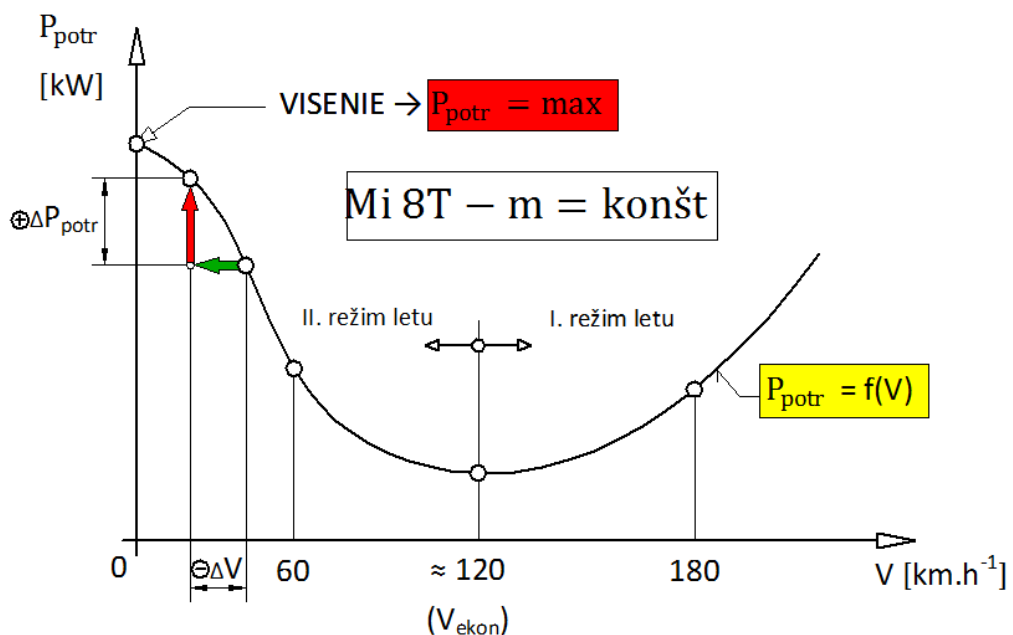
Pre let vrtuľníka ľubovoľnou rýchlosťou, vrátane nulovej – visenie vrtuľníka, je požadované splnenie podmienky aby ťah  $T_{NR}$  vytváraný NR bol rovný tiaži vrtuľníka  $W = m \cdot g$ , kde  $m$  je jeho letová hmotnosť.

Pre vznik ťahu NR, ako aerodynamickej sily, vznikajúcej obtekaním listov NR prúdom vzduchu pri otáčaní NR je potrebný presne definovaný výkon  $P_{potr}$ , ktorý dodáva pohonná jednotka najmä na prekonanie aerodynamického odporu listov pri otáčaní NR (otáčky  $n_{NR} = 192$ , to je  $214 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 770 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), ktorý rastie s druhou mocninou obvodovej rýchlosti.

Pohonnú jednotku vrtuľníka Mi-8T tvoria dva turbohriadeľové motory TV2-117AG, každý o výkone 1104 kW. Veľkosť potrebného výkonu  $P_{potr}$  závisí v prvom priblížení na letovej hmotnosti  $m$  (v danom prípade je konšt.) a na režime práce NR, ktorý charakterizujú dva druhy obtekania:

a) režim osového prúdenia – pri visení vrtuľníka a režimoch jemu blízkych – vyžaduje pri danej letovej hmotnosti maximálny potrebný výkon  $P_{potr}$ .

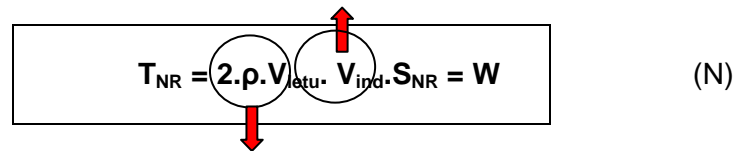
b) režim šikmého prúdenia – pri rýchlostiach letu približne nad  $50 - 60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  – prejavuje sa najmä v prechodnej oblasti pri malých rýchlostiach výraznou zmenou potrebného výkonu.



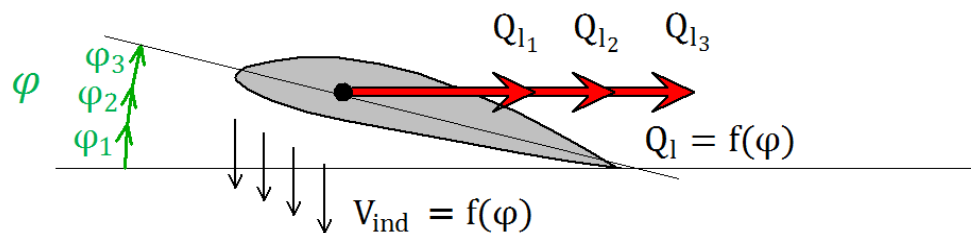
Konkrétne hodnoty potrebného výkonu závisia okrem letovej hmotnosti a rýchlosti letu tiež na výške letu, teplote vzduchu, vlhkosti vzduchu

V záverečnej fáze pristátia má každý vrtuľník pri znižovaní doprednej rýchlosti od rýchlosti cca  $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  prechodom z režimu šikmého obtekania NR na režim osového prúdenia tendenciu výrazne zvyšovať vertikálnu rýchlosť klesania.

Príčinou je pokles ťahu NR, ktorý je závislý na rýchlosti letu  $V_{\text{letu}}$  a indukovanej rýchlosti  $V_{\text{ind}}$ , t.j. rýchlosti rotorom urýchľovanej hmoty vzduchu podľa vzťahu (zjednodušene podľa impulznej teórie):

$$T_{\text{NR}} = 2 \cdot \rho \cdot V_{\text{letu}} \cdot V_{\text{ind}} \cdot S_{\text{NR}} = W \quad (\text{N})$$


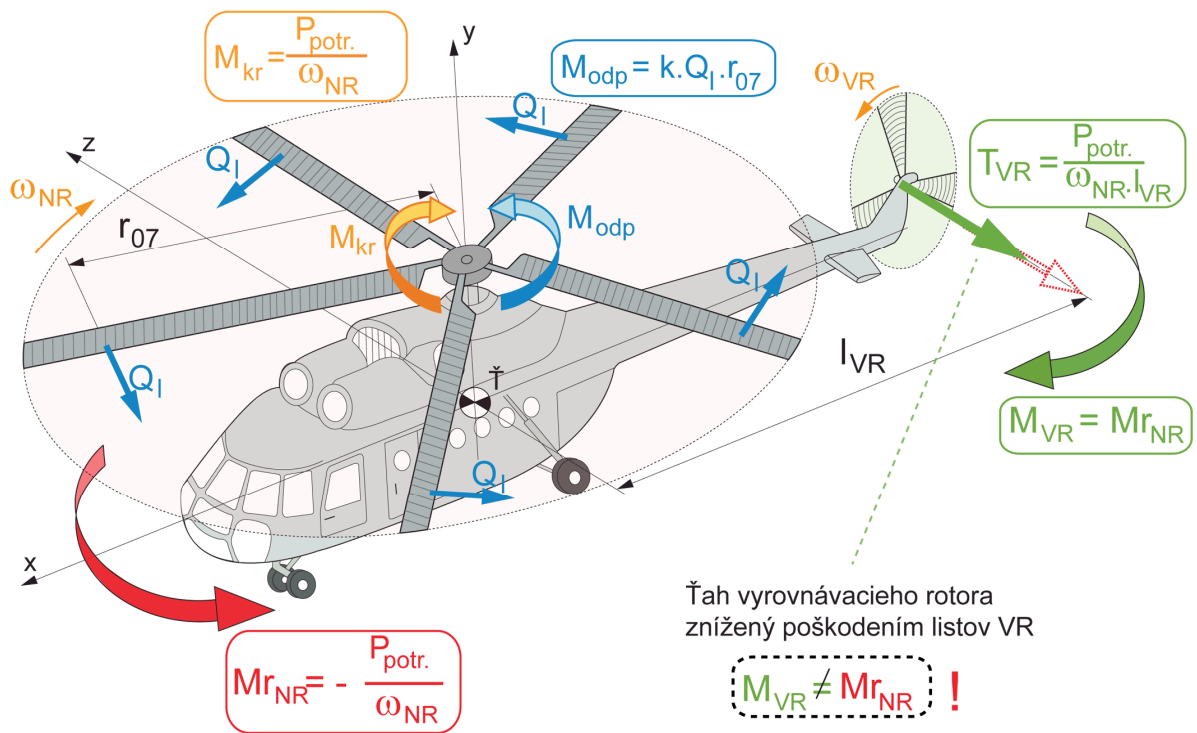
Pri znižovaní rýchlosti letu  $V_{\text{letu}}$  musí pilot pre zachovanie potrebného ťahu NR  $T_{\text{NR}} = W$  a možnosť riadenia s cieľom zachovať primerane malú rýchlosť vertikálneho klesania s približovaním k zemi (v záverečnej fáze cca  $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) zväčšovať indukovanú rýchlosť vzduchovej hmoty  $V_{\text{ind}}$  urýchľovanú prácou NR. Tento proces vyžaduje zväčšovanie uhla kolektívneho nastavenia listov NR  $\varphi$ .



Pri väčšom uhle nastavenia listov NR rastie indukovaná rýchlosť vzduchu pod rotorom  $V_{\text{ind}}$  a tým aj ťah NR, ktorý brzdí klesanie vrtuľníka. Súčasne však rastie aj aerodynamický odpor listov  $Q_i$  a tým aj moment aerodynamického odporu listov NR proti otáčaniu ktorý má snahu brzdiť rýchlosť otáčania NR.

Zabrániť poklesu otáčok NR a tým pri zväčšení uhla nastavenia listov NR  $\varphi$  dosiahnuť rastom indukovanej rýchlosti  $V_{\text{ind}}$  potrebný ťah NR, vyžaduje privádzať na hriadeľ NR väčší potrebný výkon  $P_{\text{potr}}$ .

Zväčšovaním potrebného výkonu motorov  $P_{\text{potr}}$  pri konštantnej uhlovej rýchlosti otáčania NR  $\omega_{\text{NR}}$  (otáčky NR) rastie na hriadeľi NR krútiaci moment, ktorý pôsobí proti momentu aerodynamického odporu NR proti otáčaniu, udržiava jeho konštantné otáčky a tým aj jeho ťah  $T_{\text{NR}}$  na potrebnej veľkosti.



Podľa zákona o akcií a reakcii (III. Newtonov zákon) pôsobí rovnako veľký moment opačnej orientácie na trup vrtuľníka – reakčný moment  $M_{r_{NR}}$ . Tento reakčný moment pôsobí cez hriadeľ NR a hlavný reduktor transmisie a pri pravotočivom rotore sa snaží otáčať trupom vrtuľníka vľavo. Pre udržanie vrtuľníka bez otáčania vľavo je potrebné vyvážiť tento reakčný moment NR rovnako veľkým opačne orientovaným momentom. Túto momentovú rovnováhu zabezpečuje svojím ťahom  $T_{VR}$  vyrovnávací rotor na ramene  $I_{VR}$ , umiestnený na konci chvostového nosníka vrtuľníka.

Potrebnú veľkosť ťahu vyrovnávacieho rotora  $T_{VR}$  určuje pilot vrtuľníka zmenou uhla nastavenia jeho listov vychyľovaním pedálov smerového riadenia vrtuľníka podľa režimu letu.

Moment vyrovnávacieho rotora  $M_{VR}$  vyvažuje reakčný moment NR  $M_{r_{NR}}$ , zabezpečuje kľudový stav vrtuľníka okolo jeho zvislej osi a drží vrtuľník vo zvolenom kurzovom uhle.

Vpredu popísané vniknutie transportného lana do vyrovnávacieho rotora počas letu a následné poškodenie jeho listov, výrazne zmenilo popísaný mechanizmus normálnej realizácie záverečnej fázy letu.

Pri relatívne vyššej rýchlosti letu, pri priblížení na pristátie (cca  $150 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), boli hodnoty potrebného výkonu pre let, krútiaci moment na NR a jemu zodpovedajúci reakčný moment NR relatívne malé a na vyváženie reakčného momentu postačoval aj ťah vytváraný poškodeným vyrovnávacím rotorom. Pilot preto nevnímal počas letu záľudnosť situácie.

Brzdením rýchlosti letu pred pristátím pod  $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a vpredu vysvetlenou požiadavkou výrazného rastu potrebného výkonu motorov, úmerne rastie aj krútiaci moment na hriadeľ NR a tým aj reakčný moment NR, ktorý sa snaží **otáčať vrtuľník vľavo**.

Narastajúci reakčný moment  $M_{r_{NR}}$  vyvažoval pilot zväčšovaním ťahu vyrovnávacieho rotora  $T_{VR}$  zväčšovaním uhla nastavenia jeho listov vychyľovaním pravého pedálu smerového riadenia a spolu s pravou výchyľkou cyklického riadenia vyvažoval vrtuľník v priebehu pristávacieho manévru.

Blízko pred zavisením vrtuľníka veľkosť potrebného výkonu motorov, krútiaci moment na hriadeľ NR a zodpovedajúci reakčný moment  $M_{r_{NR}}$  dosiahli hodnotu, ktorú už fragmenty

listov poškodeného vyrovnávacieho rotora svojim nedostatočným ťahom nedokázali vyvážiť ani pri plnej pravej výchyľke pedálov smerového riadenia.

**Už nízko nad zemou sa narušená rovnováha momentov, daná prevahou reakčného momentu  $M_{NR}$  prejavila ráznym, samovoľným roztočením vrtuľníka vľavo.**

Na túto samovoľnú pilotom nekontrolovateľnú rotáciu vrtuľníka okolo zvislej osi vľavo sa načítala v danom okamihu už nevyvážená bočná sila  $T_Z$ , (ktorou pilot vylučoval nežiaduci bočný posun vrtuľníka vľavo od osamelej sily ťahu  $T_{VR}$  vyrovnávacieho rotora) a ešte neúplne zbrzdený dopredný pohyb vrtuľníka.

Výsledkom tejto komplikovanej nerovnováhy síl a momentov pôsobiacich na vrtuľník v malej výške a v krátkom časovom rozpätí (radové sekundy), bol výsledný pohyb vrtuľníka v ľavej klesavej špirále s pravým náklonom od bočnej sily  $T_Z$  na NR. Progresívne rastúca uhlová rýchlosť rotácie vrtuľníka v ľavej špirále skončila (odhadom po 2 – 3 otáčke za cca 15 s) nárazom pravého podvozkového kolesa o zem a prevrátením vrtuľníka na pravý bok.

Dotykom otáčajúcich sa listov NR so zemou došlo k jeho totálnemu zničeniu. Dotykom už poškodených listov vyrovnávajúceho rotora so zemou sa okrem jeho úplného zničenia odtrhla koncová časť chvostového nosníka aj s vyrovnávacím rotorom od trupu.

### 3. Z Á V E R Y / Príčina vzniku leteckej nehody

#### 3.1 Zistenia

- členovia posádky mali platné kvalifikácie na vykonanie predmetného letu,
- vrtuľník mal platnú dokumentáciu a nevykazoval žiadne poruchy pred leteckou nehodou,
- vrtuľník pred kritickým letom spĺňal podmienky letovej spôsobilosti,
- vrtuľník bol pri leteckej nehode zničený.

#### 3.2 Príčiny vzniku leteckej nehody:

- vlietnutie do konvektívnou aktivitou vytvoreného masívneho víru v jeho zostupnej časti. Kumuláciou presadnutia vrtuľníka a asymetriou prúdenia vzduchu vzhľadom na NR vyvolaným stranovým pohybom bol aktivovaný impulz, ktorý pri rýchlosti  $180 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  vymrštil voľne vlajúce transportné lano do pracovného priestoru vyrovnávacieho rotora;
- rozhodnutie pilota pristáť s poškodeným vyrovnávacím rotorom z visu. Pri tomto druhu pristávacieho manévru bol potrebný väčší výkon motora, tým aj zvýšený reakčný moment, ktorý nedokázal poškodený vyrovnávací rotor vyvážiť ani pri plnej výchyľke smerového riadenia.

#### 3.3 Spolupôsobiaci príčina:

- vykonávanie leteckých prác v náročnom horskom teréne a v špecifických poveternostných podmienkach.

## 4. ODPORÚČANIA NA ZAISTENIE BEZPEČNOSTI

Na základe odborného vyšetovania príčin vzniku leteckej nehody

vrtníka typu **Mi-8T**

poznávacej značky **OM-TMT**

ku ktorej došlo dňa **03.08.2012**

**odporúčame Leteckému úradu SR prijať opatrenia :**

vyzvať leteckých prevádzkovateľov vykonávajúcich predmetný druh leteckých prác s podobným druhom leteckej techniky:

1. na vykonanie rozboru výsledkov vyšetovania z predmetnej leteckej nehody s leteckým a technickým personálom, so zameraním na zvláštnosti, obmedzenia a riziká vykonávania činnosti v horskom teréne v danej lokalite a v aktuálnom ročnom období,
2. pre bezpečnosť letu s nezaťaženým dlhým transportným lanom v horách:
  - preletovú rýchlosť nezvyšovať nad  $150 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,
  - trvalo zaťažiť koncovú časť podvesu oceľovým závažím valcového tvaru o hmotnosti cca 10 kg, čo zabezpečí nižšiu polohu lana a pokojnejší koniec podvesu za letu bez nákladu,
  - posúdiť nahradenie veľmi poddajnej nylonovej 4 m dlhej koncovej časti podvesu,
3. doplnenie prevádzkovej príručky o odporúčania uvedené v bode 2. na vykonávanie leteckých prác pre konkrétne typy leteckej techniky,
4. prijatie vlastných opatrení prevádzkovateľmi na základe výsledkov z odborného vyšetovania.

V Bratislave, 11.03.2013