



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav letadlové techniky

Výskyt flutteru na letecké konstrukci

Flutter occurrence on the airplane structure

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Matěj VOLDÁN

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Aleš Kratochvíl, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Voldán** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **483945**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Výskyt flutteru na letecké konstrukci

Název bakalářské práce anglicky:

Flutter occurrence on an airplane structure

Pokyny pro vypracování:

Proveďte přehled a rozbor leteckých nehod způsobených flutterem. Statistiku zpracujte v celosvětovém měřítku přes všechny kategorie letadel. Zpracujte statistický vzorek a proveďte rozbor minimálně dle následujících kritérií:

- Kategorie letadel
- Typ flutteru
- Výskyt flutteru z hlediska konstrukčního uspořádání
- Výskyt flutteru z hlediska použitých materiálů
- Důsledky

Seznam doporučené literatury:

Daněk, Aeroelasticita, Nakladatelství VUT Brno, 1986
Wright, Copper, Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads, John Wiley & Sons Ltd, ISBN 978-0470-85840-0
Stender, Kiesling, Aeroelastic Flutter Prevention on Gliders and Small Aircraft, DLR Gottingen, DLR-Mitt. 91-03, 1990.
Ramesy, NASA Aeroelasticity Handbook, NASA/TO-2006-212490/VOL2/PART2, 2006

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Aleš Kratochvíl, Ph.D., ústav letadlové techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Aleš Kratochvíl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Robert Theiner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Matěj Voldán

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Aleši Kratochvílovi, Ph.D., za rady a připomínky, jež mi v průběhu psaní bakalářské práce byly poskytnuty. Poděkování patří také rodině za podporu a trpělivost během mého studia.

Anotační list

Jméno autora / Author: Matěj Voldán

Název práce / Thesis name: Výskyt flutteru na letecké konstrukci /
Flutter occurrence on the airplane structure

Rok / Year: 2021

Obor studia / Field of study: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav / Department: Ústav letadlové techniky /
Department of Aerospace Engineering

Vedoucí práce / Thesis head: Ing. Aleš Kratochvíl, Ph.D.

Bibliografické údaje / počet stran / no. of pages: 128

Bibliographic data: počet obrázků / no. of pictures: 83
počet grafů / no. of graphs: 14
počet tabulek / no. of tables: 28
počet příloh / no. of attachments: 1

Klíčová slova: flutter, aeroelasticita, rychlost flutteru, statistický vzorek,
kategorie letounu

Keywords: flutter, aeroelasticity, flutter velocity, statical sample, airplane
category

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá výskytem flutteru na leteckých konstrukcích. Cílem je provést přehled a rozbor leteckých nehod v celosvětovém měřítku, u kterých byl příčinou flutter. Všechna nasbíraná data zpracovat do statistiky a uskutečnit analýzu v několika kritériích. Poslední částí bakalářské práce je porovnat výsledky.

Abstract

This bachelor thesis deals with the flutter occurrence on the airplane structure. The purpose is to provide an overview and analysis of airplane accidents caused by flutter. All collected data are processed into statistics and analysis is performed in several specific cases. The last part of the bachelor thesis is to compare the results.

Obsah

Seznam obrázků.....	1
Seznam tabulek	4
Seznam grafů	5
Seznam použitých programů	6
Seznam použitých zkratk	6
Seznam použitého značení	7
1 Úvod.....	8
2 Širší kontext k problematice	9
2.1 Aeroelasticita	9
2.2 Rozdělení aeroelasticity.....	10
2.3 Statické aeroelastické jevy	11
2.3.1 Torzní divergence	12
2.3.2 Reverze řízení	12
2.4 Dynamické aeroelastické jevy	13
2.4.1 Buffeting	14
2.4.2 Flutter	14
3 Statistický vzorek	18
4 Vyhodnocení.....	28
4.1 Kategorie letounu	28
4.2 Typ flutteru	30
4.3 Četnost výskytu na typu letounu.....	31
4.3.1 Beech 35	31
4.3.2 Junkers EF 61	32
4.3.3 Lockheed L-188A Electra	32
4.3.4 Parnall Pipit.....	33
4.3.5 UFM 13 Lambáda.....	33
4.4 Rychlost flutteru	33
4.5 Výskyt flutteru z hlediska konstrukce.....	35
4.6 Použité materiály	37
4.7 Smrtnost	38

4.8 Účel letu.....	39
4.9 Důsledky nehod	40
5 Závěr	42
Použitá literatura a zdroje obrázků	43
Příloha.....	54
1 – Handley Page O/400	54
2 – Loening PW-2A	55
3 – Parnall Pipit N232	56
4 – Parnall Pipit N233	57
5 – RWD-6.....	58
6 – Martin B-12A.....	59
7 – Junkers Ju 87 V1.....	60
8 – Junkers EF 61 V1	61
9 – Junkers EF 61 V2	62
10 – Lockheed 14-H Super Electra.....	63
11 – Junkers Ju 90 V1.....	64
12 – Boeing S. 307 Stratoliner	65
13 – A6M1 12-Shi	66
14 – Blackburn B-20.....	67
15 – Heinkel He 177 V2	68
16 – Sukhoi Su-15	69
17 – Northrop XF-89 Scorpion.....	70
18 – Mikoyan-Gurevich I-330 SI	71
19 – Hadley Page HP.88.....	72
20 – Convair YB-60.....	73
21 – Boulton Paul P.120	74
22 – YF-100A.....	75
23 – F-107	76
24 – Folland Gnat.....	77
25 – Lockheed XF-104A Starfighter	78
26 – UTX, potom T-39.....	79

27 – Lockheed L-188A Electra.....	80
28 – Lockheed L-188A Electra.....	81
29 – XLF-114	82
30 – Dassault Balzac V	83
31 – OV-10	84
32 – de Havilland Canada DHC-3 Otter	85
33 – Lockheed AH-56 Cheyenne.....	86
34 – Boeing 747-131F.....	87
35 – Dauntless D52	88
36 – American Aerolights Eagle 2	89
37 – Ritz model A.....	90
38 – Mike Stone Moni	91
39 – Griffin Star-Lite	92
40 – Beech A35	93
41 – Chappel Ratsrepus 300	94
42 – Convair CV-580	95
43 – Beech A35	96
44 – Beech 35	97
45 – Cessna 182A.....	98
46 – Beechcraft 1900C.....	99
47 – Beech 35	100
48 – Cessna 195	101
49 – Focke-Wulf Fw 190	102
50 – Glen A. Senecal 5151	103
51 – Beech 35	104
52 – Beech B35	105
53 – Glass Goose.....	106
54 – Grob G-115D.....	107
55 – Beech B35	108
56 – Mooney M20K	109
57 – Beech F35.....	110

58 – Velocity XL-FG	111
59 – Rutan VariEze	112
60 – Beech F35.....	113
61 – Beech G35.....	114
62 – de Havilland Canada DHC-2 Beaver.....	115
63 – Beech G35.....	116
64 – M-7 “Ornis”	117
65 – L-164	118
66 – Windward OWL.....	119
67 Grob G. 180A SPn	120
68 – UFM 13 Lambáda.....	121
69 – UFM 13 Lambáda.....	122
70 – VL-3 Flamingo	123
71 – BAe 125-800.....	124
72 – B737-800.....	125
73 – B767-300.....	126
74 – Cessna CitationJet.....	127
75 – Cirrus SR20.....	128

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Langleyho jednoplošník [3]	9
Obrázek 2 – Dvouplošník bratří Wrightů [3]	9
Obrázek 3 – Dvouplošný bombardér Handley Page O/400 [3].....	10
Obrázek 4 – Trojúhelníkové schéma sil [1].....	10
Obrázek 5 – Rozdělení aeroelastických jevů [1]	11
Obrázek 6 – Před torzní divergencí [1]	12
Obrázek 7 – Po torzní divergenci [1]	12
Obrázek 8 – Přerozdělené zatížení na křídle při výchylce kormidel při reverzním řízení [1] ...	13
Obrázek 9 – Časové průběhy deformace a zatížení [1]	13
Obrázek 10 – Buffeting ocasních ploch za křídlem [1]	14
Obrázek 11 – Symetrický a antisymetrický ohybově-křídélkový flutter [1]	15
Obrázek 12 – Energetické schéma zpětné vazby [1]	16
Obrázek 13 – Harmonický pohyb profilu v závislosti na stupních volnosti [1].....	17
Obrázek 14 – Handley Page O/400 [3]	54
Obrázek 15 – Loening PW-2A [5].....	55
Obrázek 16 – Parnall Pipit N232 [7].....	56
Obrázek 17 – Parnall Pipit N233 [9].....	57
Obrázek 18 - RWD-6 [10]	58
Obrázek 19 – Martin B-12A [12].....	59
Obrázek 20 – Junkers Ju 87 V1 [14]	60
Obrázek 21 – Junkers EF 61 V1 [16]	61
Obrázek 22 – Junkers EF 61 V2 [15]	62
Obrázek 23 – Lockheed 14-H Super Electra [19]	63
Obrázek 24 – Junkers Ju 90 V1 [20]	64
Obrázek 25 – Boeing S. 307 Stratoliner [22]	65
Obrázek 26 – A6M1 12-Shi [23].....	66
Obrázek 27 – Blackburn B-20 [25]	67
Obrázek 28 – Heinkel He 177 V5, podobný V2 [27]	68
Obrázek 29 – Sukhoi Su-15 [29].....	69
Obrázek 30 – druhý prototyp Northrop F-89A, podobný XF-89 [31]	70
Obrázek 31 – Druhý prototyp Mikoyan-Gurevich I-330 SI 02, podobný prvnímu prototypu [32].....	71
Obrázek 32 – Hadley Page HP.88 [33]	72
Obrázek 33 – Convair YB-60 [35].....	73
Obrázek 34 – Boulton Paul P.120 [37].....	74
Obrázek 35 – Jeden ze dvou prototypů YF-100A [39]	75
Obrázek 36 – F-107 [41]	76
Obrázek 37 – Folland Gnat prototyp G-39-2 [43].....	77

Obrázek 38 – první protyp Lockheed XF-104A [45].....	78
Obrázek 39 – T-39A [46]	79
Obrázek 40 – L-188A (PP-VJW) [48]	80
Obrázek 41 – L-188A (PP-VJW) [48]	81
Obrázek 42 – VT-16 Orlík [51]	82
Obrázek 43 – Dassault Balzac V [52]	83
Obrázek 44 – OV-10A na lodi USS Nassau [53]	84
Obrázek 45 – de Havilland Canada DHC-3 Otter [55].....	85
Obrázek 46 – Lockheed AH-56 Cheyenne [57]	86
Obrázek 47 – Boeing 747-131F [59]	87
Obrázek 48 – Ritz model A [63]	90
Obrázek 49 – Monnett Moni [65].....	91
Obrázek 50 – Beech A35 [68]	93
Obrázek 51 – Chappel Ratsrepus 300, N889HC [70]	94
Obrázek 52 – Convair CV-580 [72].....	95
Obrázek 53 – Beech A35 [68]	96
Obrázek 54 – Beech 35 [75].....	97
Obrázek 55 – Cessna 182A [77]	98
Obrázek 56 – Beechcraft 1900C [79]	99
Obrázek 57 – Beech 35 [75].....	100
Obrázek 58 – Cessna 195 [82]	101
Obrázek 59 – Focke-Wulf Fw 190 [84]	102
Obrázek 60 – Beech 35 [75].....	104
Obrázek 61 – Beech B35 [88]	105
Obrázek 62 – Glass Goose [90].....	106
Obrázek 63 – Grob G-115D [92]	107
Obrázek 64 – Beech B35 [88]	108
Obrázek 65 – Mooney M20K [95].....	109
Obrázek 66 – Beech F35 [97].....	110
Obrázek 67 – Velocity XL-FG [99]	111
Obrázek 68 – VariEze [101].....	112
Obrázek 69 – Beech F35 [97].....	113
Obrázek 70 – Beech G35 [104]	114
Obrázek 71 – de Havilland Canada DHC-2 Beaver [106]	115
Obrázek 72 – Beech G35 [104]	116
Obrázek 73 – M-7 "Ornis" [108]	117
Obrázek 74 – L-164 [110].....	118
Obrázek 75 – Grob G 180 SPn [113]	120
Obrázek 76 – UFM 13 Lambáda [115]	121

Obrázek 77 – UFM 13 Lambáda (jiný pohled) [117].....	122
Obrázek 78 – AVEKO VL-3 Flamingo [119]	123
Obrázek 79 – BAe 125-800B [121].....	124
Obrázek 80 – B737-800 [123]	125
Obrázek 81 – B767-300 [125].....	126
Obrázek 82 – Cessna CitationJet [127].....	127
Obrázek 83 – Cirrus SR20 [129]	128

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Část 1/9 z celkového přehledu.....	19
Tabulka 2 – Část 2/9 z celkového přehledu.....	20
Tabulka 3 – Část 3/9 z celkového přehledu.....	21
Tabulka 4 – Část 4/9 z celkového přehledu.....	22
Tabulka 5 – Část 5/9 z celkového přehledu.....	23
Tabulka 6 – Část 6/9 z celkového přehledu.....	24
Tabulka 7 – Část 7/9 z celkového přehledu.....	25
Tabulka 8 – Část 8/9 z celkového přehledu.....	26
Tabulka 9 – Část 9/9 z celkového přehledu.....	27
Tabulka 10 – Rozdělení podle certifikační specifikace letounu.....	28
Tabulka 11 – Rozdělení podle certifikační specifikace letounu (do roku 1990).....	29
Tabulka 12 – Rozdělení podle certifikační specifikace letounu (po roce 1990).....	29
Tabulka 13 – Rozdělení podle typu flutteru	30
Tabulka 14 – Zobrazení přehledu nehod letounu typu Beech 35	31
Tabulka 15 – Četnost typu flutteru pro letoun Beech 35.....	32
Tabulka 16 – Přehled nehod letounu typu Junkers EF 61	32
Tabulka 17 – Přehled nehod letounu typu Lockheed L-188A Electra	32
Tabulka 18 – Přehled nehod letounu typu Parnall Pipit.....	33
Tabulka 19 – Přehled nehod letounu typu UFM 13 Lambáda.....	33
Tabulka 20 – Rozdělení podle rychlosti flutteru.....	33
Tabulka 21 – Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska křídla	35
Tabulka 22 – Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska ocasních ploch	36
Tabulka 23 – Přehled použitých materiálů a jejich četnost	37
Tabulka 24 – Smrtnost z hlediska jednotlivých nehod	38
Tabulka 25 – Smrtnost v přepočtu na jednu a všechny nehody	38
Tabulka 26 – Rozdělení na základě četnosti účelů letu.....	39
Tabulka 27 – Rozdělení četnosti účelů letu na období do roku 1990 a po roce 1990	39
Tabulka 28 – Rozdělení četnosti na základě důsledků nehod	40

Seznam grafů

Graf 1 – Sloupcové rozdělení podle certifikační specifikace letounu	28
Graf 2 – Sloupcové rozdělení podle certifikační specifikace letounu (do roku 1990).....	29
Graf 3 – Sloupcové rozdělení podle certifikační specifikace letounu (po roce 1990).....	30
Graf 4 – Sloupcový graf znázorňující četnost podle typu flutteru.....	31
Graf 5 – Četnost podle typu flutteru pro letoun Beech 35	32
Graf 6 – Sloupcové porovnání četnosti podle rychlosti flutteru	34
Graf 7 – Histogram na základě rychlosti flutteru (EAS)	34
Graf 8 – Histogram podle výskytu flutteru z konstrukčního hlediska křídla	35
Graf 9 – Histogram podle výskytu flutteru z hlediska konstrukce ocasních ploch.....	36
Graf 10 – Zobrazení četnosti na základě použitých materiálů	37
Graf 11 – Smrtnost z hlediska jednotlivých nehod.....	38
Graf 12 – Zobrazení četnosti na základě účelu letu	39
Graf 13 – Zobrazení četnosti účelu letu před a po roce 1990.....	40
Graf 14 – Zobrazení četnosti důsledků nehod	41

Seznam použitých programů

Excel	společnosti Microsoft
Word	společnosti Microsoft

Seznam použitých zkratk

AEJ	aeroelastické jevy
ASRS	Aviation Safety Reporting System
CP	centre of pressure
CS	Certifikační specifikace
EA	elastic axis
EAS	Equivalent Airspeed
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EMACC	European Military Airworthiness Certification Criteria
E.O.	elastická osa
FAA	Federal Aviation Administration
kř	křídlo
kor	kormidlo
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NTSB	National Transportation Safety Board
OP	ocasní plocha
SK	směrové kormidlo
SOP	svislá ocasní plocha
VK	výškové kormidlo
VOP	vodorovná ocasní plocha
c/n	construction number
MSN	manufacturer serial number

Seznam použitého značení

α	[rad]	úhel náběhu
e	[1]	Eulerovo číslo
E	[J]	energie
ΔE	[J]	změna energie systému
φ	[rad]	úhel natočení profilu (torzní deformace)
φ_0	[rad]	amplituda natočení profilu (torzní deformace)
g	[1]	celkové tlumení dostupné v soustavě
g_A	[1]	aerodynamické tlumení
g_K	[1]	konstrukční tlumení
M_A	[N · m]	krouticí moment
t	[s]	čas
Y	[N]	vztlaková síla
Y	[–]	vychýlená osa y
v	[m · s ⁻¹]	rychlost vzduchu
v_F	[m · s ⁻¹]	kritická rychlost flutteru
v_d	[m · s ⁻¹]	návrhová rychlost
ω	[rad · s ⁻¹]	úhlová frekvence

1 Úvod

Flutter, neboli v českém překladu třepetání, je nejčastěji se vyskytující děj ze skupiny dynamických aeroelastických jevů, který se velice těžko předpovídá a je kategoricky nežádoucí. Jedná se o samobuzené kmitání, ke kterému dochází během letu za určité kritické rychlosti flutteru. Nejčastěji tento jev postihuje vysokorychlostní letadla, avšak je známo, že k flutteru dochází i při rychlostech 90 km/h. Za jeho vznikem stojí interakce aerodynamických, elastických a setrvačných sil, jež dohromady vytváří nestabilní kmitání, které může mít za následek poškození, úplné selhání konstrukce nebo ztrátu kontroly.

Cílem této práce bylo zabývat se případy, kde byl příčinou flutter. Za tímto účelem bylo nutné nashromáždit data k nehodám a uspořádat je v širším měřítku. Největším problémem této části bylo nedostatek informací k historicky starším nehodám, a tedy menší vzorek v některých ohledech.

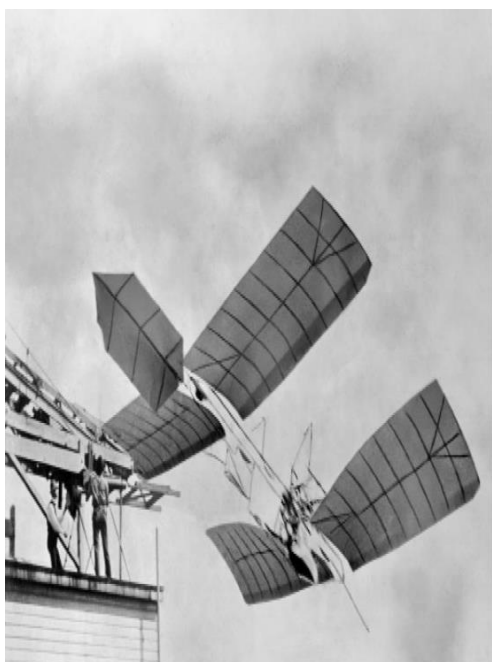
Výsledkem práce bylo vyhodnocení statistického vzorku v několika kritériích. Například podle kategorie letounu, typu flutteru, výskytu flutteru z pohledu konstrukčního uspořádání nebo podle použitých materiálů.

2 Širší kontext k problematice

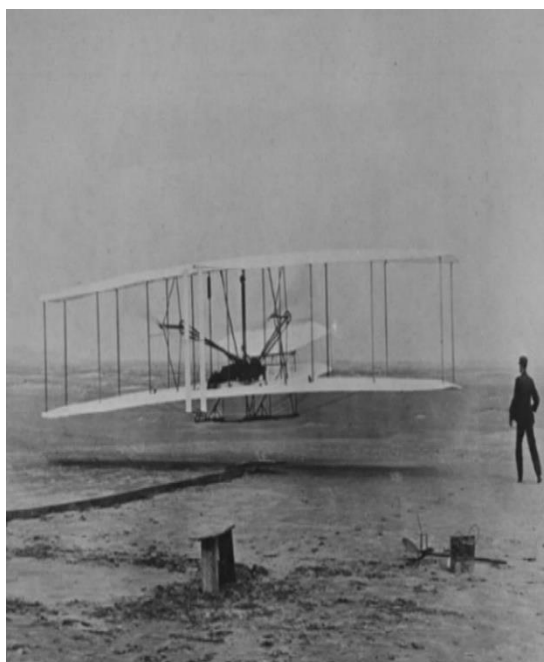
2.1 Aeroelasticita

Aeroelasticita je řazena mezi novější obory aplikované mechaniky zabývající se interakcí mezi tekutými látkami a tuhými tělesy. Jedná se již o samostatný vědní obor, který se vyskytuje v mnoha odvětvích, jako je stavebnictví nebo energetika, avšak zdaleka nejdéle a nejvíce rozšířený je právě v oblasti letectví. Zprvu se vše řešilo pouze experimentálně, až o dost později se přešlo i na teoretické řešení. To mělo za následek hlavně neustále rostoucí nárok na lepší výkony letadel a jejich letové vlastnosti. Konstruktéři začali řešit problémy v oblasti ztenčení profilu křídel, aby dosáhli vyšší letové rychlosti nebo snížení hmotnosti nosné konstrukce. Toto všechno mělo za efekt snížení tuhosti konstrukce, která tak má větší sklon ke vzniku aeroelastických jevů. [2]

Nauka o aeroelasticitě se začala formovat již od počátku letectví. I když ne vědomě, konstruktéři se museli potýkat s aeroelastickými problémy. Mezi takové průkopníky se v oblasti letectví řadil prof. Samuel Pierpont Langley, který se asi jako jeden z prvních potýkal se statickým aeroelastickým jevem, konkrétně se jednalo o torzní divergenci křídla, kdy se jeho jednoplošník ukroutila křídla a tím jeho první pokus zašel. Ve stejné době, jen o pár dní později, dne 17. prosince 1903 se o svůj pokus pokusili bratři Wrightové se svým dvouplošníkem a byli úspěšní. To částečně mělo za následek, že následující roky se konstruktéři věnovali více dvouplošníkům. [1, 2]



Obrázek 1 – Langleyho jednoplošník [3]



Obrázek 2 – Dvouplošník bratří Wrightů [3]

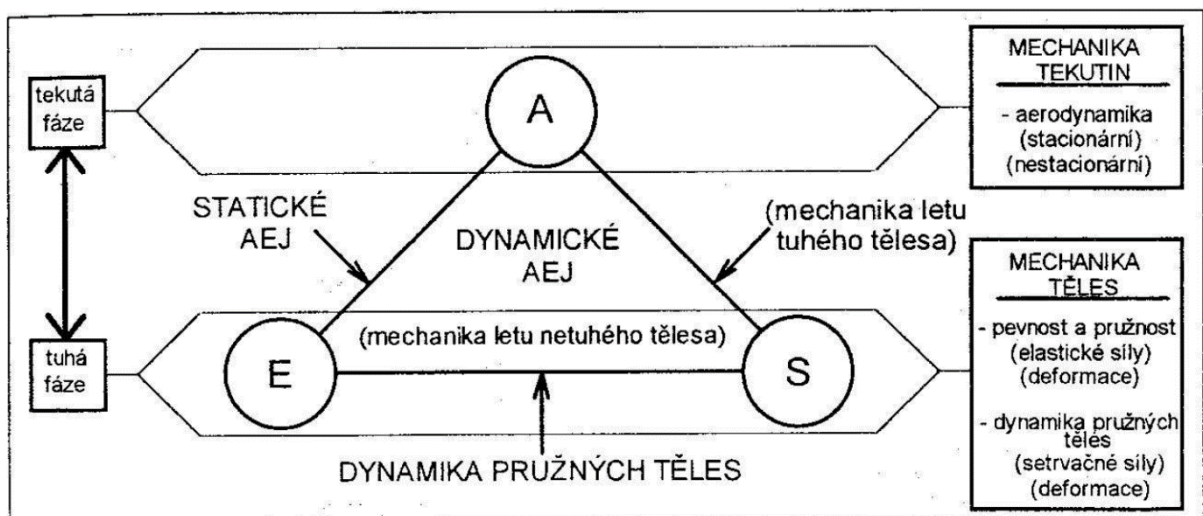
Ani dvouplošníky se však nevyhnuly potížím s aeroelastickými jevy. Historicky první výskyt flutteru se datuje do roku 1915, kdy se dvouplošný bombardér Handley Page O/400 potýkal s kmitáním ocasu. Tento problém byl nakonec vyřešen pevným napojením výškových kormidel namísto původního lanového systému a pomocí dalšího vyztužení. [2, 3]



Obrázek 3 – Dvouplošný bombardér Handley Page O/400 [3]

2.2 Rozdělení aeroelasticity

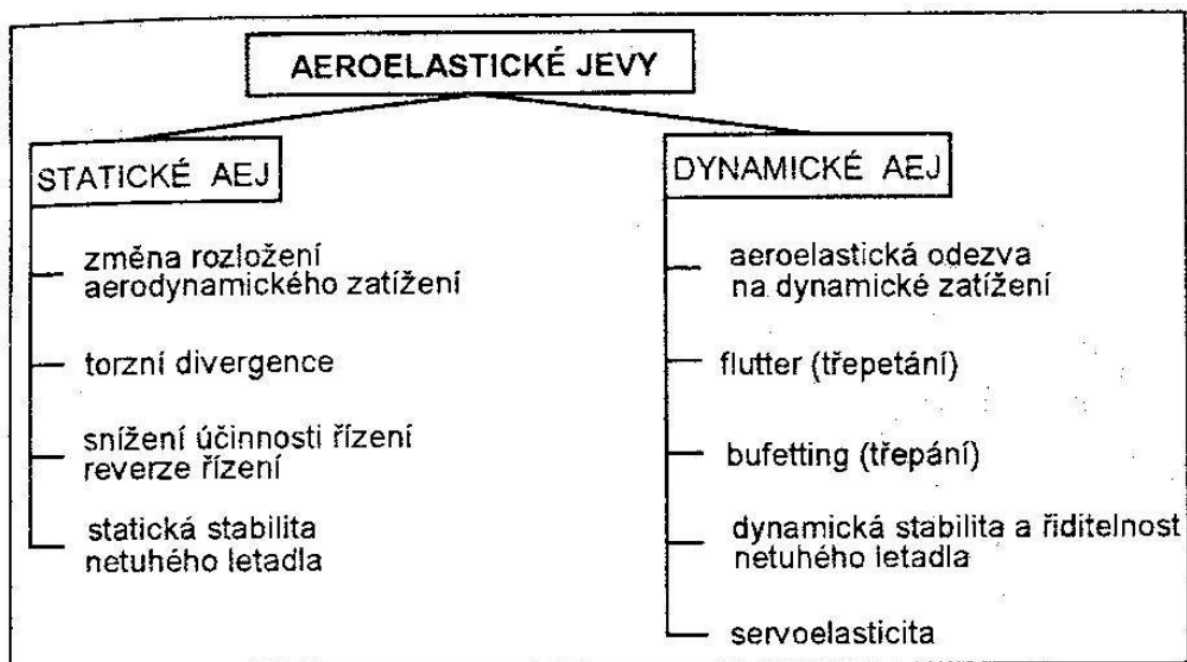
Aeroelastické jevy v sobě zahrnují vzájemné působení tří sil (aerodynamické, elastické a setrvačné), které dohromady vytváří tzv. trojúhelníkové schéma sil, jež zavedl Angličan A. R. Collar již v roce 1946 viz (obr. 4). V případě, že probíhá interakce pouze aerodynamických a elastických sil, se jedná o statické aeroelastické jevy. Jak z této části vyplývá, není pravidlem, že se musí podílet na vzniku aeroelastického jevu všechny tři síly. Nicméně neplatí ani to, že pokaždé budou vznikat stejné aeroelastické jevy, protože jich existuje několik. [1, 2]



Obrázek 4 – Trojúhelníkové schéma sil [1]

Trojúhelníkové schéma je vhodné pro představu problematiky, která se v tomto ohledu vyskytuje. Ve vrcholech trojúhelníku se vyskytují tři již zmíněné síly, jež mohou mít za vznik aeroelastický jev. Na spojnicích sil jsou vyobrazeny jejich vzájemné závislosti, které vyjadřují konkrétní odvětví z mechaniky. Střed trojúhelníku symbolizuje kombinaci všech zmíněných sil, které tvoří mnohem komplikovanější fyzikálně-mechanické vazby, což je charakteristické právě pro dynamické aeroelastické jevy. [1, 2]

Základní dělení aeroelastických jevů se rozlišuje na statické aeroelastické jevy a dynamické aeroelastické jevy, kde jediným rozdílem mezi nimi je, že u statických aeroelastických jevů se neúčastní vazby setrvačné síly, pro které platí, že výsledný směr deformace je jednosměrný. Kdežto u druhého případu se setrvačné síly účastní, tím zde hraje roli i čas, a je pro ně charakteristický kmitavý pohyb. Základní rozdělení je vyobrazeno na (obr. 5). [1]



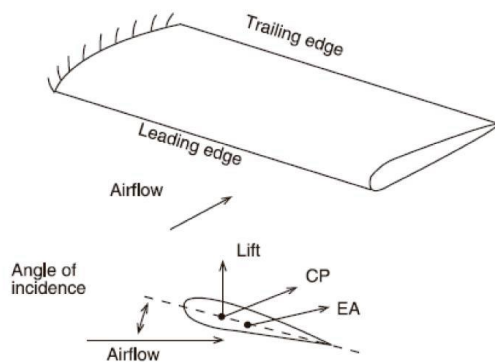
Obrázek 5 – Rozdělení aeroelastických jevů [1]

2.3 Statické aeroelastické jevy

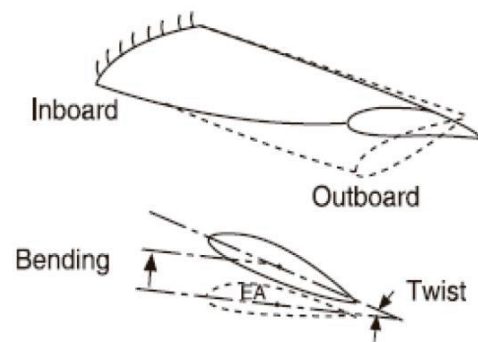
Na vzniku statických aeroelastických jevů se podílí jen aerodynamické a vnitřní elastické síly. Z toho vyplývá, že vznik statických aeroelastických jevů není v žádném případě závislý na časovém průběhu. Konstrukce je v takovém případě zatížena od statických aerodynamických sil a vlivem nich se deformuje, výsledná deformace následně znovu ovlivňuje aerodynamické zatížení. Hlavními zástupci z této kategorie je torzní divergence a reverze řízení. [1,2]

2.3.1 Torzní divergence

Jedná se o první výskyt aeroelastického jevu v historii. Princip spočívá v působení proudu vzduchu na nosnou plochu. Vztlaková síla, která je normálou k směru proudu vzduchu, se zvyšuje s druhou mocninou rychlosti a úhlem náběhu (úhel mezi čarou nulového vztlaku a směrem proudu vzduchu), jak je znázorněno na (obr. 6). V případě, že uvažujeme nosnou plochu za absolutně tuhou, by se s rostoucí rychlostí vzduchu zvětšovala jen aerodynamická síla. Při uvažování elastické plochy s konečnou torzní tuhostí dochází ke zkroucení profilu s náběžnou hranou ve směru vzhůru (obr. 7). Tím se zvyšuje výsledný úhel náběhu, který se promítá v růstu aerodynamických sil, což má za následek opětovný nárůst deformace. Tento proces trvá až do chvíle, kdy dojde k rovnováze mezi vnitřním elastickým a vnějším aerodynamickým momentem. Tato rovnováha nastává za charakteristické rychlosti v_{DIV} , které se jinak říká kritická rychlost torzní divergence. Při překročení této rychlosti započne ztráta stability a nekontrolovatelné zvyšování deformace, které má za následek porušení konstrukce. [1, 2]



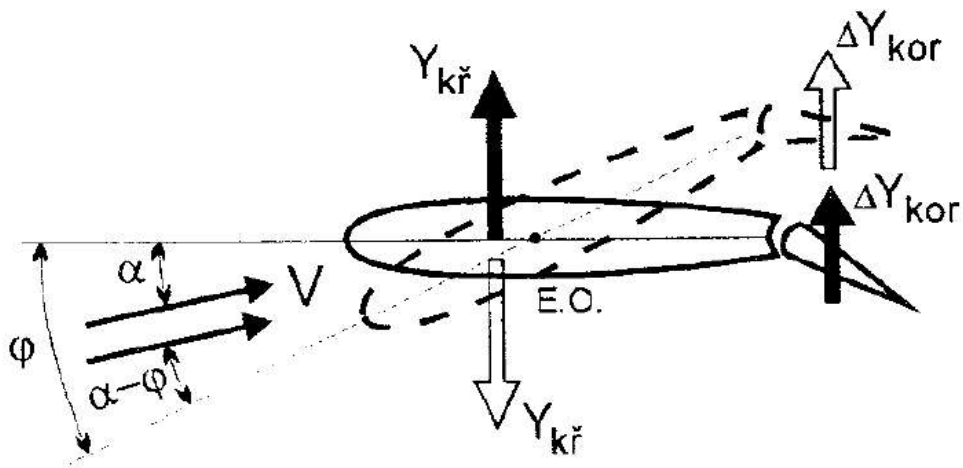
Obrázek 6 – Před torzní divergencí [1]



Obrázek 7 – Po torzní divergenci [1]

2.3.2 Reverze řízení

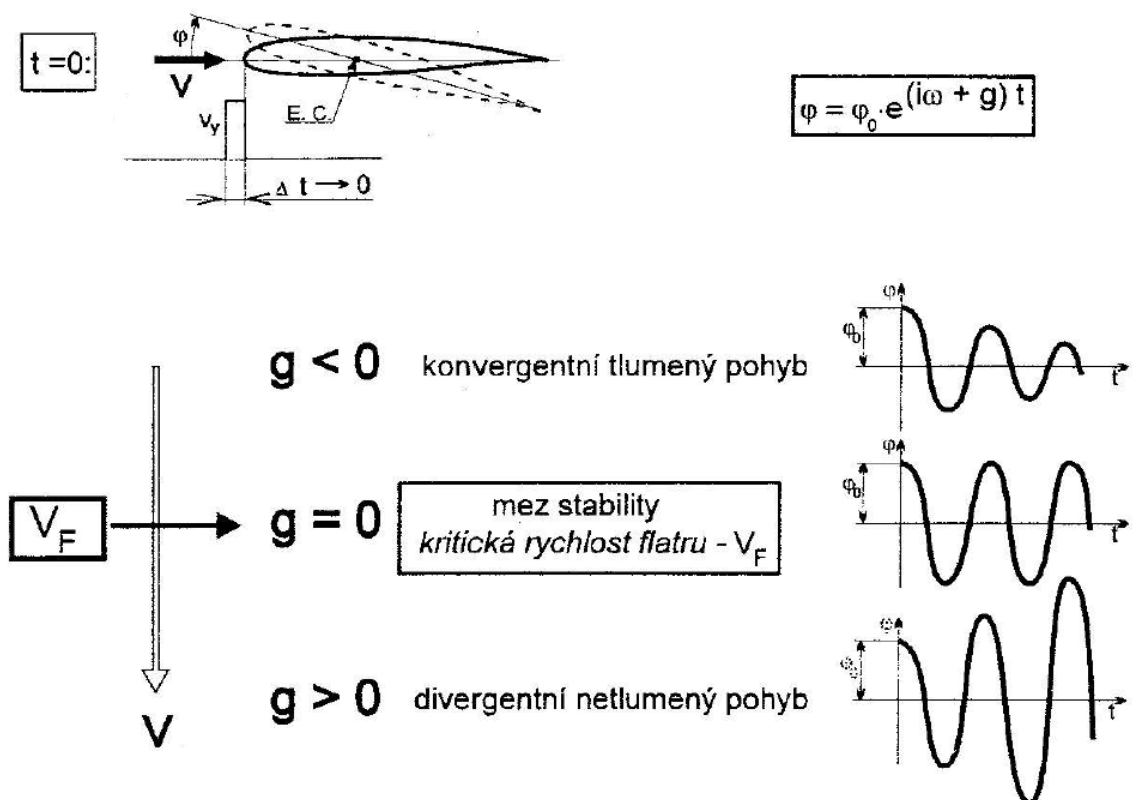
V případě reverzního řízení není důsledkem destrukce konstrukce, jako tomu bylo u torzní divergence, ale vede ke ztrátě schopnosti řídit letoun. Tento jev je typický především pro křídélka, která se vyskytují na poddajných koncových částech křídel. Nicméně může postihnout kteroukoli část, na které se řídicí prvky vyskytují. Podstata tohoto jevu spočívá v působení řídicí síly na řídicí plochu, kdy dochází k deformaci a dovede nosnou a řídicí plochu do takové polohy, kde se změní úhel náběhu a dochází na nich ke vzniku opačných aerodynamických sil (obr. 8). Tento proces může naprosto eliminovat primární účinek, případně způsobí naprosto obrácený pohyb letounu. Situace nastane, jestliže bude překročena tzv. rychlost reverze kormidel. [1, 2]



Obrázek 8 – Přerozdělené zatížení na křídle při výchylce kormidel při reverzním řízení [1]

2.4 Dynamické aeroelastické jevy

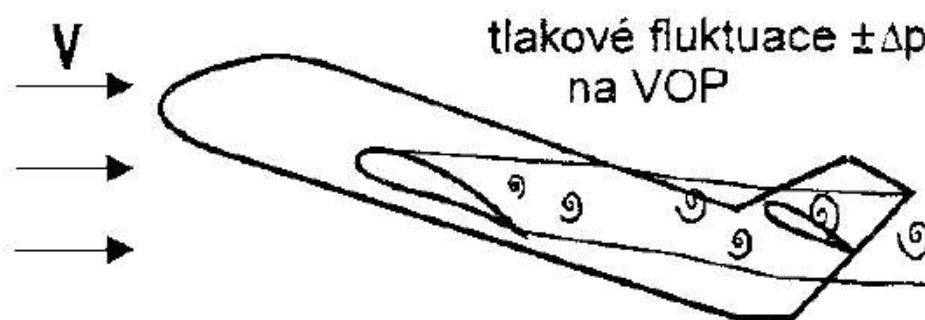
Dynamické aeroelastické jevy vznikají za působení tří sil, jedná se o aerodynamické, elastické a setrvačné síly. Jejich vzájemným působením vznikají různé aerodynamické jevy, jako je flutter, kdy se jedná o samobuzené kmitání nebo třepání, což má pro změnu formu buzení kmitání. Na rozdíl od statických aeroelastických jevů je deformace proměnná v čase s charakteristickým kmitavým průběhem. Vlivem působení zpětné vazby můžeme dělit časový průběh deformace a zatížení na tlumená (stabilní) nebo netlumená (nestabilní), které mohou vést ke zničení postižené části letounu viz (obr. 9). [1, 2]



Obrázek 9 – Časové průběhy deformace a zatížení [1]

2.4.1 Buffeting

V českém znění se tomuto jevu říká třepání. Jak už bylo zmíněno, jedná se o buzený typ dynamických aeroelastických jevů „vyvolaných účinky periodicky se odtrhávajících vírů v místech náhlých změn vnějšího tvaru“ [2]. Ty následně rozkmitávají další části letounu, které se jim vyskytují v cestě. Nejčastěji se jedná o buffeting ocasní plochy v úplavu způsobeného od křídla, jak je vyobrazeno na (obr. 10). Buffeting se obvykle vyskytuje při větších úhlech náběhu, v takovém případě vzniká za křídlem širší stopa úplavu a větší pravděpodobnost zasažení ocasní plochy. [1, 2]



Obrázek 10 – Buffeting ocasních ploch za křídlem [1]

Na rozdíl od flutteru nevede buffeting k neočekávanému zničení části letounu, ale způsobuje nechtěné chvění. Jež je nežádoucí v případě únavy konstrukce i pohodlí pasažérů v letounu. V praxi se tomuto aeroelastickému jevu předchází vhodným uspořádáním částí letounu. V případě výskytu se může řešit dodatečným přemístěním ocasních ploch. [1]

2.4.2 Flutter

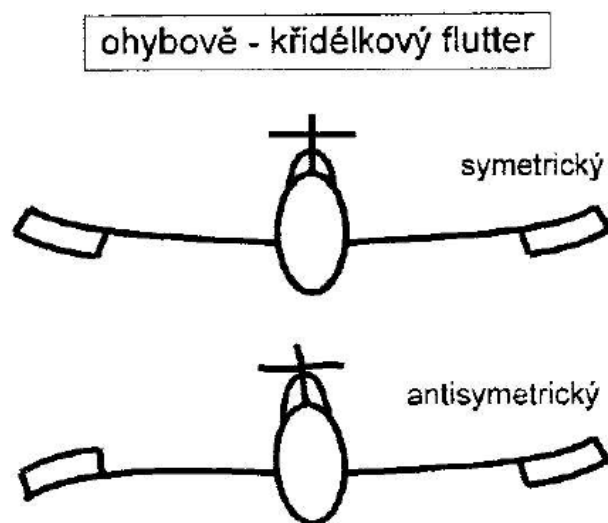
Flutter neboli třepetání se řadí do kategorie dynamických aeroelastických jevů a jedná se o případ samobuzeného kmitání pružné soustavy v ustáleném proudu vzduchu. Charakteristické je pro něj harmonické netlumené kmitání. Vznik tohoto samobuzeného kmitání je možný jen v případě přívodu energie do soustavy z proudu vzduchu, jelikož při uvažování konzervativní soustavy jsou setrvačné a elastické síly v rovnováze a suma kinematické a potenciální energie se za periodu nezmění. Z toho lze dojít k závěru, že k flutteru dojde v případě, pokud energie dodávaná z proudu vzduchu převyšuje ztráty energie, které jsou pokryty kvůli konstrukčnímu tlumení. Jelikož je velice obtížné celý tento stav sledovat, soustředíme se pouze na mezní stav, který leží mezi konvergentním tlumeným pohybem a divergentním netlumeným pohybem, a u něhož se koncentrujeme na nalezení rychlosti, při které tento stav nastane. Taková rychlost se nazývá kritická rychlost flutteru. V praxi pak tato rychlost musí převyšovat maximální rychlost letu o bezpečnost danou předpisy, aby se předešlo výskytu flutteru. [1, 2]

Daněk [2] ve svých skriptech rozděluje flutter na dva druhy podle charakteru obtékání:

- a) Flutter v potenciálním proudu bez odtržení, při kterém nejsou aerodynamické síly ovlivněny vlivem mezní vrstvy, tím pádem ani charakter flutteru. V takovém případě může flutter nastat až od dvou či více stupňů volnosti, jelikož při osamoceném kmitání, tzn. s jedním stupněm volnosti, jsou kmity aerodynamicky tlumeny. Pro větší počet stupňů volnosti dochází k fázovému posunu mezi jednotlivými prvky soustavy. Jedná se o nejnebezpečnější druh – vlivem prudkých nárůstů amplitud v krátkém časovém úseku.
- b) Flutter s odtržením proudu, v tomto případě má mezní vrstva vliv na průběh. Ztráta stability mezní vrstvy má za následek její odtržení a vznik vírů. Pro tento typ je charakteristické, že na rozdíl od flutteru v potenciálním proudu probíhá pouze v jednom stupni volnosti s omezenou amplitudou. Avšak teoretické řešení tohoto problému je velice složité vlivem vzniklých aerodynamických nelinearit, proto se řešení provádí převážně na základě experimentů.

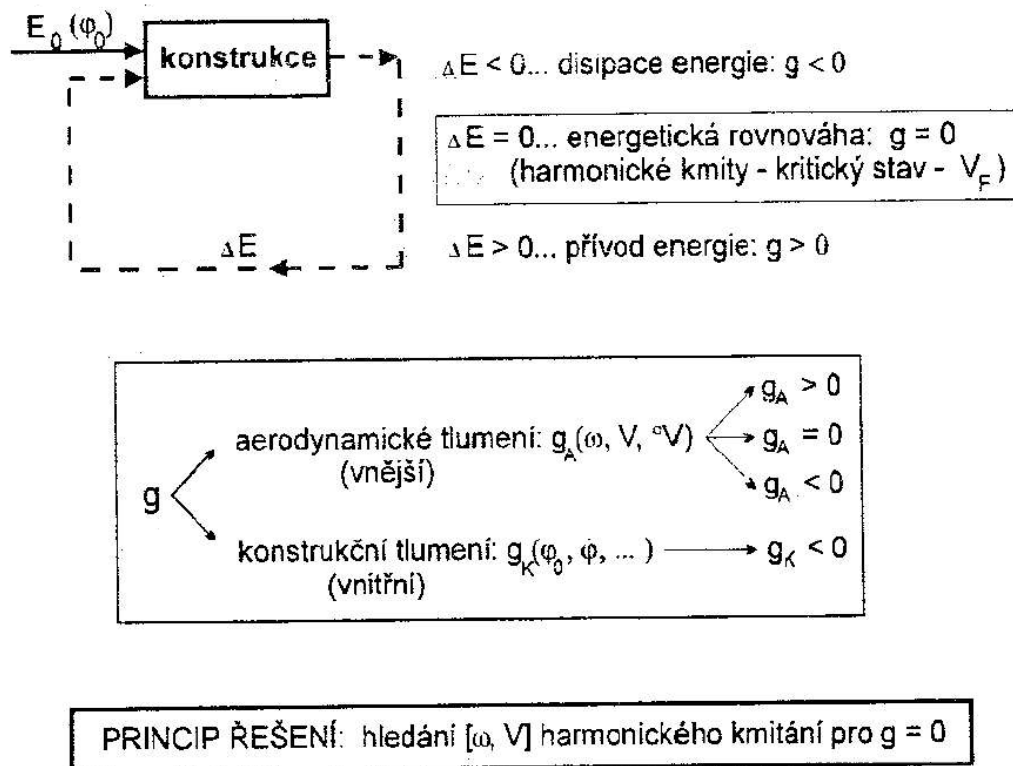
Pro složitost flutteru s odtržením proudu se zaměříme pouze na klasický flutter s více stupni volnosti. Mezi hlavní a nejčastější případy potenciálního flutteru Slavík [1] řadí:

- 1) Ohybově-kroutivý flutter – charakteristický kombinací ohybových a kroutivých deformací křídla nebo ocasních ploch. Jedná se o typ se dvěma stupni volnosti a bez projevení přítomnosti kormidel.
- 2) Ohybově-křídélkový flutter – jedná se opět o případ se dvěma stupni volnosti. Charakteristický je ohybem křídla v kombinaci s vychylováním nevyváženého křídélka (obr. 11).
- 3) Ohybově-kroutivý flutter za účasti kormidel či křídélek – má tři stupně volnosti a jedná se o kombinaci dvou předcházejících druhů.
- 4) Ohybově-kroutivý flutter s kormidlem a ploškou – nejsložitější případ flutteru, kdy se jedná o vícestupňovou dynamickou aeroelastickou nestabilitu.



Obrázek 11 – Symetrický a antisymetrický ohybově-křídélkový flutter [1]

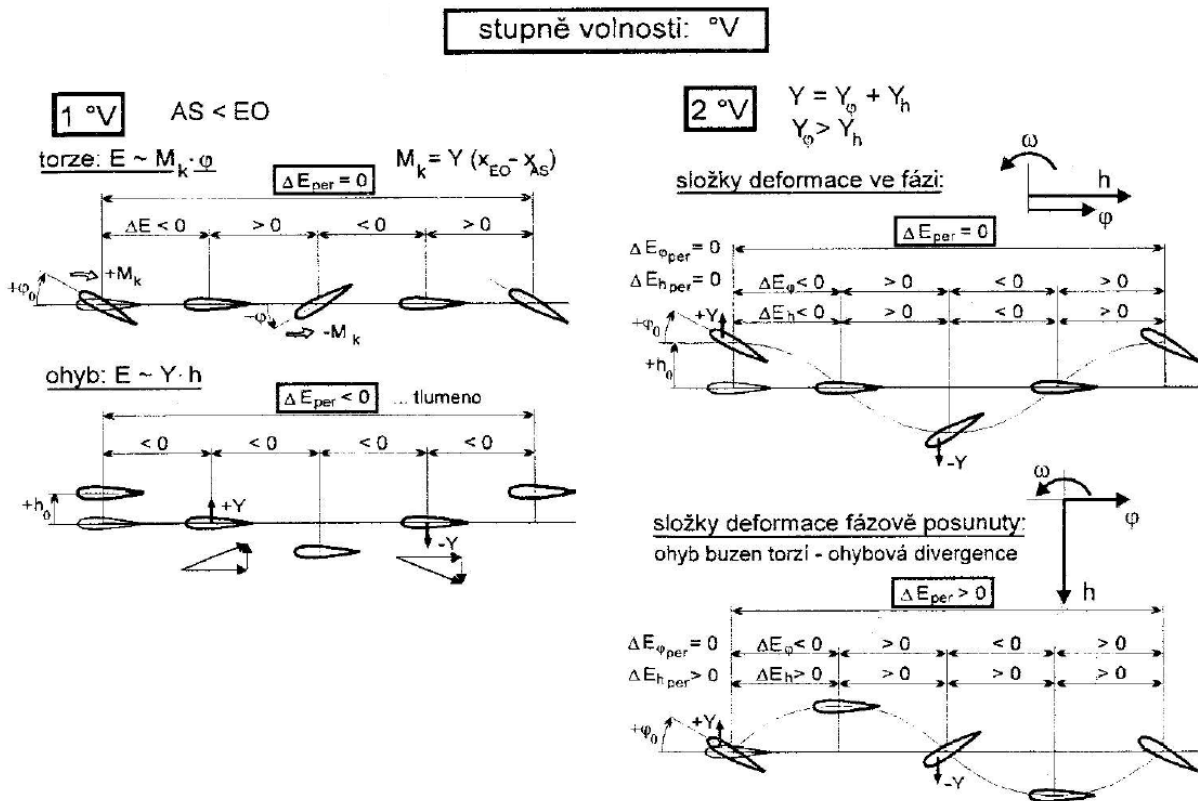
Jak už bylo řečeno na začátku tohoto oddílu, vznik flutteru záleží na přiváděné energii z proudu vzduchu. Tento problém uvádí Slavík [1] ve svém energetickém schématu viz (obr. 12). V tomto případě soustava dosahuje energetické rovnováhy při kritické rychlosti flutteru, kdy množství dodávané energie se rovná disipované energii vlivem tlumení. Jak je patrné z (obr. 9), při nižších rychlostech je dodávaná energie nižší, a proto dochází k tlumení kmitů. Naopak při překročení kritické rychlosti flutteru přiváděná energie neustále narůstá a soustava není schopna takové množství utlmit, proto dochází k nárůstu a kmity se stávají nestabilními. [1]



Obrázek 12 – Energetické schéma zpětné vazby [1]

Z (obr. 12) je zřejmý postup pro vyřešení otázky kolem flutteru. Cílem je nalézt podmínky, za kterých soustava dosáhne energetické rovnováhy. Řešení tedy hledáme pro případ, kdy celkové tlumení g dosahuje nuly. Celkové tlumení se skládá z konstrukčního a aerodynamického tlumení, kde konstrukční tlumení dosahuje vždy záporných hodnot, jež představuje disipovanou energii. U aerodynamického tlumení je to jinak a může dosahovat hodnot kladných, záporných i nulových. Jeho znaménko je ovlivněno počtem stupňů volnosti a především „frekvenční fázové a amplitudové charakteristiky periodických aerodynamických zátěží“ [1]. Pokud se nejprve zaměříme na vliv stupňů volnosti, zjistíme, že v případě jednoho stupně volnosti (čistě torze nebo ohyb) je výsledná energie neutrální, a tedy nedochází k netlumeným kmitům. Až při sdružení více počátečních impulzů může přiváděná energie dosahovat vyšších hodnot než energie disipovaná. Avšak ani to nemusí stačit, jak je patrné z (obr. 13), roli zde hraje i frekvence, která ovlivňuje aerodynamické síly, kdy může dojít

k fázovému posuvu vzhledem k vektoru deformace a změně velikosti amplitudy. Z toho by se zdálo, že v případě jednoho stupně volnosti nedochází k flutteru, avšak to platí pouze tehdy, pokud uvažujeme, že nedojde k odtržení a mezní vrstva kmitá společně se zbytkem tělesa. V opačném případě může dojít k divergentní deformaci i při pouhém jednom stupni volnosti. Stejně tak k tomu může dojít v oblasti transsonické rychlosti, kde se aerodynamické síly chovají jinak vlivem vlnové krize. [1]



Obrázek 13 – Harmonický pohyb profilu v závislosti na stupních volnosti [1]

Závěrem tohoto oddílu shrneme celkové řešení pro kritický stav. Jak už bylo uvedeno, pro kritický stav platí, že celkové tlumení je rovno nule a tím pádem je dosaženo energetické rovnováhy. Daněk [2] tento problém řeší sestavením pohybových rovnic pomocí Lagrangeových rovnic druhého druhu s počtem rovnic rovných počtu stupňů volnosti. Z nich vytvoří tzv. aerodynamickou matici, pro kterou určí determinant. Ten se v případě kritického stavu musí rovnat nule. Existuje více metod řešení, ale princip mají všechny společný, nalezení kritické rychlosti flutteru a jeho odpovídající frekvenci.

3 Statistický vzorek

Praktická část bakalářské práce je věnována sběru dat do statistického vzorku, které byly v další kapitole zpracovány na základě několika kategorií.

Podstatným úsekem bylo vyhledávání samotných nehod. Starší nehody nejsou zavedeny v databázích, proto je bylo potřeba vyhledávat z různých starších článků a webů. Nehody novějšího charakteru jsou čerpány převážně z databáze nehod NTSB, FAA, ASRS, Aviation Safety Network a NASA. V některých případech u nehod chyběly zprávy a musely se následně dohledávat v jiných databázích. Ve výsledku tato část zabrala největší podíl času z celé práce.

Pro přehlednost jsou jednotlivé statistické vzorky uvedeny v několika ohledech na následujících stránkách v tabulkách 1-9. Detailněji jsou nehody rozpracovány v příloze práce.

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1916	Handley Page O/400	EMACC	Flutter VOP – VK	115 km/h	Subsonická	Zdvojená ocasní plocha	Dřevo, dráty a látka	2	0	Letové zkoušky	Nový prototyp
1922	Loening PW-2A	EMACC	Flutter křídla			Hornoplošník	Dřevo	1	0	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1928	Parnall Pipit	EMACC	Flutter OP			Konvenční	Slitiny hliníku	1	0	Letové zkoušky	Nový prototyp
1929	Parnall Pipit	EMACC	Flutter VOP – VK			Konvenční	Slitiny hliníku	1	0	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1932	RDW-6	CS-23	Flutter křídla			Hornoplošník		2	2	Běžný provoz	Nové prototypy
1934	Martin B-12A	EMACC	Flutter křídlo – křídélko			Středoplošník	Celokovová	4	3	Běžný provoz	
1936	Junkers Ju 87 V1	EMACC	Flutter OP			H-OP	Slitiny hliníku	2	2	Letové zkoušky	Nový prototyp
1937	Junkers EF 61 V1	EMACC	Flutter křídlo – kormidlo			Hornoplošník		2	2	Letové zkoušky	Nový prototyp
1937	Junkers EF 61 V2	EMACC	Flutter kormidla			Hornoplošník		-	-	Letové zkoušky	Ukončení produkce

Tabulka 1 – Část 1/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1938	Lockheed 14-H Super Electra	CS-25	Flutter OP			H-OP	Slitiny hliníku	10	10	Běžný provoz	Úprava všech kormidel
1938	Junkers Ju 90 V1	EMACC	Flutter OP			H-OP	Slitiny hliníku	3	1	Letové zkoušky	Nové prototypy
1939	Boeing 307 Stratoliner	CS-25	Flutter VOP – VK	370 km/h	Subsonická	Konvenční		10	10	Běžný provoz	Další testování
1940	A6M1 12-Shi	EMACC	Flutter VOP – VK			Konvenční	Slitiny hliníku	1	1	Letové zkoušky	Nové prototypy
1940	Blackburn B-20	CS-23	Flutter křídélka			Středoplošník	Slitiny hliníku	5	3	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1940	Heinkel He 177 V2	EMACC	Flutter OP			Konvenční	Celokovová	4	4	Letové zkoušky	Nové prototypy
1949	Sukhoi Su-15	EMACC	Několik flutterů	817 km/h	Transsonická		Celokovová	1	0	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1950	Northrop XF-89 Scorpion	EMACC	Flutter OP			Křížové	Slitiny hliníku	2	1	Letové zkoušky	Úprava konstrukce
1950	Mikoyan-Gurevich I-330 SI	EMACC	Flutter VOP			Křížové		1	1	Letové zkoušky	Nové prototypy
1951	Handley Page HP88 prototype	EMACC	Flutter OP	860 km/h	Transsonická	T-OP	Slitiny hliníku	1	1	Letové zkoušky	Ukončení produkce

Tabulka 2 – Část 2/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1952	Convair YB-60-1-CF	EMACC	Flutter trimovací plošky	401 km/h	Subsonická			-	-	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1952	Boulton Paul P.120	EMACC	Flutter OP			Křížové	Celokovová	1	0	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1953	YF-100A	EMACC	Flutter VK	1150 km/h	Supersonická	Konvenční	Celokovová	-	-	Letové zkoušky	Nové prototypy
1956	F-107	EMACC	Flutter SOP	570 km/h	Transsonická	Konvenční	Celokovová	-	-	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1956	Folland Gnat G-39-2	EMACC	Flutter OP	1090 km/h	Transsonická	Konvenční	Celokovová	1	0	Letové zkoušky	Nové prototypy
1957	Lockheed XF-104A Starfighter	EMACC	Flutter OP		Transsonická	T-OP	Slitiny hliníku, nerezová ocel	1	0	Letové zkoušky	Nové prototypy
1958	UTX, T-39	CS-23	Flutter VK			Konvenční		-	-	Letové zkoušky	Úprava konstrukce
1959	Lockheed L-188A Electra	CS-25	Vrtulový flutter	501 km/h	Subsonická			34	34	Běžný provoz	Úprava konstrukce, snížení v_d

Tabulka 3 – Část 3/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1960	Lockheed L-188A Electra	CS-25	Vrtulový flutter	500 km/h	Subsonická			63	63	Běžný provoz	Úprava konstrukce, snížení v_d
1960	XLF-114	CS-22	Flutter SK			Konvenční		1	0	Letové zkoušky	Úprava konstrukce
1964	Dassault Balzac V	EMACC	Flutter křídla			Delta křídlo		1	1	Letové zkoušky	Ukončení produkce
1968	OV-10	EMACC	Flutter OP			Dvoutrupá koncepce	Celokovová	-	-	Běžný provoz	Úprava konstrukce
1968	de Havilland Canada DHC-3 Otter	CS-23	Flutter VK			Hornoplošník	Celokovová	2	2	Běžný provoz	
1969	Lockheed AH-56 Cheyenne	EMACC	Vrtulový flutter					2	1	Letové zkoušky	Úprava konstrukce
1976	Boeing 747-131F	CS-25	Flutter křídla			Dolnoplošník	Slitiny hliníku	17	17	Běžný provoz	
1982	Dauntless D52	CS-22	Flutter křídla	230 km/h	Subsonická	Středoplošník		2	2	Letové zkoušky	
1983	American Aerolights Eagle 2	UL-2	Flutter křídla			Hornoplošník		2	2	Letové zkoušky	

Tabulka 4 – Část 4/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1984	Ritz model A	UL-2	Flutter křídlo – křídélko			Hornoplošník	Dřevo, ocel a hliník	1	1	Letové zkoušky	
1985	Mike Stone Moni	CS-23	Panelový flutter					1	0	Letové zkoušky	
1986	Griffin Star-Lite	UL-2	Flutter VK			Konvenční		1	1	Letové zkoušky	
1987	Beech A35	CS-23	Flutter kormidla OP	300 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
1988	Chappel Ratsrepus 300	UL-2	Flutter křídlo – křídélko	240 km/h	Subsonická	Středoplošník		1	1	Letové zkoušky	Snížení v_d
1989	Convair CV-580	CS-25	Flutter VOP – VK	376 km/h	Subsonická	Konvenční		55	55	Běžný provoz	Úprava konstrukce
1990	Beech A35	CS-23	Flutter OP			V-OP	Slitiny hliníku	1	0	Běžný provoz	
1991	Beech 35	CS-23	Flutter kormidla OP	290 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
1991	Cessna 182A	CS-23	Flutter dveří				Slitiny hliníku	1	0	Běžný provoz	

Tabulka 5 – Část 5/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1991	Beechcraft 1900C	CS-25	Vrtulový flutter	336–354 km/h	Subsonická		Celokovová	3	3	Letové zkoušky	
1992	Beech 35	CS-23	Flutter OP			V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
1992	Cessna 195	CS-23	Flutter VK	461 km/h	Subsonická	Konvenční	Slitiny hliníku	1	1	Běžný provoz	
1994	Focke-Wulf Fw 190	EMACC	Flutter křídélka	240 km/h	Subsonická	Dolnoplošník	Celokovová	1	1	Letové zkoušky	
1994	Glen A. Senecal 5151	CS-23	Flutter křídélka			Dolnoplošník		1	0	Běžný provoz	
1996	Beech 35	CS-23	Flutter OP	210 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
1996	Beech B35	CS-23	Flutter kormidla OP	220 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
1996	Glass Goose	CS-23	Flutter křídélka			Dvouplošník	Kompozit	1	0	Letové zkoušky	
1996	Grob G-115D	CS-23	Flutter SK			Konvenční	Kompozit	2	2	Běžný provoz	
1998	Beech B35	CS-23	Flutter OP			V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	Snížení v_d

Tabulka 6 – Část 6/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
1998	Mooney M20K	CS-23	Flutter VK	390 km/h	Subsonická	Konvenční	Slitiny hliníku	1	1	Běžný provoz	
2000	Beech F35	CS-23	Flutter OP	305 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2001	Velocity XL-FG	CS-23	Flutter winglet – SK	252 km/h	Subsonická	Středoplošník	Kompozit	2	0	Letové zkoušky	Úprava konstrukce
2001	Rutan VariEze	UL-2	Flutter VK na křídle			Středoplošník	Kompozit	2	2	Běžný provoz	
2002	Beech F35	CS-23	Flutter kormidla OP	263 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2002	Beech G35	CS-23	Flutter OP	320 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2005	de Havilland Canada DHC-2 Beaver	CS-23	Flutter křídélka			Hornoplošník	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2005	Beech G35	CS-23	Flutter kormidla OP	360 km/h	Subsonická	V-OP	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2006	M-7 "Ornis"	UL-2	Flutter křídélka	165 km/h	Subsonická	Hornoplošník	Kompozit	2	2	Běžný provoz	Úprava konstrukce

Tabulka 7 – Část 7/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
2006	L-164	CS-23	Flutter křídélka	220 km/h	Subsonická	Hornoplošník	Slitiny hliníku	-	-	Letové zkoušky	
2006	Windward OWL	CS-22	Flutter křídla	323 km/h	Subsonická	Středoplošník		1	0	Letové zkoušky	
2006	Grob G. 180A SPn	CS-23	Flutter SK	478 km/h	Subsonická	Křížové	Kompozit	1	1	Letové zkoušky	Úprava konstrukce
2009	UFM 13 Lambáda	UL-2	Flutter VOP – VK	170 km/h	Subsonická	T-OP	Kompozit	2	0	Běžný provoz	Snížení v_d
2009	UFM 13 Lambáda	UL-2	Flutter VOP – VK	190 km/h	Subsonická	T-OP	Kompozit	1	0	Běžný provoz	Snížení v_d
2010	VL-3 Flamingo	UL-2	Flutter křídlo – křídélko	320 km/h	Subsonická	Dolnoplošník	Kompozit	2	2	Běžný provoz	
2012	Bae 125-800	CS-23	Flutter křídla	400 km/h	Subsonická	Dolnoplošník	Slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2013	B737-800	CS-25	Flutter VK			Konvenční	Kompozit, slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	
2016	B767-300	CS-25	Flutter VK	483 km/h	Transsonická	Konvenční	Kompozit, slitiny hliníku	-	-	Běžný provoz	

Tabulka 8 – Část 8/9 z celkového přehledu

Rok	Typ letounu	Certifikační specifikace	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)	Kategorie rychlosti	Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Materiál	Počet pasažérů	Počet obětí	Účel letu	Důsledek
2018	Cessna CitationJet	CS-23	Flutter křídélka	493 km/h	Transsonická	Dolnoplošník	Kompozit	-	-	Běžný provoz	Výměna křídélka
2019	Cirrus SR20	CS-23	Flutter křídélka			Dolnoplošník	Kompozit	2	0	Běžný provoz	

Tabulka 9 – Část 9/9 z celkového přehledu

4 Vyhodnocení

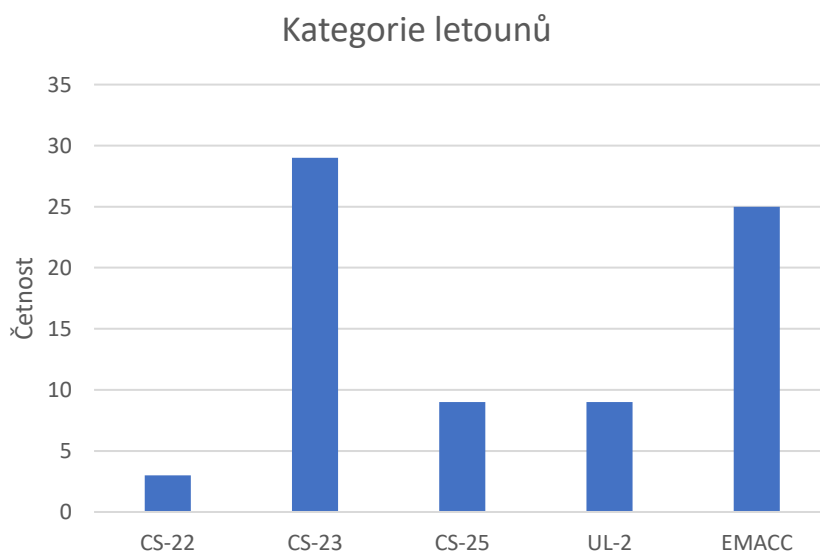
Tato kapitola je věnována vyhodnocení statického vzorku, který je zmíněný v předcházejícím oddílu. Vzorek byl vyhodnocen na základě několika kritérií, která jsou řešena v následujících podkapitolách.

4.1 Kategorie letounu

Kategorie letounů jsou určena na základě předpisů vydaných EASA, případně pod EMACC. V souladu s těmito předpisy je jim přidělena certifikační specifikace. Celkový výskyt četnosti jednotlivých certifikačních specifikací je znázorněn v tabulce 10 a grafu 1. Z toho vyplývá, že modus na základě této statistiky je kategorie CS-23, do které se řadí letouny kategorie normální, cvičná, akrobatická a pro sběrnou dopravu. Naopak mediánem je kategorie CS-22, do které patří kluzáky a motorové kluzáky.

Kategorie	Četnost
CS-22	3
CS-23	29
CS-25	9
UL-2	9
EMACC	25

Tabulka 10 – Rozdělení podle certifikační specifikace letounu



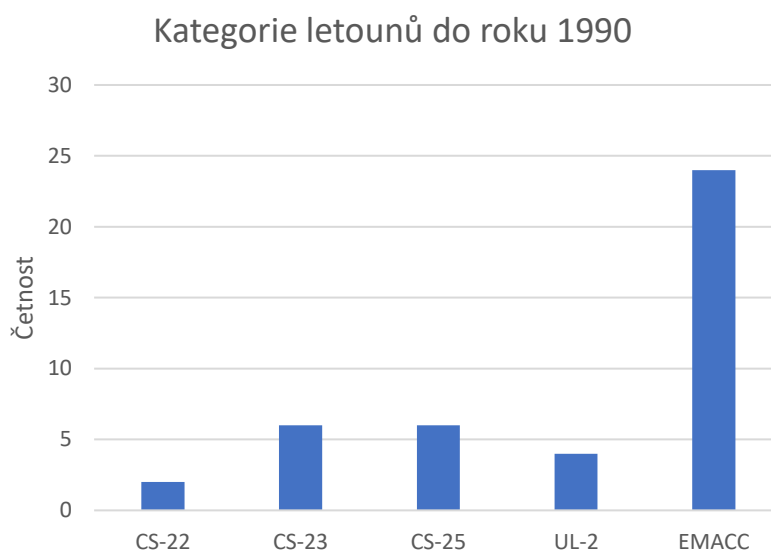
Graf 1 – Sloupcové rozdělení podle certifikační specifikace letounu

Pro lepší vysvětlení je v následující části rozdělena statistika na období do roku 1990 a po roce 1990 včetně. Z tabulky 11 a grafu 2 plyne, že do roku 1990 je modem kategorie EMACC, což jsou vojenská letadla. Tento jev má jednoduché vysvětlení z pohledu událostí 20. století. V průběhu 20. století došlo ke dvěma světovým válkám a několika menším, a vzrostla tedy snaha světových velmocí dominovat i ve vzdušném prostoru. Dalším faktorem je samotná

rivalita v převaze nad nejlepší dostupnou technikou, což táhlo k testování strojů na hranici výdrže.

Kategorie	Četnost
CS-22	2
CS-23	6
CS-25	6
UL-2	4
EMACC	24

Tabulka 11 – Rozdělení podle certifikační specifikace letounu (do roku 1990)

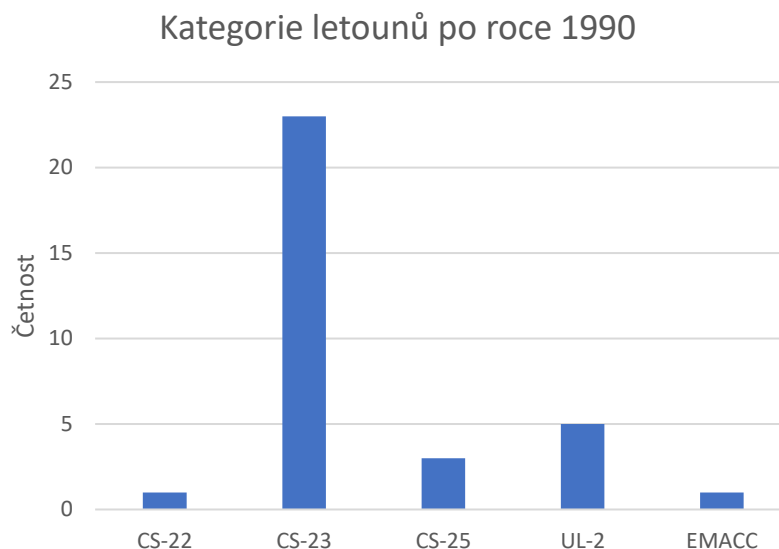


Graf 2 – Sloupcové rozdělení podle certifikační specifikace letounu (do roku 1990)

Naopak je tomu po roce 1990. Zřetelná převaha ze strany CS-23, která je zapříčiněna ústupem ve vojenské sféře a velkým progresem na poli působnosti normálních, cvičných, akrobatických letounů a letounů pro sběrnou dopravu. Jak je vyobrazeno v tabulce 12 a na grafu 3.

Kategorie	Četnost
CS-22	1
CS-23	23
CS-25	3
UL-2	5
EMACC	1

Tabulka 12 – Rozdělení podle certifikační specifikace letounu (po roce 1990)



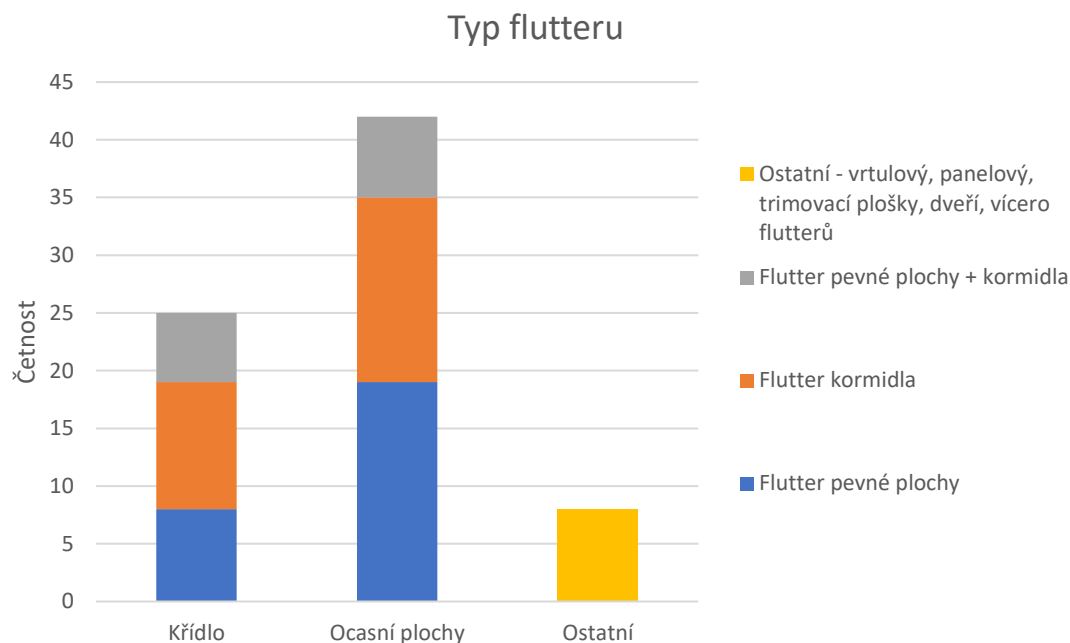
Graf 3 – Sloupcové rozdělení podle certifikační specifikace letounu (po roce 1990)

4.2 Typ flutteru

Rozdělení na základě typu flutteru je rozloženo do tří kategorií dle místa výskytu tohoto jevu na křídlo, ocasní plochy a ostatní. Dále se statistika dělí pro křídlo a ocasní plochy na flutter pevné plochy, flutter kormidla a jejich vzájemné kombinace. Rozdělení je vyobrazeno v tabulce 13 a na grafu 4. Z grafu je patrná dominance výskytu flutteru na ocasních plochách. Tento faktor je ovlivňován několika činiteli. Jedním z nich je konstrukční uspořádání letounu, kdy se na ocasních plochách nachází výškové a směrové kormidlo. Dalším shledaným faktorem je jejich samotná konstrukce. Vzniká tendence dělat lehké a úzké profily, které budou ve výsledku splňovat požadovanou tuhost.

	Křídlo	Ocasní plochy	Ostatní	Celkem
Flutter pevné plochy	8	19	0	27
Flutter kormidla	11	16	0	27
Flutter pevné plochy + kormidla	6	7	0	13
Ostatní – vrtulový, panelový, trimovací plošky, dveří, vícero flutterů	0	0	8	8
Celkem	25	42	8	75

Tabulka 13 – Rozdělení podle typu flutteru



Graf 4 – Sloupcový graf znázorňující četnost podle typu flutteru

4.3 Četnost výskytu na typu letounu

Ze statistického vzorku je zřejmý častější výskyt flutteru u některých typů letounů. V této kapitole je zaměření na porovnání typu flutteru z pohledu typu letounu.

4.3.1 Beech 35

Z pohledu této statistiky se jedná o nejvíc problémový typ letounu, u kterého se flutter vyskytl celkem jedenáctkrát napříč pěti modely této řady. Pro upřesnění jsou jednotlivé nehody zobrazeny v tabulce 14.

Rok	Typ letounu	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)
1991	Beech 35	Flutter kormidla OP	290 km/h
1992	Beech 35	Flutter OP	
1996	Beech 35	Flutter OP	210 km/h
1987	Beech A35	Flutter kormidla OP	300 km/h
1990	Beech A35	Flutter OP	
1996	Beech B35	Flutter kormidla OP	220 km/h
1998	Beech B35	Flutter OP	
2000	Beech F35	Flutter OP	305 km/h
2002	Beech F35	Flutter kormidla OP	263 km/h
2002	Beech G35	Flutter OP	320 km/h
2005	Beech G35	Flutter kormidla OP	360 km/h

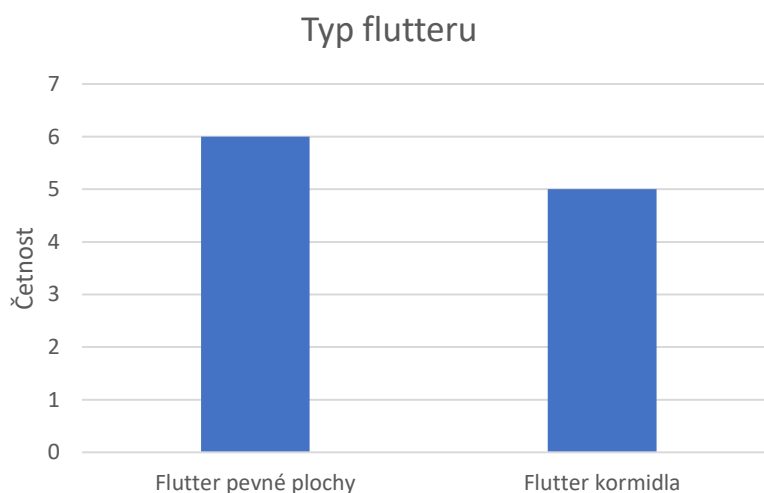
Tabulka 14 – Zobrazení přehledu nehod letounu typu Beech 35

Při zaměření na typ flutteru je patrné, že všechny případy výskytu flutteru se nachází na ocasní ploše, která má tvar V. Jak je zřejmé z následující tabulky 15 a grafu 5, k flutteru

pevné plochy a kormidla dochází v přibližně stejné četnosti. Avšak při zaměření se na příčiny jednotlivých nehod, přichází zjištění, že z většiny jsou na vině špatně vyvážená kormidla.

Typ flutteru	Četnost
Flutter pevné plochy	6
Flutter kormidla	5

Tabulka 15 – Četnost typu flutteru pro letoun Beech 35



Graf 5 – Četnost podle typu flutteru pro letoun Beech 35

4.3.2 Junkers EF 61

Jedná se o dva prototypy Junkers EF 61 V1 a V2, jak je vyobrazeno v tabulce 16. Oba prototypy postihl flutter v oblasti křídla, na základě těchto událostí se pokračování produkce ukončilo.

Rok	Typ letounu	Typ flutteru
1937	Junkers EF 61 V1	Flutter křídlo – kormidlo
1937	Junkers EF 61 V2	Flutter kormidla

Tabulka 16 – Přehled nehod letounu typu Junkers EF 61

4.3.3 Lockheed L-188A Electra

Dva civilní dopravní letouny Lockheed L-188A Electra postihl vrtulový flutter, jak je zobrazeno v tabulce 17. V obou případech k flutter došlo při rychlosti 500 km/h (EAS). Na základě těchto událostí byla po přezkoumání upravena konstrukce a došlo ke snížení návrhové rychlosti.

Rok	Typ letounu	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)
1959	Lockheed L-188A Electra	Vrtulový flutter	501 km/h
1960	Lockheed L-188A Electra	Vrtulový flutter	500 km/h

Tabulka 17 – Přehled nehod letounu typu Lockheed L-188A Electra

4.3.4 Parnall Pipit

Na konci 20. let probíhal vývoj nového letounu Parnall Pipit. Měl celkem dva prototypy a u obou se vyskytl flutter v oblasti ocasních ploch viz tabulka 18. Na základě těchto událostí se pokračování v projektu zrušilo.

Rok	Typ letounu	Typ flutteru
1928	Parnall Pipit	Flutter OP
1929	Parnall Pipit	Flutter VOP – VK

Tabulka 18 – Přehled nehod letounu typu Parnall Pipit

4.3.5 UFM 13 Lambáda

Během jednoho roku se vyskytl flutter VOP – VK na dvou letounech při rychlostech na hranici dovolené rychlosti viz tabulka 19. Na základě těchto skutečností FAA nařídilo snížení návrhové rychlosti.

Rok	Typ letounu	Typ flutteru	Rychlost flutteru (EAS)
2009	UFM 13 Lambáda	Flutter VOP – VK	170 km/h
2009	UFM 13 Lambáda	Flutter VOP – VK	190 km/h

Tabulka 19 – Přehled nehod letounu typu UFM 13 Lambáda

4.4 Rychlost flutteru

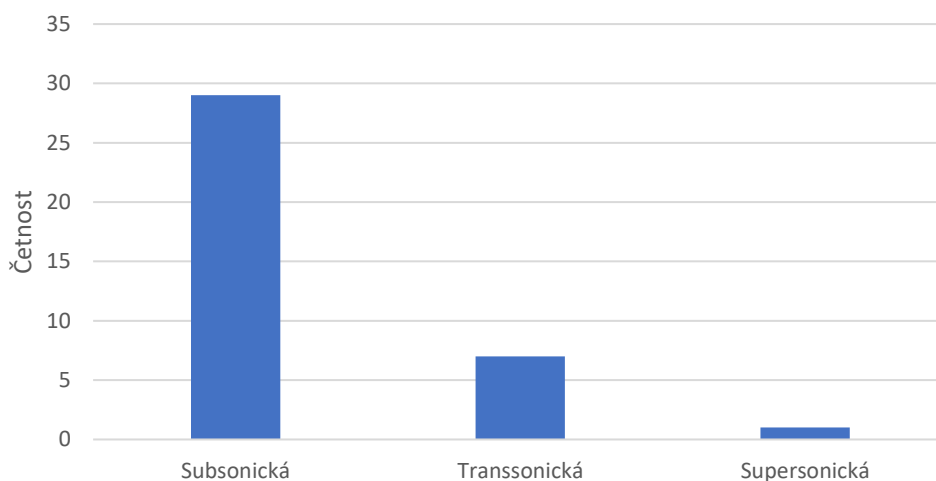
Rychlost se rozděluje na základě Machova čísla. Dělí se na subsonickou (do 0,8 Mach), transsonickou (0,8-1,2 Mach), supersonickou (1,2-5 Mach) a hypersonickou (nad 5 Mach). V případě tohoto statistického vzorku je dosaženo nejvýše supersonické rychlosti. To je způsobeno i malým počtem letounů, které hypersonické rychlosti dosahují. V tabulce 20 a grafu 6 je vyobrazeno rozdělení na rychlosti, za kterých došlo k flutteru.

Z vyhodnocení statistického vzorku je zřejmý modus subsonické rychlosti. Vzhledem k četnosti letounů ve vzorku, které dosahují pouze subsonické rychlosti, je tento závěr předpokládáný.

Rychlost flutteru	Četnost
Subsonická	29
Transsonická	7
Supersonická	1

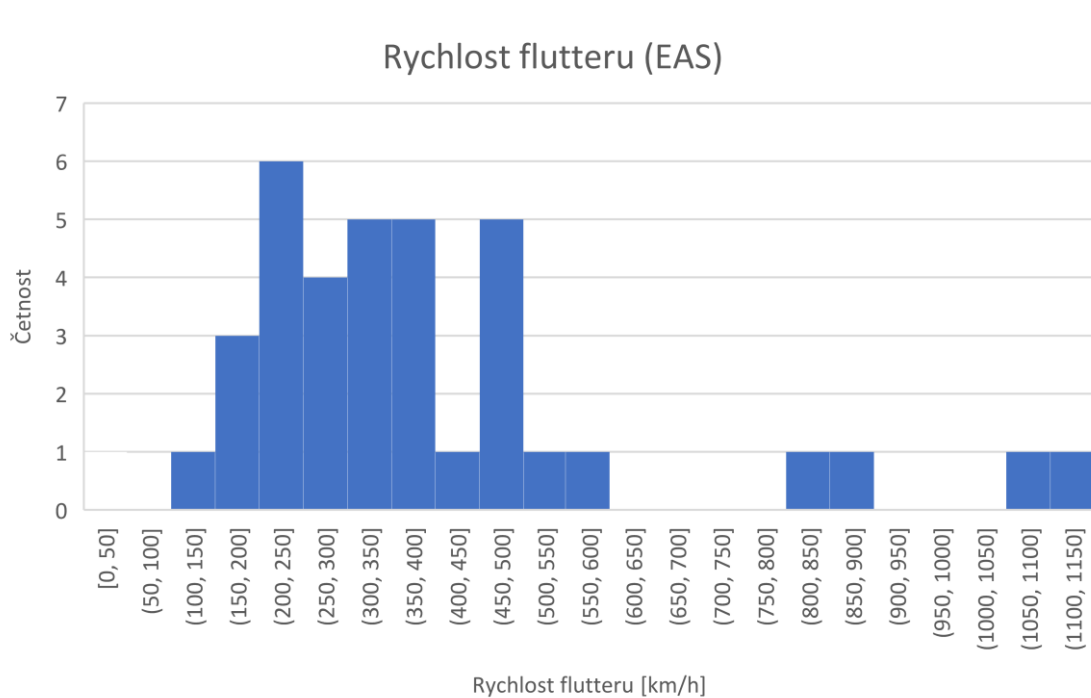
Tabulka 20 – Rozdělení podle rychlosti flutteru

Rychlost flutteru



Graf 6 – Sloupcové porovnání četnosti podle rychlosti flutteru

Pro další upřesnění je na grafu 7 zobrazen histogram, který znázorňuje rozptýlení rychlostí flutteru v EAS. Z histogramu je opět zřejmá dominance rychlostí do 500 km/h.



Graf 7 – Histogram na základě rychlosti flutteru (EAS)

4.5 Výskyt flutteru z hlediska konstrukce

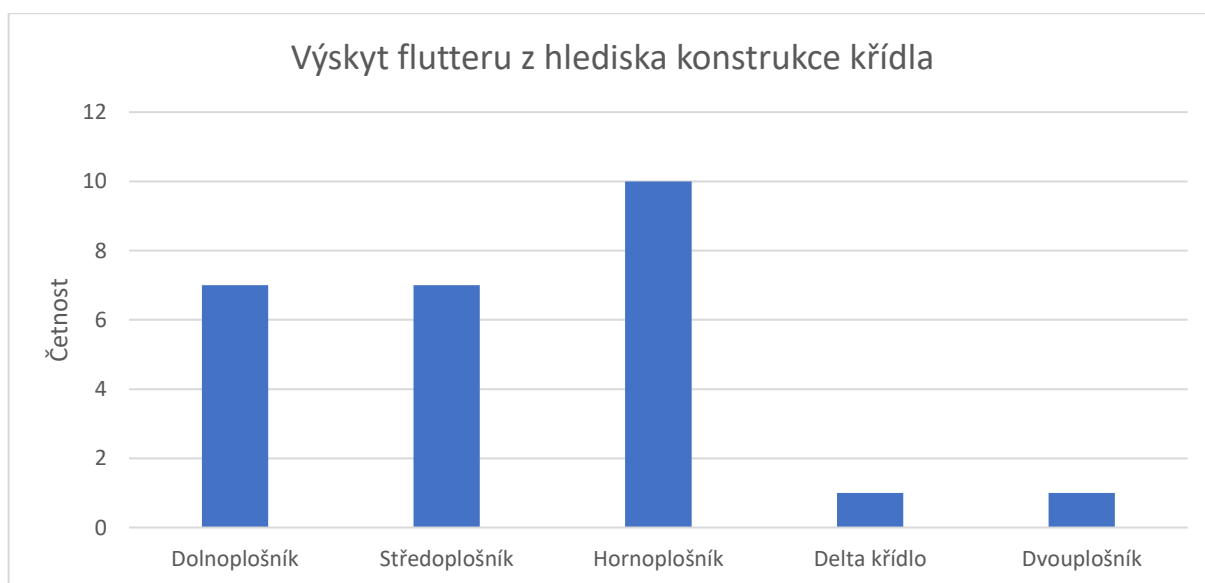
Stejně jako v kapitole 3.2, kde je rozdělení typů flutterů na základě polohy na křídlo, ocasní plochy nebo ostatní, i zde bude toto rozdělení aplikováno – mimo kategorii ostatní.

První zaměření je na konstrukce křídel. Vyhodnocení statistických vzorků dle výskytu flutteru z konstrukčního hlediska křídel je zobrazeno v tabulce 21 a grafu 8. Ze statistiky je zřejmé, že nejčastějším typem jsou hornoplošníky. Dále se stejnou četností se vyskytuje na dolnoplošnicích a středoplošnicích.

Ze statistiky není jednoznačný nejčastější typ konstrukce křídla. Hodnoty četností jsou shodné pro nízké, střední i vysoké křídlo.

Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Četnost
Dolnoplošník	7
Středoplošník	7
Hornoplošník	10
Delta křídlo	1
Dvouplošník	1

Tabulka 21 – Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska křídla



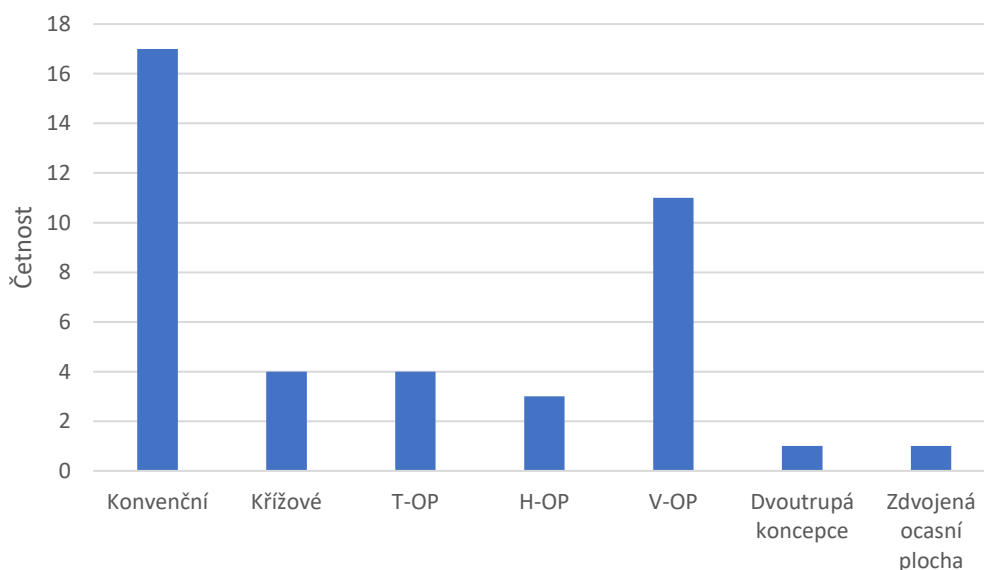
Graf 8 – Histogram podle výskytu flutteru z konstrukčního hlediska křídla

Data pro druhý typ, který zde rozlišujeme, což jsou ocasní plochy, jsou vyobrazeny v tabulce 22 a na grafu 9. Konvenční typ uspořádání ocasní plochy je nejčastěji používaným druhem konstrukce ocasních ploch, proto je tento jev i modem této kategorie. Druhým nejčastějším prvkem ze statistického vzorku je uspořádání ocasních ploch do V. V tomto ohledu není statistika úplně přesná a musí se vzít v úvahu další faktor, což jsou problémové modely letounu Beech 35, jež mají za následek všech jedenáct případů výskytu flutteru na konstrukci ocasní plochy do V.

Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska	Četnost
Konvenční	17
Křížové	4
T-OP	4
H-OP	3
V-OP	11
Dvoutrupá koncepce	1
Zdvojená ocasní plocha	1

Tabulka 22 – Výskyt flutteru z konstrukčního hlediska ocasních ploch

Výskyt flutteru z hlediska konstrukce ocasních ploch



Graf 9 – Histogram podle výskytu flutteru z hlediska konstrukce ocasních ploch

4.6 Použité materiály

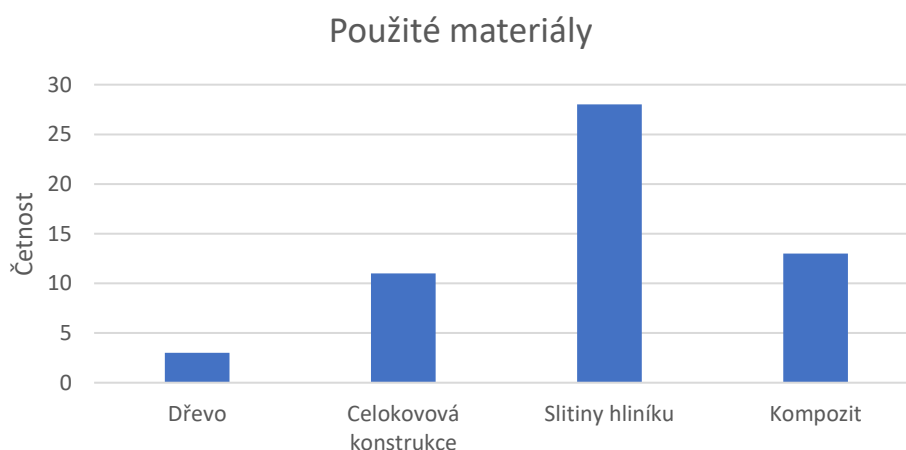
Statistické zpracování z tohoto hlediska je komplikovanější, jelikož ne všechny zdroje uvádějí i použitý materiál. Proto je patřičné nejprve přiblížit problematiku z hlediska historického vývoje.

V době vzniku prvních letadel se z důvodu snadné dostupnosti a nízké hmotnosti používalo převážné dřevo a tkanina. Jelikož se v té době nedosahovalo ještě závratnějších rychlostí, nevyžadovala konstrukce takovou tuhost jako v pozdějších dobách, svým účelům posloužily různé dráty a vzpěry, což je dobře vidět na prvních více plošných letounech. Každopádně letouny z takových materiálů byly náročné na údržbu a vlivem nepříznivého počasí se snadno poškodily. Proto se v období první světové války začal používat na konstrukci kov – zprvu jen ocelové konstrukce, později slitiny hliníku. Následně probíhalo spíše už jen zdokonalování slitin, aby dosáhly vyšší tuhosti a odolaly větším teplotám. Z oblasti slitin hliníku se vyvinul dural, který se poté stal jednou z nejpoužívanějších slitin a dosahoval až pětkrát větší pevnosti v tahu než čistý hliník. Proto se dá předpokládat nejvyšší četnost právě u těchto prvků. V neposlední řadě se začal používat titan a kompozit. [4]

V následující tabulce je zobrazen přehled četnosti materiálů, který se podařilo dohledat. Je zřejmé, že závěr z tohoto typu není úplně relevantní, jelikož v mnohých pramenech se zmiňovali pouze o celokovové konstrukci, i když se dá předpokládat užití různých slitin. Z grafu je patrné, že nejčastěji se vyskytují slitiny hliníku, tím pádem se předpoklad nejvyšší četnosti v tomto ohledu splňuje. Z kompozitu jsou převážně dělána novodobá letadla.

Materiál	Četnost
Dřevo	3
Celokovová konstrukce	11
Slitiny hliníku	28
Kompozit	13

Tabulka 23 – Přehled použitých materiálů a jejich četnost



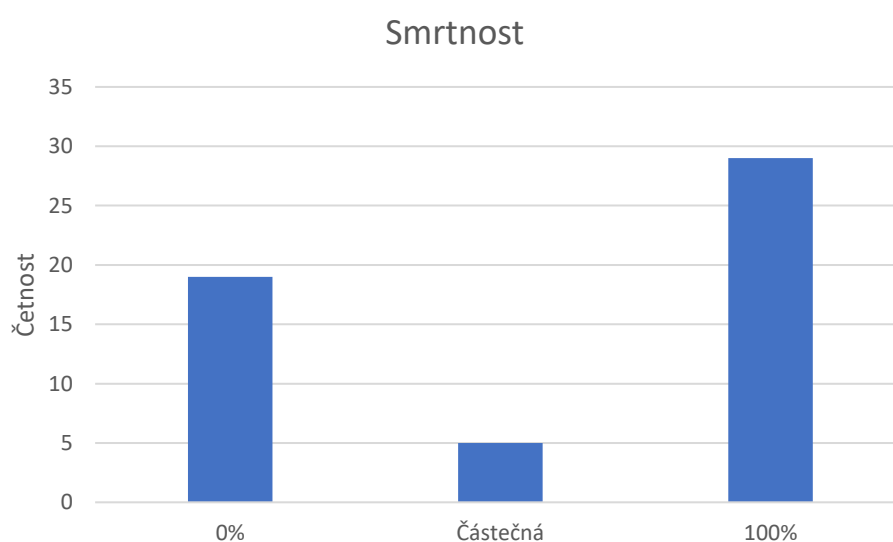
Graf 10 – Zobrazení četnosti na základě použitých materiálů

4.7 Smrtnost

V této statistice je zaměření na smrtnost nehod, jelikož je to jedna z frekventovaně uváděných informací v případě leteckých nehod. Ze statistického vzorku vyplývá, že v přibližně 55 % případů při havárii zahynuli všichni pasažéři a v procentuálním zastoupení 36 % nehodu všichni přežili, jak je zobrazeno v tabulce 24 a na grafu 11.

Smrtnost	Četnost nehod	Podíl z celku
0%	19	35,85 %
Částečná	5	9,43 %
100%	29	54,72 %

Tabulka 24 – Smrtnost z hlediska jednotlivých nehod



Graf 11 – Smrtnost z hlediska jednotlivých nehod

V tabulce 25 je zobrazena smrtnost, jež je přepočtena na jednu nehodu a přes všechny nehody dohromady. Zaokrouhleně tato hodnota dosahuje 89 %, je to způsobeno převážně třemi velkými nehodami civilních dopravních letounů, konkrétně se jedná o dvě nehody letounu Lockheed L-188A Electra a Convair CV-580.

	Celkem	Na 1 nehodu
Počet nehod	53	1
Počet pasažérů	266	5,02
Počet obětí	236	4,45
Smrtnost	88,72 %	88,72 %

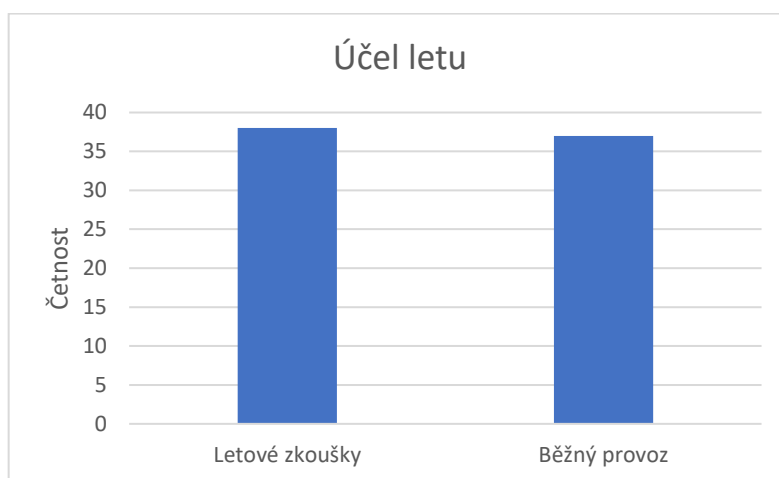
Tabulka 25 – Smrtnost v přepočtu na jednu a všechny nehody

4.8 Účel letu

Tato kategorie lze rozdělit na dva druhy. Prvním druhem jsou letové zkoušky, kdy se jedná převážně o prototypy, které byly v procesu certifikace letounu. Druhou skupinou je běžný provoz, což jsou již certifikované letouny. Z tabulky 26 a grafu 12 vyplývá rovnováha mezi četností obou druhů, proto je dobré uvést, stejně jako v kapitole 3.1, rozdělení na období před rokem 1990 a po roce 1990.

Účel letu	Četnost
Letové zkoušky	38
Běžný provoz	37

Tabulka 26 – Rozdělení na základě četnosti účelů letu

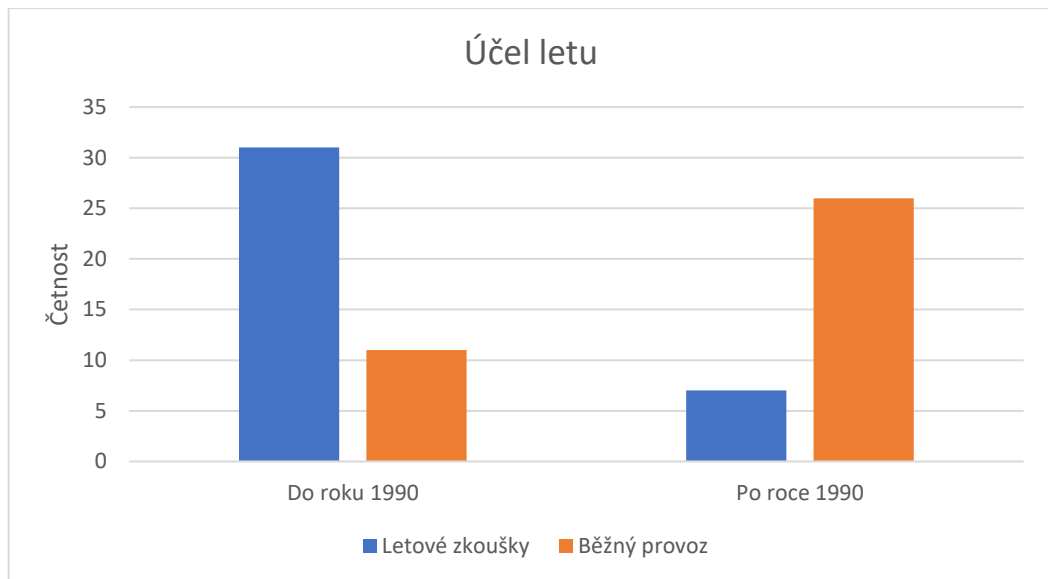


Graf 12 – Zobrazení četnosti na základě účelu letu

V tabulce 27 a na grafu 13 je vyobrazen rozdíl mezi obdobími před rokem 1990 a po roce 1990. Tato diference úzce souvisí se statistickým zpracováním v kapitole 3.1. Před rokem 1990 byla tendence za novými výkonnými letouny, proto vznikalo velké množství prototypů, které ve výsledku byly defektivní. Po roce 1990 již není vývoj nových letounů tak znatelný, podporuje to i existence dokonalejších flutterových zkoušek, tudíž u nových letounů je tento jev mnohdy odstraněn ještě před započítáním letových zkoušek.

Účel letu	Četnost	
	Do roku 1990	Po roce 1990
Letové zkoušky	31	7
Běžný provoz	11	26

Tabulka 27 – Rozdělení četnosti účelu letu na období do roku 1990 a po roce 1990



Graf 13 – Zobrazení četnosti účelu letu před a po roce 1990

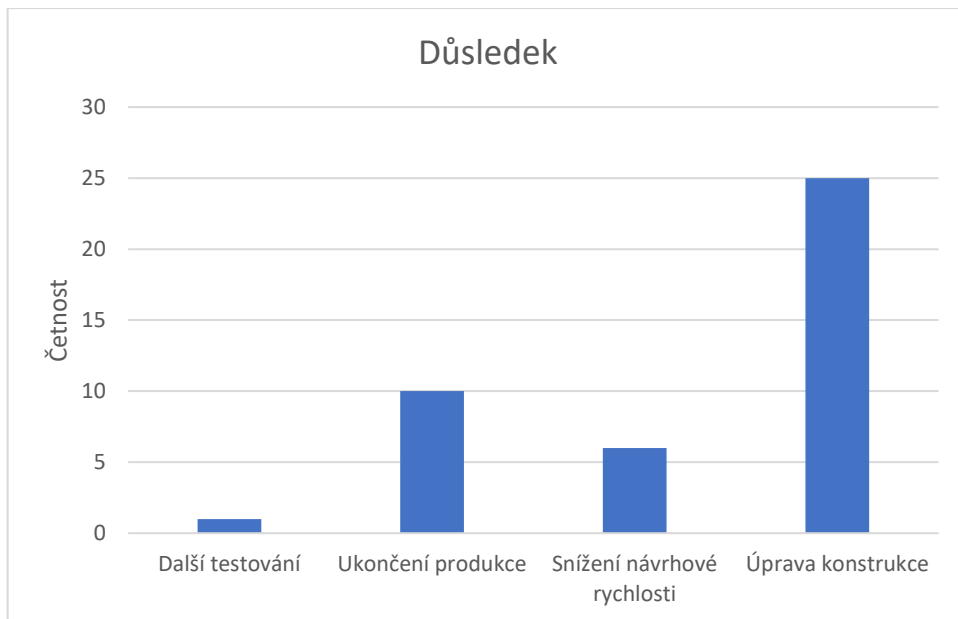
4.9 Důsledky nehod

Kapitola se zaměřuje na důsledky, které nehody později přinesly. Z historického pohledu vedly prvotní nehody k samotnému zjištění o tomto aeroelastickém jevu a následnému zařazení pojmu do terminologie. Nové poznatky vedly ke spuštění flutterových testů a jejich zdokonalení postupem času.

Důsledky jsou pro zjednodušení shrnuty do pěti kategorií viz tabulka 28 a graf 14. Modus tohoto statistického vzorku je úprava konstrukce, do které se vztahuje např. úprava kormidel, výměna křidélek, přidání vyztužení, rozšíření ocasních ploch nebo vytvoření nového prototypu letounu. Mezi další časté důsledky se řadí ukončení produkce, respektive vývoje, což se týká především prototypů, které byly velice závadové, nebo trh obohatil lepší letoun. V neposlední řadě měly nehody za následek snížení návrhové rychlosti. Řešení podle této statistické kategorie vypovídá, že většina problémů byla vyřešena a mnohdy přinesla pozitivní výsledek do dalšího vývoje.

Důsledek	Četnost
Další testování	1
Ukončení produkce	10
Snížení návrhové rychlosti	6
Úprava konstrukce	25

Tabulka 28 – Rozdělení četnosti na základě důsledků nehod



Graf 14 – Zobrazení četnosti důsledků nehod

5 Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala výskytu flutteru na leteckých konstrukcích. Prvním úkolem bylo nashromáždit data k nehodám, kde byl příčinou flutter. Podařilo se dohledat 75 nehod v rozmezí od roku 1916 až po rok 2019 a přehledně je zpracovat do tabulky.

Následný statistický vzorek byl vyhodnocen dle několika kritérií. V úvahu byla brána kategorie letounu, typ flutteru, četnost výskytu na typu letounu, rychlost flutteru, výskyt flutteru z hlediska konstrukce, použité materiály, smrtnost, účel letu a důsledky nehod.

Výsledkem statistického zpracování podle jednotlivých kategorií bylo, že nejčastěji postiženou kategorií letounů je kategorie CS-23, do které patří většina menších letounů a je tedy nejpočetnější. Z toho důvodu vyšel modus rychlosti flutteru v oblasti subsonické, tedy při rychlostech do 0,8 Mach, kde se menší letouny převážně pohybují.

Z pohledu konstrukce flutter nejvíce postihuje ocasní plochy, na kterých se vyskytuje výškové a směrové kormidlo. Z bližšího hlediska se jedná o konvenční uspořádání ocasních ploch, což je nejvíce používaný typ konstrukce.

Z oblasti materiálu se nejfrekventovaněji objevují různé slitiny hliníku, jako je například dural, a během posledních 30 let se stále častěji používají kompozitní materiály.

V 55 % vedly nehody k fatálnímu závěru, dříve tomu bylo převážně při letových zkouškách, v dnešní době se tomu tak děje více již u certifikovaných letounů. I přes katastrofické konce směřovaly nehody ve výsledku k nápravě – ve formě úpravy konstrukce nebo snížení návrhové rychlosti, aby se žádná taková nehoda již neopakovala.

Použitá literatura a zdroje obrázků

- [1] SLAVÍK, Svatomír. *Aeroelasticita leteckých konstrukcí*. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1415-0.
- [2] DANĚK, Vladimír. *Aeroelasticita*. Brno: Vysoké učení technické, 1987.
- [3] S, Nithin a Vijayalakshmi Bharathi K. REVIEW ON AEROELASTICITY. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology* [online]. 2019, 04(08), 271-274 [cit. 2021-6-7]. ISSN 24552143. Dostupné z: doi:10.33564/IJEAST.2019.v04i08.047
- [4] Boyne, Walter James and Vance, James E.. "Airplane". *Encyclopedia Britannica*, 22 Oct. 2020, <https://www.britannica.com/technology/airplane>. Accessed 10 June 2021.
- [5] Bowers, Peter M.: *Forgotten Fighters/2 and Experimental Aircraft U.S. Army 1918-1941*, Arco Publishing Company, New York 1971. ISBN 0-66802-403-8
- [6] Wixey, Kenneth (1990). *Parnall Aircraft since 1914*. Annapolis: Naval Institute Press. ISBN 1-55750-930-1
- [7] No. 10860. Parnall Pipit (N232) Air Ministry. *1000aircraftphotos.com* [online]. 2011 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://1000aircraftphotos.com/Contributions/EwingBill/10860.htm>
- [8] Wixey, Kenneth (1990). *Parnall Aircraft since 1914*. Annapolis: Naval Institute Press. ISBN 1-55750-930-1
- [9] Parnall Pipit. *All the World's Rotorcraft* [online]. [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: http://www.aviastar.org/air/england/parnell_pipit.php
- [10] KREJČÍ, Pavel. RWD-6 SP-AHN. *Letecká badatelna* [online]. 11.2014 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.leteckabadatelna.cz/havarie-a-sestrelly/detail/253/>
- [11] OBERDING, Major F. H. *Hamilton Field Diary: The Country Club Airbase*. Xlibris, c2011. ISBN 978-1-4628-9605-9.
- [12] Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2348746>
- [13] JUNKERS JU 87 'STUKA'. *THE BATTLE OF BRITAIN* [online]. [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <https://battleofbritain1940.com/junkers-ju-87-stuka/>
- [14] Junkers 87 Stuka. *WWII German Aircraft Photographs* [online]. [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.luftwaffephotos.com/lju8737.htm>
- [15] EF.61. *Airwar* [online]. 2012 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.airwar.ru/enc/bww2/ef61.html>
- [16] No. 4828. Junkers EF 61 V1 (c/n 4931). *1000aircraftphotos.com* [online]. 15.12.2005 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <https://1000aircraftphotos.com/Contributions/Braas/4828.htm>

- [17] "Recover bodies from wreck". *Lewiston Morning Tribune*. (Idaho). Associated Press. January 12, 1938. p. 2.
- [18] Lockheed 14-H Super Electra. *Aviation Safety Network* [online]. c1996-2021 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19380110-0>
- [19] By Bill Larkins - Hughes Lockheed 14H, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29357687>
- [20] WINCHESTER, Jim. Ju-90 Development. *Ju-290 Home* [online]. 2004 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/junkersju290/home/development>
- [21] *NX 19901: AIR SAFETY BOARD REPORT* [online]. [cit. <https://www.baaa-acro.com/sites/default/files/import/uploads/2015/05/NX199011.pdf>].
- [22] NORRIS, Guy a Graham WARWICK. Top Technologies: 'Protecting the Pilot' to 'Keeping It Together'. *AVIATION WEEK* [online]. 6 May 2016 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://aviationweek.com/aerospace/top-technologies-protecting-pilot-keeping-it-together>
- [23] D'ANGINA, James. *MITSUBISHI A6M ZERO* [online]. Great Britain: Osprey Publishing, 2016 [cit. 2021-6-8]. ISBN 978 1 4728 0823 6.
- [24] BORLAND, Craig. Eye on Millig: Three men died in 1940 flying boat tragedy. *Helensburgh Advertiser* [online]. 22.1.2020 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.helensburghadvertiser.co.uk/news/18177661.eye-millig-three-men-died-1940-flying-boat-tragedy/>
- [25] By Emoscopes - Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3812633>
- [26] Griehl, Manfred and Joachim Dressel. *Heinkel He 177 - 277 - 274*. Shrewsbury, UK: Airlife Publishing 1998. ISBN 1-85310-364-0.
- [27] By U.S. Navy - U.S. Navy Naval Aviation News 1 July 1943 [1], Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4902427>
- [28] WRITER, Staff. Sukhoi Su-15 (Samolet P): Interceptor Aircraft Prototype (1949). *Military Factory* [online]. 21.6.2018 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1590#specifications
- [29] Sukhoi Su-15 (I). *All the World's Rotorcraft* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <http://www.aviastar.org/air/russia/su-15-1.php>
- [30] Blazer, Gerald and Mike Dario. *Northrop F-89 Scorpion*. Leicester, UK; Aerofax, 1993. ISBN 0-942548-45-0
- [31] By USAF - U.S. Air Force photo [1] from the USAF Aeronautical Systems Center History Office [2], Public Domain,

- [32] SWOPES, Bryan R. 14 January 1950. *THIS DAY IN AVIATION* [online]. c2017 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.thisdayinaviation.com/14-january-1950/>
- [33] Hadley Page HP.88 VX330. *Thunder and Lightnings* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.thunder-and-lightnings.co.uk/memorial/entry.php?id=213>
- [34] Jenkins, Dennis R., "Eight-Engined Giant: Story of the Convair YB-60 Cold War Bomber", *Wings*, Woodland Hills, California, February 2005, Volume 35, Number 2, page 23.
- [35] By USAF - National Museum of the U.S. Air Force photo 061102-F-1234P-001, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2455946>
- [36] Rickard, J (12 June 2017), Boulton Paul P.120, http://www.historyofwar.org/articles/weapons_boulton_paul_P120.html
- [37] Boulton-Paul P.120: 1952. *All the World's Rotorcraft* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: http://www.aviastar.org/air/england/boulton_p-120.php
- [38] GARDNER, Thomas E. *F-100 Super Sabre at War*. Zenith Imprint, 2007. ISBN 9781616732585.
- [39] Autor: USAF – <http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet.asp?id=2304>, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2150243>
- [40] RAMSEY, John K. *NASA Aeroelasticity Handbook: Volume 2: Design Guides Part 2*. Glenn Research Center, Cleveland, Ohio 44135, November 2006.
- [41] Autor: USAF – http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet_media.asp?fsID=2318&page=2, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3453128>
- [42] "Folland Gnat Lost". *FLIGHT*: 211. 10 August 1956.
- [43] By Unknown author - Folland Aircraft Company, 1955 Christmas Card - from family archive, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53507353>
- [44] Pace, Steve. *F-104 Starfighter: Design, Development and Worldwide Operations of the First Operational Mach 2 Fighter*. St. Paul, Minnesota: Motorbooks International, 1992. ISBN 0-87938-608-8.
- [45] By US Air Force - National Museum of the U.S. Air Force photo 060928-F-1234S-003; Transferred from en.wikipedia to Commons by Mike-tango using CommonsHelper. (see original commons file), Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62176138>
- [46] By Alan Radecki Akradecki - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3069408>

- [47] *Aircraft Accident Report: BRANIFF AIRWAYS, LOCKHEED ELECTRA, N 97050, BUFFALO, TEXAS, SEPTEMBER 29, 1959* [online]. In: . 5 May 1961, s. 28 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/1959/19590929-0_L188_N9705C.pdf
- [48] Autor: Clinton Groves – <http://www.airlinefan.com/airline-photos/1782551/Varig/Lockheed/L-188-Electra/PP-VJW/>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20203439>
- [49] *Aircraft Accident Report: NORTHWEST AIRLINES LOCKHEED ELECTRA, N 121US, NEAR CANNELTON, INDIANA, MARCH 17, 1960* [online]. In: . 28 April 1961, s. 25 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/1960/19600317-0_L188_N121US.pdf
- [50] Větroně M-16 Standart a VT-16 Orlík. *RC revue* [online]. 6/2014 [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <https://www.rcmodelyshop.cz/rcmodelyshop/eshop/27-1-Casopisy-RCrevue-cars-MHobby/-4-/5/3577-RC-REVUE-6-2014//description#anch1>
- [51] By Jerry Gunner from Lincoln, UK - OK-3902 VT-16 Orlik at ChrudimUploaded by tm, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24979820>
- [52] WRITER, Staff. Dassault Balzac V: Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Demonstrator (1962). *Military Factory* [online]. 2016 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1323#specifications
- [53] Autor: PHAN Dougherty, USN – This media is available in the holdings of the National Archives and Records Administration, cataloged under the National Archives Identifier (NAID) 6430455., Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4697793>
- [54] C/n 220: IM-1719. *DHC-3 Otter Archive* [online]. c2015-2021 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://www.dhc-3archive.com/DHC-3_220.html
- [55] CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=357704>
- [56] TINGLEY, Brett a Tyler ROGOWAY. The Cheyenne Attack Helicopter. *The War Zone* [online]. 2 April 2021 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/40014/the-cheyenne-attack-helicopter-had-a-crazy-rotating-gunners-seat-right-out-of-star-wars>
- [57] By William Pretrina - Lockheed AH-56 Cheyenne, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20671252>
- [58] *SPECIAL INVESTIGATION REPORT: WING FAILURE OF BOEING 747-131* [online]. In: . 1978, s. 40 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <http://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aircraft-accident-reports/AAR78-12.pdf>
- [59] By Jon Proctor - Gallery page <https://www.jetphotos.com/photo/5947113Photo> https://cdn.jetphotos.com/full/1/96482_1175088620.jpg, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31472061>

- [60] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001214X44623&AKey=1&RType=Summary&IType=FU>
- [61] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001214X44623&AKey=1&RType=Summary&IType=FU>
- [62] Cliche, Andre: *Ultralight Aircraft Shopper's Guide* 8th Edition, page E-31. Cybair Limited Publishing, 2001. ISBN 0-9680628-1-4
- [63] Ritz Standard A ultralight. *Light Sport Aircraft Pilot* [online]. June 16, 2021 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: http://www.lightsportaircraftpilot.com/ritz_parasol_ultralight/index.html
- [64] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 2 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001214X37534&AKey=1&RType=Summary&IType=LA>
- [65] By User:RadioFan, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30434333>
- [66] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001213X35003&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>
- [67] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001213X31244&AKey=1&RType=Summary&IType=LA>
- [68] Bonanza A35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-a35/>
- [69] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001213X25637&AKey=1&RType=Summary&IType=DE>
- [70] *Pictures Of The Full Scale Ratsrepus: Harold Chappell's Ratsrepus, N889HC* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: http://www.acrodesigns.com/ratsrepus/Ratsrepus_Full_Scale.php

[71] *REPORT ON THE CONVAIR 340/580 IN-PAA AIRCRAFT: ACCIDENT NORTH OF HIRTSHALS, DENMARK, ON SEPTEMBER 8, 1989* [online]. In: . únor 1993, s. 149 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/1989/19890908-0_CVLT_LN-PAA.pdf

[72] By Creator:Gary Watt - <http://www.airliners.net/photo/Partnair/Convair-580/1011379/L/>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28625940>

[73] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 2 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X23231&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[74] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X16380&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[75] Beechcraft 35 Bonanza. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/beechcraft-35-bonanza>

[76] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X16999&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[77] By FlugKerl2 - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20462632>

[78] WALTERS, James M. a Steven D. GREEN, Airline Pilots Association. *Petition for Reconsideration of Probable Cause: Business Express, N811BE, SN UB-49 Block Island, Rhode Island December 28, 1991 Accident No. NYC-92-FA-053* [online]. In: . 25 June 1997, s. 32 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <http://www.iprr.org/comps/PFRBE.html>

[79] By redlegsfan21 - Flickr, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=65985227>

[80] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X13977&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[81] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X15926&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

- [82] Autor: Billyhill – Vlastní dílo, CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16117710>
- [83] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001206X01618&AKey=1&RType=HTML&IType=LA>
- [84] Autor: USAAF – National Museum of the U.S. Air Force photo 050602-F-1234P-005, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1684849>
- [85] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 5 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001206X02479&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [86] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X05220&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [87] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X05946&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [88] By Alan Radecki Akradecki - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3177366>
- [89] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 5 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X06487&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [90] Quikkit Glass Goose. *FANDOM* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
https://aircraft.fandom.com/wiki/Quikkit_Glass_Goose
- [91] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X06414&AKey=1&RType=Final&IType=FA>
- [92] G-BVHE - 1994 GROB G115D 2 HERON. *AIRCRAFT.COM* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aircraft.com/aircraft/1403985/g-bvhe-1994-grob-g115d-2-heron>
- [93] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 11 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X09820&Key=1&RType=Final&IType=LA>

[94] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 9 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X10119&Key=1&RType=Final&IType=FA>

[95] 1979 MOONEY M20K 231. *Controller* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://www.controller.com/listing/for-sale/204056235/1979-mooney-m20k-231-piston-single-aircraft>

[96] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X21055&Key=1&RType=Final&IType=FA>

[97] Bonanza F35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-f35/>

[98] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20010207X00410&Key=1&RType=Final&IType=LA>

[99] By Amillin - Own work, CC BY-SA 4.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46940498>

[100] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 7 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20010803X01603&Key=1&RType=Final&IType=FA>

[101] By Stephen Kearney - Own work, CC BY-SA 4.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15615582>

[102] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20020502X00616&Key=1&RType=Final&IType=LA>

[103] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20020702X01031&Key=1&RType=Final&IType=LA>

- [104] Bonanza G35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-g35/>
- [105] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20050314X00308&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [106] By Robert Frola - Flickr, GFDL, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32394810>
- [107] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20051109X01818&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [108] ČEČRDLE, Jiří. *ASSESSMENT OF AILERON TAB INSTALLATION INFLUENCE TO ULTRA-LIGHT AIRCRAFT FLUTTER CHARACTERISTICS*. Svratka, Czech Republic: ENGINEERING MECHANICS 2010, May 10 - 13, 2010.
- [109] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 7 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20060927X01410&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [110] C-GFXR - 2006 BUSHCADDY L164. *AIRCRAFT.COM* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aircraft.com/aircraft/1385831/c-gfxr-2006-bushcaddy-l164>
- [111] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20061030X01573&AKey=1&RType=Final&IType=LA>
- [112] *Investigation Report* [online]. In: . Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, April 2010, s. 41 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/2006/20061129-0_GSPN_D-CGSP.pdf
- [113] Autor: Juergen Lehle – Vlastní dílo (See also AlbSpotter Flugzeugbilder Aircraft Photos), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=796371>
- [114] *ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN MOŽNOSTI POŠKOZENÍ OCASNÍ ČÁSTI LETOUNU OK-NUA 09 "UFM-13 LAMBADA" VÝSKYTEM FLUTTERU: Technická zpráva*. FS, ČVUT v Praze 2009, 51 s.
- [115] By Sergey Ryabtsev - <http://www.airliners.net/photo/Urban-Air-UFM-13/1230238/&sid=ed9134fba15ada7fbca40144a33663a9>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16632333>

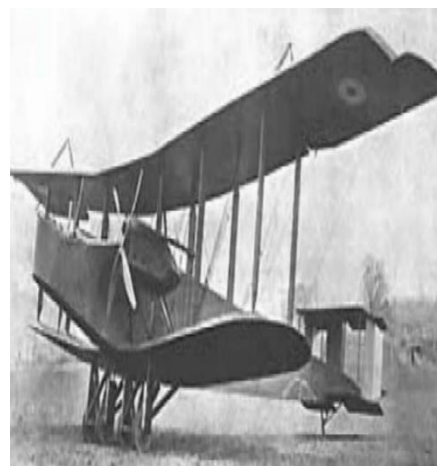
- [116] ASN Wikibase Occurrence # 65937. *Aviation Safety Network* [online]. 24 June 2009 [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/wikibase/65937>
- [117] Lambada UFM 13. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/ultralighty/lambda-ufm-13>
- [118] *AIRCRAFT ACCIDENT REPORT AND EXECUTIVE SUMMARY: Form Number: CA 12-12a* [online]. [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <http://www.caa.co.za/Accidents%20and%20Incidents%20Reports/8789.pdf>
- [119] *AVEKO VL-3 Flamingo (F-JUQG)* [online]. 2020 [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <https://flightaware.com/photos/view/9908277-f851fff14001a33d6277b20e30b2ff9b2a5a77e4/aircrafttype/VL3>
- [120] ACN: 988543. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO
- [121] Autor: Peter Bakema – Photo
<http://www.planepictures.net/a/51/42/1154250267.jpg>Gallery page
<http://www.planepictures.net/netshow.php?id=1154250267>, GFDL 1.2,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31213829>
- [122] ACN: 1334379. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO
- [123] Autor: Curimedia – Boeing 737-8AS Ryanair, CC BY 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23488548>
- [124] ACN: 1378801. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO
- [125] Autor: *Delta_Air_Lines_B767-300_N130DL.jpg*: Richard Snyder from San Jose, CA, United States of Americaderivative work: Altair78 (talk) – *Delta_Air_Lines_B767-300_N130DL.jpg*, CC BY-SA 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15999911>
- [126] ACN: 1601672. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO
- [127] By bomberpilot - *DSC_4192*Uploaded by High Contrast, CC BY-SA 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26686375>
- [128] Cirrus SR20, N8160C: Accident occurred May 02, 2019 at Mineral Wells Airport (KMWL), Texas. *KATHRYN'S REPORT* [online]. SEPTEMBER 15, 2019 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://www.kathrynsreport.com/2019/09/cirrus-sr20-n8160c-accident-occurred.html>

[129] Cirrus SR20. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/cirrus-sr20>

Příloha

1 – Handley Page O/400

Datum:	1916
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Bombardér
Typ flutteru:	Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru:	115 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Zdvojená ocasní plocha
Materiál:	Dřevo, dráty a tkanina
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nový prototyp
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 14 – Handley Page O/400 [3]

V případě Handley Page O/400 se jednalo o první zaznamenání flutteru v historii. Problém vyřešili výměnou lanového systému za pevný, kterým bylo připojeno VK. [2, 3]

Zdroj:

[2] DANĚK, Vladimír. *Aeroelastica*. Brno: Vysoké učení technické, 1987.

[3] S, Nithin a Vijayalakshmi Bharathi K. REVIEW ON AEROELASTICITY. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology* [online]. 2019, 04(08), 271-274 [cit. 2021-6-7]. ISSN 24552143. Dostupné z: doi:10.33564/IJEAST.2019.v04i08.047

2 – Loening PW-2A

Datum:	22. 9. 1922
Imatrikulace:	AS64388
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Hornoplošník
Materiál:	Dřevo
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Ukončení produkce
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 15 – Loening PW-2A [5]

PW-2A byl upravenou verzí PW-2, ale po čase se u něj objevily problémy v konstrukci křídla, které bylo náchylné na flutter. Z toho důvodu musel pilot Harrold Harris dne 22. října 1922 poprvé vyskočit z letadla padákem, protože se mu utrhlo křídlo. [5]

Zdroj:

[5] Bowers, Peter M.: *Forgotten Fighters/2 and Experimental Aircraft U.S. Army 1918-1941*, Arco Publishing Company, New York 1971. ISBN 0-66802-403-8

3 – Parnall Pipit N232

Datum:	Říjen 1928
Imatrikulace:	N232
C/n / msn:	1
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nový prototyp
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 16 – Parnall Pipit N232 [7]

Během testů byl první prototyp N232 nechán prudce sestupovat, v průběhu sestupu se objevil flutter OP, což vedlo ke zlomení OP. [6]

Zdroj:

[6] Wixey, Kenneth (1990). *Parnall Aircraft since 1914*. Annapolis: Naval Institute Press. ISBN 1-55750-930-1

[7] No. 10860. Parnall Pipit (N232) Air Ministry. *1000aircraftphotos.com* [online]. 2011 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://1000aircraftphotos.com/Contributions/EwingBill/10860.htm>

4 – Parnall Pipit N233

Datum: 24. 2. 1929
Imatrikulace: N233
C/n / msn: 2
CS: EMACC
Kategorie: Stíhací letoun
Typ flutteru: Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Konvenční
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: Ukončení produkce
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 17 – Parnall Pipit N233 [9]

Jedná se o druhý prototyp Parnall Pipit, u kterého se vyskytl flutter VOP a VK, což vedlo ke ztrátě VK a následně i SK. Pilot úspěšně opustil letoun padákem. [6]

Zdroj:

[6] Wixey, Kenneth (1990). *Parnall Aircraft since 1914*. Annapolis: Naval Institute Press. ISBN 1-55750-930-1

[9] Parnall Pipit. *All the World's Rotorcraft* [online]. [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: http://www.aviastar.org/air/england/parnall_pipit.php

5 – RWD-6

Datum:	11. 9. 1932
Imatrikulace:	SP-AHN
C/n / msn:	-
CS:	CS-23
Kategorie:	Sportovní letoun
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Hornoplošník
Materiál:	-
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 18 - RWD-6 [10]

V roce 1932 se konal mezinárodní závod na 7 300 kilometrů, který posádka vyhrála. Později toho roku se měli zúčastnit leteckého dne, ale vlivem silného větru křídla nevydržela, letadlo se zřítilo a na akci se již nedostavilo. [10]

Zdroj:

[10] KREJČÍ, Pavel. RWD-6 SP-AHN. *Letecká badatelna* [online]. 11.2014 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.leteckabadatelna.cz/havarie-a-sestrelly/detail/253/>

6 – Martin B-12A

Datum:	3. 10. 1934
Imatrikulace:	33-171
C/n / msn:	545
CS:	EMACC
Kategorie:	Bombardér
Typ flutteru:	Flutter křídlo – křídélko
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Středoplošník
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 3 / Pasažéři: 4
Typ:	Nehoda



Obrázek 19 – Martin B-12A [12]

Příčinou nehody byl flutter křídla a křídélka a odpor od vrtule při vypnutém motoru. Dohromady to vedlo k vibraci letounu a k utržení pravého křídélka, poté jediný příživší vyskočil padákem a letoun se se zbytkem posádky zřítíl. [11]

Zdroj:

[11] OBERDING, Major F. H. *Hamilton Field Diary: The Country Club Airbase*. Xlibris, c2011. ISBN 978-1-4628-9605-9.

[12] Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2348746>

7 – Junkers Ju 87 V1

Datum:	24. 1. 1936
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Bombardér
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlost:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	H-OP
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nový prototyp
Počet obětí:	Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 20 – Junkers Ju 87 V1 [14]

Nehoda způsobena výskytem flutteru OP během zkušebních letů tohoto prvního prototypu, flutter vedl ke ztrátě VK a SK a následnému pádu letadla. U dalšího prototypu byla předělána ocasní část a zredukována konstrukce jen na jedno SK. Dále byly pod křídlo přidány hydraulické vzdušné brzdy. [13]

Zdroj:

[13] JUNKERS JU 87 'STUKA'. *THE BATTLE OF BRITAIN* [online]. [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <https://battleofbritain1940.com/junkers-ju-87-stuka/>

[14] Junkers 87 Stuka. *WWII German Aircraft Photographs* [online]. [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.luftwaffepotos.com/lju8737.htm>

8 – Junkers EF 61 V1

Datum: 19. 9. 1937
Imatrikulace: -
C/n / msn: 4931
CS: EMACC
Kategorie: Bombardér
Typ flutteru: Flutter křídlo – kormidlo
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Hornoplošník
Materiál: -
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: Nový prototyp
Počet obětí: Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ: Nehoda



Obrázek 21 – Junkers EF 61 V1 [16]

Jednalo se o první prototyp německého výškového dvoumotorového letounu, ale během testů se dostal do chvění a zřítíl se. [15]

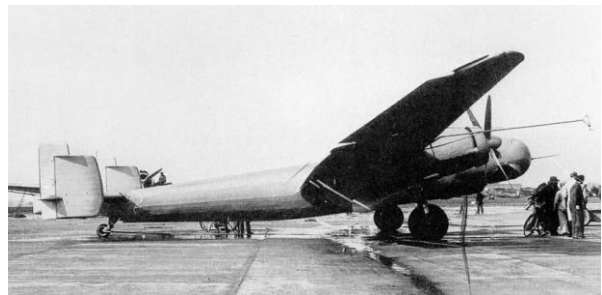
Zdroj:

[15] EF.61. *Airwar* [online]. 2012 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.airwar.ru/enc/bww2/ef61.html>

[16] No. 4828. Junkers EF 61 V1 (c/n 4931). *1000aircraftphotos.com* [online]. 15.12.2005 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <https://1000aircraftphotos.com/Contributions/Braas/4828.htm>

9 – Junkers EF 61 V2

Datum:	Prosinec 1937
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	4932
CS:	EMACC
Kategorie:	Bombardér
Typ flutteru:	Flutter kormidla
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Hornoplošník
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nový prototyp
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Nehoda



Obrázek 22 – Junkers EF 61 V2 [15]

Stejně jako jeho první prototyp, byl i druhý prototyp neúspěšný a letoun havaroval. V důsledku těchto událostí se od projektu upustilo. [15]

Zdroj:

[15] EF.61. *Airwar* [online]. 2012 [cit. 2021-6-7]. Dostupné z: <http://www.airwar.ru/enc/bww2/ef61.html>

10 – Lockheed 14-H Super Electra

Datum:	10. 1. 1938
Imatrikulace:	NC17388
C/n / msn:	1407
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlost:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	H-OP
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Úprava všech kormidel
Počet obětí:	Oběti: 10 / Pasažéři: 10
Typ:	Nehoda



Obrázek 23 – Lockheed 14-H Super Electra [19]

Dne 10. ledna 1938 havaroval letoun vlivem flutteru OP s dvoučlennou posádkou a osmi pasažéry na palubě. Jednalo se o první větší nehodu letecké společnosti Northwest Airlines. [17, 18]

Zdroj:

[17] "Recover bodies from wreck". *Lewiston Morning Tribune*. (Idaho). Associated Press. January 12, 1938. p. 2.

[18] Lockheed 14-H Super Electra. *Aviation Safety Network* [online]. c1996-2021 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19380110-0>

[19] By Bill Larkins - Hughes Lockheed 14H, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29357687>

11 – Junkers Ju 90 V1

Datum: 7. 2. 1938
Imatrikulace: D-AALU
C/n / msn: -
CS: EMACC
Kategorie: Bombardér
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: H-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: Nové prototyp
Počet obětí: Oběti: 1 / Pasažéři: 3
Typ: Nehoda



Obrázek 24 – Junkers Ju 90 V1 [20]

Během vysokorychlostních testů došlo k flutteru OP, což vedlo ke ztrátě kormidla. [20]

Zdroj:

[20] WINCHESTER, Jim. Ju-90 Development. *Ju-290 Home* [online]. 2004 [cit. 2021-6-8].
Dostupné z: <https://sites.google.com/site/junkersju290/home/development>

12 – Boeing S. 307 Stratoliner

Datum:	18. 3. 1939
Imatrikulace:	NX19901
C/n / msn:	1994
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru:	385 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	-
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Další testování za účelem vyřešení problému
Počet obětí:	Oběti: 10 / Pasažéři: 10
Typ:	Nehoda



Obrázek 25 – Boeing S. 307 Stratoliner [22]

Boeing S. 307 Stratoliner byl zničen během 19. testového letu. V průběhu zkušebního sestupu došlo k selhání VOP. [21]

Zdroj:

[21] *NX 19901: AIR SAFETY BOARD REPORT* [online]. [cit. <https://www.baaa-acro.com/sites/default/files/import/uploads/2015/05/NX199011.pdf>].

[22] NORRIS, Guy a Graham WARWICK. Top Technologies: 'Protecting the Pilot' to 'Keeping It Together'. *AVIATION WEEK* [online]. 6 May 2016 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://aviationweek.com/aerospace/top-technologies-protecting-pilot-keeping-it-together>

13 – A6M1 12-Shi

Datum:	11. 3. 1940
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlost:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 26 – A6M1 12-Shi [23]

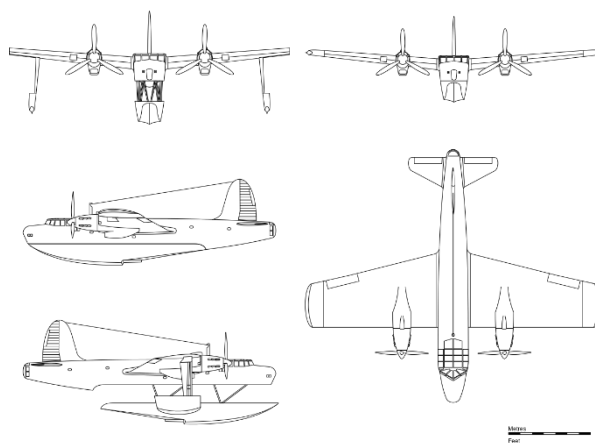
Nehoda byla způsobena během zkušebních letů, došlo k flutteru VOP s VK a následnému roztrhání letounu. [23]

Zdroj:

[23] D'ANGINA, James. *MITSUBISHI A6M ZERO* [online]. Great Britain: Osprey Publishing, 2016 [cit. 2021-6-8]. ISBN 978 1 4728 0823 6.

14 – Blackburn B-20

Datum:	7. 4. 1940
Imatrikulace:	V8914
C/n / msn:	-
CS:	CS-23
Kategorie:	Hydroplán
Typ flutteru:	Flutter křídélka
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Středoplošník
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Ukončení produkce
Počet obětí:	Oběti: 3 / Pasažéři: 5
Typ:	Nehoda



Obrázek 27 – Blackburn B-20 [25]

Letoun byl zničen během testu 7. dubna 1940, v průběhu letu se objevil flutter křídélka a posádka byla nucena letoun opustit. [24]

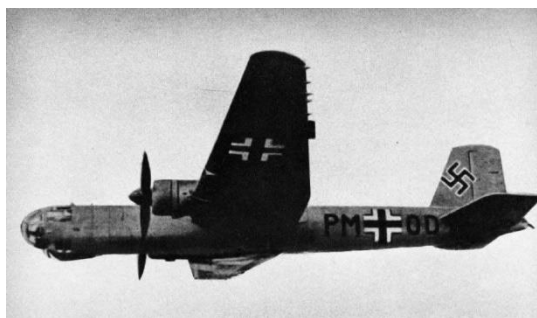
Zdroj:

[24] BORLAND, Craig. Eye on Millig: Three men died in 1940 flying boat tragedy. *Helensburgh Advertiser* [online]. 22.1.2020 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.helensburghadvertiser.co.uk/news/18177661.eye-millig-three-men-died-1940-flying-boat-tragedy/>

[25] By Emoscopes - Own work, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3812633>

15 – Heinkel He 177 V2

Datum:	27. 6. 1940
Imatrikulace:	CD+RQ
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Bombardér
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: 4 / Pasažéři: 4
Typ:	Nehoda



Obrázek 28 – Heinkel He 177 V5, podobný V2 [27]

Jedná se o druhý prototyp letounu He 177, už u prvního se lehce objevovaly vibrace v oblasti OP, ale to je nedonutilo změnit konstrukci u V2. Proto se 27. 6. 1940 z důvodu flutteru OP prototyp V2 zřítil. Řešením bylo rozšíření OP u dalších prototypů. [26]

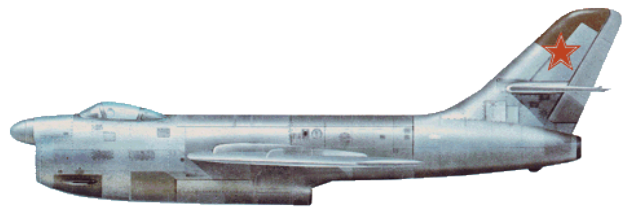
Zdroj:

[26] Griehl, Manfred and Joachim Dressel. *Heinkel He 177 - 277 - 274*. Shrewsbury, UK: Airlife Publishing 1998. ISBN 1-85310-364-0.

[27] By U.S. Navy - U.S. Navy Naval Aviation News 1 July 1943 [1], Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4902427>

16 – Sukhoi Su-15

Datum:	3. 6. 1949
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Několik flutterů
Rychlost flutteru:	817 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Transsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Středoplošník, křížové
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Ukončení produkce
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasážéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 29 – Sukhoi Su-15 [29]

Jednalo se o prototyp ruského stíhacího letounu, který měl zvládat létat za jakýchkoliv podmínek. Už v předchozích zkušebních letech se občas vyskytovaly vibrace při překročení rychlosti 0,87 Mach. Ale při jeho 39. vzletu se potýkal s velkým množstvím vibrací, což vedlo ke ztrátě kontroly a pilot byl nucen letoun opustit. Program byl následně ukončen. [28]

Zdroj:

[28] WRITER, Staff. Sukhoi Su-15 (Samolet P): Interceptor Aircraft Prototype (1949). *Military Factory* [online]. 21.6.2018 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z:

https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1590#specifications

[29] Sukhoi Su-15 (I). *All the World's Rotorcraft* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z:

<http://www.aviastar.org/air/russia/su-15-1.php>

17 – Northrop XF-89 Scorpion

Datum:	22.2.1950
Imatrikulace:	46-678
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Křížové
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasážéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 30 – druhý prototyp Northrop F-89A, podobný XF-89 [31]

Jedná se o první prototyp XF-89, který se zřítil po tom, co se objevil flutter OP a způsobil ulomení ocasu. Následkem bylo pozastavení výroby do doby, dokud se neprokážou příčiny. Řešením bylo pozměnění výfuků motoru a geometrie zadního trupu, které dohromady vytvářely turbulence, jež zapříčinily flutter, přidání závaží na vyrovnání. [30]

Zdroj:

[30] Blazer, Gerald and Mike Dario. *Northrop F-89 Scorpion*. Leicester, UK; Aerofax, 1993. ISBN 0-942548-45-0

[31] By USAF - U.S. Air Force photo [1] from the USAF Aeronautical Systems Center History Office [2], Public Domain,

18 – Mikoyan-Gurevich I-330 SI

Datum:	17. 3. 1950
Imatrikulace:	I-330 SI
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter VOP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Křížové
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 31 – Druhý prototyp Mikoyan-Gurevich I-330 SI 02, podobný prvnímu prototypu [32]

Je první prototyp pro Mikoyan-Gurevich MiG-17. V průběhu testových zkoušek se u něj vyskytl flutter VOP, následovalo jejich utržení, což zapříčinilo nekontrolovatelnou rotaci a pilot u toho zahynul. [32]

Zdroj:

[32] SWOPES, Bryan R. 14 January 1950. *THIS DAY IN AVIATION* [online]. c2017 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.thisdayinaviation.com/14-january-1950/>

19 – Hadley Page HP.88

Datum: 26. 8. 1951
Imatrikulace: VX330
C/n / msn: -
CS: EMACC
Kategorie: Vojenský letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: 860 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Transsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: T-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: Ukončení produkce
Počet obětí: Oběti: 1 / Pasažéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 32 – Hadley Page HP.88 [33]

Hadley Page HP.88 byl navržen za účelem testového letadla pro Hadley Page Victor V., avšak 26. srpna 1951 během vysokorychlostního testu se vlivem flutteru ve vzduchu roztrhl. [33]

Zdroj:

[33] Hadley Page HP.88 VX330. *Thunder and Lightnings* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.thunder-and-lightnings.co.uk/memorial/entry.php?id=213>

20 – Convair YB-60

Datum:	24. 6. 1952
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	49-2676
CS:	EMACC
Kategorie:	Bombardér
Typ flutteru:	Flutter trimovací plošky
Rychlost flutteru:	401 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Ukončení produkce
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Nehoda



Obrázek 33 – Convair YB-60 [35]

U prototypu se vyskytl flutter trimovací plošky během rychlosti letu 423 km/h. Pro druhý prototyp mělo dojít k změně, ale vzhledem k úspěchu Boeingu B-52 se od tohoto projektu upustilo a oba letouny byly rozebrány. [34]

Zdroj:

[34] Jenkins, Dennis R., "Eight-Engined Giant: Story of the Convair YB-60 Cold War Bomber", *Wings*, Woodland Hills, California, February 2005, Volume 35, Number 2, page 23.

[35] By USAF - National Museum of the U.S. Air Force photo 061102-F-1234P-001, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2455946>

21 – Boulton Paul P.120

Datum: 29. 8. 1952
Imatrikulace: VT951
C/n / msn: P.120/01
CS: EMACC
Kategorie: Vojenský letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Křížové
Materiál: Celokovová konstrukce
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: Ukončení produkce
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasážěři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 34 – Boulton Paul P.120 [37]

Sloužil jako testovací letoun za účel výzkumu delta křídel, tzn. křídel ve tvaru trojúhelníku. Poprvé vzlétl 6. srpna 1952 a na konci měsíce spadl z důvodu flutteru OP, který vedl ke ztrátě řízení. [36]

Zdroj:

[36] Rickard, J (12 June 2017), Boulton Paul P.120,
http://www.historyofwar.org/articles/weapons_boulton_paul_P120.html

[37] Boulton-Paul P.120: 1952. *All the World's Rotorcraft* [online]. [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: http://www.aviastar.org/air/england/boulton_p-120.php

22 – YF-100A

Datum:	1953
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	52-5754
CS:	EMACC
Kategorie:	Nadzvukový stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter VK
Rychlost flutteru:	1150 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Supersonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Nehoda



Obrázek 35 – Jeden ze dvou prototypů YF-100A [39]

První prototyp YF-100A, který předcházel úspěšnému typu F-100. Prototyp se ze začátku potýkal s flutterem VK, avšak neskončilo to nehodou. Problém se poté vyřešil přidáním hydraulických tlumičů VK. [38]

Zdroj:

[38] GARDNER, Thomas E. *F-100 Super Sabre at War*. Zenith Imprint, 2007. ISBN 9781616732585.

[39] Autor: USAF – <http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet.asp?id=2304>, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2150243>

23 – F-107

Datum:	1956
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Nadzvukový stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter SOP
Rychlost flutteru:	570 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Transsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Ukončení produkce
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Nehoda



Obrázek 36 – F-107 [41]

F-107 byl prototypem, který se vyvinul z předchůdce F-100, ale stejně jako on se potýkal s flutterem. Během testových zkoušek se u něj vyskytl flutter SOP. A nakonec byl projekt ukončen. [40]

Zdroj:

[40] RAMSEY, John K. *NASA Aeroelasticity Handbook: Volume 2: Design Guides Part 2*. Glenn Research Center, Cleveland, Ohio 44135, November 2006.

[41] Autor: USAF –

http://www.nationalmuseum.af.mil/factsheets/factsheet_media.asp?fsID=2318&page=2, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3453128>

24 – Folland Gnat

Datum:	31. 7. 1956
Imatrikulace:	G-39-2
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	1090 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Transsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasážéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 37 – Folland Gnat prototyp G-39-2 [43]

Během letových zkoušek v blízkosti flutterové rychlosti se objevil flutter OP v přibližně 0,91 Mach a způsobil oddělení ocasu. [42]

Zdroj:

[42] "Folland Gnat Lost". FLIGHT: 211. 10 August 1956.

[43] By Unknown author - Folland Aircraft Company, 1955 Christmas Card - from family archive, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53507353>

25 – Lockheed XF-104A Starfighter

Datum:	11. 7. 1957
Imatrikulace:	53-7786
C/n / msn:	083-1001
CS:	EMACC
Kategorie:	Nadzvukový stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	Transsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	T-OP
Materiál:	Slitiny hliníku, nerezová ocel
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Nové prototypy
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 38 – první prototyp Lockheed XF-104A [45]

Během zkušebního letu v průběhu pronásledování F-104A se u prototypu objevil nekontrolovatelný flutter OP. Pilot se ovšem bezpečně katapultoval. [44]

Zdroj:

[44] Pace, Steve. *F-104 Starfighter: Design, Development and Worldwide Operations of the First Operational Mach 2 Fighter*. St. Paul, Minnesota: Motorbooks International, 1992. ISBN 0-87938-608-8.

[45] By US Air Force - National Museum of the U.S. Air Force photo 060928-F-1234S-003; Transferred from en.wikipedia to Commons by Mike-tango using CommonsHelper. (see original commons file), Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62176138>

26 – UTX, potom T-39

Datum:	1958
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter VK
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Nehoda



Obrázek 39 – T-39A [46]

Během zkoušek se zjistil lehký flutter VK, který se lehce vyřešil aerodynamickým převážáním a přidáním flexibilních spojů za účelem další ochrany. [40]

Zdroj:

[40] RAMSEY, John K. *NASA Aeroelasticity Handbook: Volume 2: Design Guides Part 2*. Glenn Research Center, Cleveland, Ohio 44135, November 2006.

[46] By Alan Radecki Akradecki - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3069408>

27 – Lockheed L-188A Electra

Datum:	29. 9. 1959
Imatrikulace:	N9705C
C/n / msn:	1090
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Vrtulový flutter
Rychlost flutteru:	500 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Turbovrtulový letoun, dolnoplošník
Materiál:	-
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Úprava konstrukce, snížení návrhové rychlosti
Počet obětí:	Oběti: 34 / Pasažéři: 34
Typ:	Nehoda



Obrázek 40 – L-188A (PP-VJW) [48]

Vlivem vrtulového flutteru došlo k oddělení levého křídla, následovalo zničení VK v důsledku nárazu částí křídla. Během okamžiku došlo i k utržení pravého křídla a letadlo spadlo k zemi. [47]

Zdroj:

[47] *Aircraft Accident Report: BRANIFF AIRWAYS, LOCKHEED ELECTRA, N 97050, BUFFALO, TEXAS, SEPTEMBER 29, 1959* [online]. In: . 5 May 1961, s. 28 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/1959/19590929-0_L188_N9705C.pdf

[48] Autor: Clinton Groves – <http://www.airlinefan.com/airline-photos/1782551/Varig/Lockheed/L-188-Electra/PP-VJW/>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20203439>

28 – Lockheed L-188A Electra

Datum:	17. 3. 1960
Imatrikulace:	N121US
C/n / msn:	1057
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Vrtulový flutter
Rychlost flutteru:	500 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Turbovrtulový letoun, dolnoplošník
Materiál:	-
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Úprava konstrukce, snížení návrhové rychlosti
Počet obětí:	Oběti: 63 / Pasažéři: 63
Typ:	Nehoda



Obrázek 41 – L-188A (PP-VJW) [48]

Jedná o stejný typ dopravního letounu jako v předchozím případě. I v tomto případě se potýkal s vrtulovým flutterem. Během letu se vlivem flutteru oddělilo celé pravé křídlo a část levého křídla s křídélkem, následně bylo řízení letounu nekontrolovatelné a zřítel se. [49]

Zdroj:

[48] Autor: Clinton Groves – <http://www.airlinefan.com/airline-photos/1782551/Varig/Lockheed/L-188-Electra/PP-VJW/>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20203439>

[49] *Aircraft Accident Report: NORTHWEST AIRLINES LOCKHEED ELECTRA, N 121US, NEAR CANNELTON, INDIANA, MARCH 17, 1960* [online]. In: . 28 April 1961, s. 25 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/1960/19600317-0_L188_N121US.pdf

29 – XLF-114

Datum:	Listopad 1960
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	CS-22
Kategorie:	Kluzák
Typ flutteru:	Flutter SK
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasážéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 42 – VT-16 Orlík [51]

Kluzák s označením XLF-114 je prototypem pozdějšího kluzáku VT-16 Orlík. Během zkušebního letu ke konci roku 1960 došlo k utržení OP. Následnými zkouškami v aerodynamickém tunelu se určila jako příčina nehody flutter SK. [50]

Zdroj:

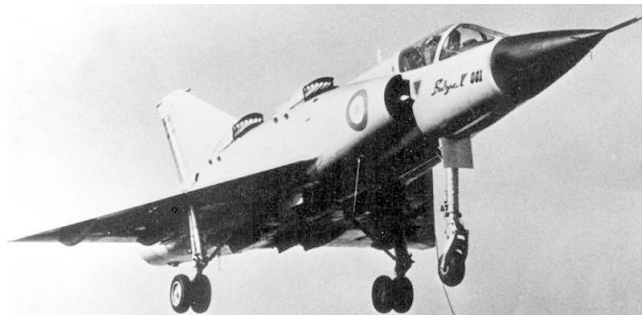
[50] Větroně M-16 Standart a VT-16 Orlík. *RC revue* [online]. 6/2014 [cit. 2021-6-9].

Dostupné z: <https://www.rcmodelyshop.cz/rcmodelyshop/eshop/27-1-Casopisy-RCrevue-cars-MHobby/-4-/5/3577-RC-REVUE-6-2014//description#anch1>

[51] By Jerry Gunner from Lincoln, UK - OK-3902 VT-16 Orlik at ChrudimUploaded by tm, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24979820>

30 – Dassault Balzac V

Datum:	10. 1. 1964
Imatrikulace:	001
C/n / msn:	001
CS:	EMACC
Kategorie:	Vojenský letoun
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Delta křídlo
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Ukončení produkce
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasážéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 43 – Dassault Balzac V [52]

Byl prototypem pro kolmý start a přistání. Během svislého sestupu se objevila nekontrolovatelná vibrace křídla, která vedla ke ztrátě kontroly. [52]

Zdroj:

[52] WRITER, Staff. Dassault Balzac V: Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Demonstrator (1962). *Military Factory* [online]. 2016 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1323#specifications

31 – OV-10

Datum:	1968
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Dvoutrupá koncepce
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: XX / Pasažéři: XX
Typ:	Nehoda



Obrázek 44 – OV-10A na lodi USS Nassau [53]

Během prvních tří let zažil letoun OV-10 třikrát flutter, proto bylo za potřebí tento problém vyřešit. Testy ukázaly, že frekvence během letu se neshodovaly s frekvencemi získanými z pozemního vibračního testu. Závěrem zjištění bylo přilnutí panelu u VK, kde se napojoval na SOP. [40]

Zdroj:

[40] RAMSEY, John K. *NASA Aeroelasticity Handbook: Volume 2: Design Guides Part 2*. Glenn Research Center, Cleveland, Ohio 44135, November 2006.

[53] Autor: PHAN Dougherty, USN – This media is available in the holdings of the National Archives and Records Administration, cataloged under the National Archives Identifier (NAID) 6430455., Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4697793>

32 – de Havilland Canada DHC-3 Otter

Datum: 11. 5. 1968

Imatrikulace: IM-1719

C/n / msn: 220

CS: CS-23

Kategorie: Civilní letoun

Typ flutteru: Flutter VK

Rychlost flutteru: -

Kategorie rychlosti: -

Frekvence flutteru: -

Konstrukce: Hornoplošník

Materiál: Celokovová konstrukce

Účel letu: Běžný provoz

Důsledek: -

Počet obětí: Oběti: 2 / Pasažéři: 2

Typ: Nehoda



Obrázek 45 – de Havilland Canada DHC-3 Otter [55]

Nehoda byla způsobena flutterem VK, který způsobil převrácení letadla na záda a zapříčinil utržení křídla, jež následně nárazem zničilo zadní část trupu a s ním i OP. [54]

Zdroj:

[54] C/n 220: IM-1719. *DHC-3 Otter Archive* [online]. c2015-2021 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://www.dhc-3archive.com/DHC-3_220.html

[55] CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=357704>

33 – Lockheed AH-56 Cheyenne

Datum:	12. 3. 1969
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	EMACC
Kategorie:	Helikoptéra
Typ flutteru:	Vrtulový flutter
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Helikoptéra
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasážéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 46 – Lockheed AH-56 Cheyenne [57]

Třetí prototyp Lockheed AH-56 Cheyenne se během zkušebního letu vystavil nečekané vibraci hlavního rotoru, což zapříčinilo naražení rotoru do ocasní části. [56]

Zdroj:

[56] TINGLEY, Brett a Tyler ROGOWAY. The Cheyenne Attack Helicopter. *The War Zone* [online]. 2 April 2021 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/40014/the-cheyenne-attack-helicopter-had-a-crazy-rotating-gunners-seat-right-out-of-star-wars>

[57] By William Pretrina - Lockheed AH-56 Cheyenne, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20671252>

34 – Boeing 747-131F

Datum:	9. 5. 1976
Imatrikulace:	5-8104
C/n / msn:	19677/73
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Dolnoplošník
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 17 / Pasažéři: 17
Typ:	Nehoda



Obrázek 47 – Boeing 747-131F [59]

Příčinou nehody byl flutter křídla, který se objevil krátce po úderu bleskem, což zapříčinilo deformaci konstrukce. Vlivem flutteru došlo k utržení levého křídla a následnému pádu letounu. [58]

Zdroj:

[58] *SPECIAL INVESTIGATION REPORT: WING FAILURE OF BOEING 747-131* [online]. In: . 1978, s. 40 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <http://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aircraft-accident-reports/AAR78-12.pdf>

[59] By Jon Proctor - Gallery page <https://www.jetphotos.com/photo/5947113Photo>
https://cdn.jetphotos.com/full/1/96482_1175088620.jpg, GFDL 1.2,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31472061>

35 – Dauntless D52

Datum:	25. 4. 1982
Imatrikulace:	N1422D
C/n / msn:	001
CS:	CS-22
Kategorie:	Kluzák
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutter:	230 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Středoplošník
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda

Během letové zkoušky došlo k flutteru křídla a následnému ulomení obou křídel. [60]

Zdroj:

[60] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001214X44623&AKey=1&RType=Summary&IType=FU>

36 – American Aerolights Eagle 2

Datum:	15. 9. 1983
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	400123
CS:	UL-2
Kategorie:	Ultra-light
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Hornoplošník
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 2 / Pasážéři: 2
Typ:	Nehoda

V průběhu letové zkoušky došlo k flutteru, což způsobilo ulomení pravého křídla a následnou nehodu. [61]

Zdroj:

[61] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001214X44623&AKey=1&RType=Summary&IType=FU>

37 – Ritz model A

Datum: 1. 7. 1984
Imatrikulace: -
C/n / msn: -
CS: UL-2
Kategorie: Ultra-light
Typ flutteru: Flutter křídlo – křídélko
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Hornoplošník
Materiál: Dřevo, ocel a hliník
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 1 / Pasážéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 48 – Ritz model A [63]

V průběhu letové zkoušky se objevil flutter křídélka následovaný flutterem křídla, což vedlo k utržení levého křídla a nehodě. [62]

Zdroj:

[62] Cliche, Andre: *Ultralight Aircraft Shopper's Guide* 8th Edition, page E-31. Cybair Limited Publishing, 2001. ISBN 0-9680628-1-4

[63] Ritz Standard A ultralight. *Light Sport Aircraft Pilot* [online]. June 16, 2021 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: http://www.lightsportaircraftpilot.com/ritz_parasol_ultralight/index.html

38 – Mike Stone Moni

Datum: 18. 8. 1985
Imatrikulace: N97MS
C/n / msn: -
CS: CS-23
Kategorie: Sportovní letoun
Typ flutteru: Panelový flutter
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Dolnoplošník, V-OP
Materiál: -
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 49 – Monnett Moni [65]

V průběhu letu došlo vlivem flutteru k oddělení krytu kabiny letadla, který vedl k nekontrolovatelným otáčkám.

Zdroj:

[64] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 2 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001214X37534&AKey=1&RType=Summary&IType=LA>

[65] By User:RadioFan, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30434333>

39 – Griffin Star-Lite

Datum:	5. 10. 1986
Imatrikulace:	N124PK
C/n / msn:	124
CS:	UL-2
Kategorie:	Ultra-light
Typ flutteru:	Flutter VK
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	-
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda

K flutteru VK došlo na základě úprav provedených na ovládání VK, to způsobilo selhání OP.
[66]

Zdroj:

[66] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001213X35003&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

40 – Beech A35

Datum: 27. 6. 1987
Imatrikulace: N255B
C/n / msn: D-1570
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter kormidla OP
Rychlost flutteru: 300 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 50 – Beech A35 [68]

V průběhu letu se objevil flutter kormidla na OP, zpomalením flutter přestal. [67]

Zdroj:

[67] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001213X31244&AKey=1&RType=Summary&IType=LA>

[68] *Bonanza A35. AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-a35/>

41 – Chappel Ratsrepus 300

Datum: 25. 5. 1988
Imatrikulace: N889HC
C/n / msn: 2
CS: UL-2
Kategorie: Ultra-light
Typ flutteru: Flutter křídlo – křídélko
Rychlost flutteru: 240 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Středoplošník
Materiál: -
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: Snížení návrhové rychlosti
Počet obětí: Oběti: 1 / Pasážéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 51 – Chappel Ratsrepus 300, N889HC [70]

Flutter levého křídélka a křídla způsobil následné utržení křídla, což vedlo k nehodě. [69]

Zdroj:

[69] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001213X25637&AKey=1&RType=Summary&IType=DE>

[70] *Pictures Of The Full Scale Ratsrepus: Harold Chappell's Ratsrepus, N889HC* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: http://www.acrodesigns.com/ratsrepus/Ratsrepus_Full_Scale.php

42 – Convair CV-580

Datum:	8.9.1989
Imatrikulace:	LN-PAA
C/n / msn:	56
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru:	376 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	-
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 55 / Pasažéři: 55
Typ:	Nehoda



Obrázek 52 – Convair CV-580 [72]

Vibrace se nejprve vyskytly na VK, postupně se vyvinuly ve flutter VOP i VK. Hlavní části ocasu selhaly, což zapříčinilo ztrátu kontroly nad řízením. Nakonec obě křídla selhala vlivem negativního přetížení a letoun skončil v moři. [71]

Zdroj:

[71] *REPORT ON THE CONVAIR 340/580 LN-PAA AIRCRAFT: ACCIDENT NORTH OF HIRTSHALS, DENMARK, ON SEPTEMBER 8, 1989* [online]. In: . únor 1993, s. 149 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/1989/19890908-0_CVLT_LN-PAA.pdf

[72] By Creator:Gary Watt - <http://www.airliners.net/photo/Partnair/Convair-580/1011379/L/>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=28625940>

43 – Beech A35

Datum: 14. 5. 1990
Imatrikulace: N511B
C/n / msn: D-1532
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasážéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 53 – Beech A35 [68]

Během letu se objevil flutter OP, který vedl ke značnému poškození zadního trupu letadla. Provedené testy ukázaly nadměrnou hmotnost OP, která byla způsobena nanesením nového nátěru před letem. [73]

Zdroj:

[68] Bonanza A35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-a35/>

[73] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 2 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X23231&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

44 – Beech 35

Datum: 16. 1. 1991
Imatrikulace: N3081V
C/n / msn: D-496
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter kormidla OP
Rychlost flutteru: 290 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 54 – Beech 35 [75]

Stejně jako v předchozím případě u tohoto typu letounu byl flutter způsoben špatnou statickou stabilitou kormidel. [74]

Zdroj:

[74] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X16380&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[75] Beechcraft 35 Bonanza. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/beechcraft-35-bonanza>

45 – Cessna 182A

Datum: 4. 5. 1991
Imatrikulace: N6172B
C/n / msn: 34172
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter dveří
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: -
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasážéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 55 – Cessna 182A [77]

Příčinou byla instalace neschválených dveří určených pro seskoky padákem. Flutter způsobil oddělení dveří, okna a čelního skla, což vedlo k neovladatelnosti letounu. Celá situace se udála v malé výšce, čímž pilot nehodu přežil. [76]

Zdroj:

[76] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X16999&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[77] By FlugKerl2 - Own work, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20462632>

46 – Beechcraft 1900C

Datum:	28. 12. 1991
Imatrikulace:	N811BE
C/n / msn:	UB-49
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Vrtulový flutter
Rychlost flutteru:	336-354 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	36 Hz
Konstrukce:	Dolnoplošník
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 3 / Pasažéři: 3
Typ:	Nehoda



Obrázek 56 – Beechcraft 1900C [79]

V petici z roku 1997 ALPA (Air Line Pilots Association) je uvedeno, že příčinou nehody byl vrtulový flutter na pravém motoru, což zapříčinilo utržení pravého motoru a části pravého křídla. Ty následně zničily pravé VK, čímž se letoun nahnul a havaroval. [78]

Zdroj:

[78] WALTERS, James M. a Steven D. GREEN, Airline Pilots Association. *Petition for Reconsideration of Probable Cause: Business Express, N811BE, SN UB-49 Block Island, Rhode Island December 28, 1991 Accident No. NYC-92-FA-053* [online]. In: . 25 June 1997, s. 32 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: <http://www.iprr.org/comps/PFRBE.html>

[79] By redlegsfan21 - Flickr, CC BY-SA 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=65985227>

47 – Beech 35

Datum: 18. 1. 1992
Imatrikulace: N3342V
C/n / msn: D-805
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 57 – Beech 35 [75]

Flutter OP byl podle následujících testů způsoben statickou nestabilitou kormidel. Opět nehodě předcházel nový nátěr letounu. [80]

Zdroj:

[75] Beechcraft 35 Bonanza. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/beechcraft-35-bonanza>

[80] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X13977&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

48 – Cessna 195

Datum: 10. 10. 1992
Imatrikulace: N4308V
C/n / msn: 7215
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter VK
Rychlost flutteru: 461 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Konvenční
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 1 / Pasážéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 58 – Cessna 195 [82]

Během letu se objevil flutter VK, který následoval oddělením VK od OP. Důsledkem toho bylo selhání křídel od negativního přetížení. [81]

Zdroj:

[81] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Data Summary* [online]. , 3 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X15926&AKey=1&RType=Summary&IType=FA>

[82] Autor: Billyhill – Vlastní dílo, CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16117710>

49 – Focke-Wulf Fw 190

Datum:	8. 6. 1994
Imatrikulace:	N25074
C/n / msn:	75
CS:	EMACC
Kategorie:	Stíhací letoun
Typ flutteru:	Flutter křídélka
Rychlost flutteru:	240 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Dolnoplošník
Materiál:	Celokovová konstrukce
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasážéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 59 – Focke-Wulf Fw 190 [84]

Příčinou nehody bylo špatné vyvážení křidélek, která během letu začala kmitat, což způsobilo následný flutter křídel a utržení pravého křídla. [83]

Zdroj:

[83] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001206X01618&AKey=1&RType=HTML&IType=LA>

[84] Autor: USAAF – National Museum of the U.S. Air Force photo 050602-F-1234P-005, Volné dílo, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1684849>

50 – Glen A. Senecal 5151

Datum: 29. 10. 1994
Imatrikulace: N5246G
C/n / msn: 13086849
CS: CS-23
Kategorie: Sportovní letoun
Typ flutteru: Flutter křídélka
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Dolnoplošník
Materiál: -
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ: Nehoda

Špatné vyvážení křidélek vedlo k jejich flutteru, který měl za následek oddělení kabelů z důvodu přetížení. [85]

Zdroj:

[85] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 5 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001206X02479&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

51 – Beech 35

Datum:	22. 2. 1996
Imatrikulace:	N3134V
C/n / msn:	D-566
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter OP
Rychlost flutteru:	210 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	V-OP
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Incident



Obrázek 60 – Beech 35 [75]

Během sestupu se vyskytl flutter OP, snížením výkonu motoru flutter zmizel. Stejně jako u předchozích incidentů tohoto typu letounu se problém objevil po aplikaci nového nátěru na OP. [86]

Zdroj:

[75] Beechcraft 35 Bonanza. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/beechcraft-35-bonanza>

[86] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X05220&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

52 – Beech B35

Datum:	23. 6. 1996
Imatrikulace:	N5001C
C/n / msn:	D2263
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter kormidla OP
Rychlost flutteru:	220 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	V-OP
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Incident



Obrázek 61 – Beech B35 [88]

Po lehké turbulenci nastal flutter kormidel OP, který přestal po snížení rychlosti. Po inspekci se zjistil problém se špatným seřízením kormidel. [87]

Zdroj:

[87] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X05946&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

[88] By Alan Radecki Akradecki - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3177366>

53 – Glass Goose

Datum:	2. 8. 1996
Imatrikulace:	N96GG
C/n / msn:	1002
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter křídélka
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Dvouplošník
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 62 – Glass Goose [90]

Vlivem flutteru letoun přišel o pravé horní křídélko, což vedlo k prasknutí palivové nádrže a postupné ztráty výšky. Těsně před nouzovým přistáním vyřadil motor provoz, do té doby byl letoun ovladatelný. Pozdějším přezkoumáním se za příčinu flutteru určilo špatné vyvážení křídélek. [89]

Zdroj:

[89] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 5 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X06487&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

[90] Quikkit Glass Goose. *FANDOM* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

https://aircraft.fandom.com/wiki/Quikkit_Glass_Goose

54 – Grob G-115D

Datum: 24. 8. 1996
Imatrikulace: N234VW
C/n / msn: 820101D
CS: CS-23
Kategorie: Sportovní letoun
Typ flutteru: Flutter SK
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Konvenční
Materiál: Kompozit
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ: Nehoda



Obrázek 63 – Grob G-115D [92]

Příčinou nehody bylo podle následného vyšetření špatně vyvážená kormidla, která vedla k flutteru SK a rozpadnutí letounu během letu. [91]

Zdroj:

[91] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001208X06414&AKey=1&RType=Final&IType=FA>

[92] G-BVHE - 1994 GROB G115D 2 HERON. *AIRCRAFT.COM* [online]. [cit. 2021-6-16].

Dostupné z: <https://www.aircraft.com/aircraft/1403985/g-bvhe-1994-grob-g115d-2-heron>

55 – Beech B35

Datum: 13. 4. 1998
Imatrikulace: N5246C
C/n / msn: D-2638
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: Snížení návrhové rychlosti
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 64 – Beech B35 [88]

V průběhu letu se vyskytl flutter OP, kterou poškodil. Na základě už několikátého incidentu u tohoto typu letounu FAA nařídilo snížení rychlosti na 230 km/h pro modely Beech 35, A35 a B35. [93]

Zdroj:

[88] By Alan Radecki Akradecki - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3177366>

[93] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 11 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X09820&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

56 – Mooney M20K

Datum: 5. 5. 1998
Imatrikulace: N234BY
C/n / msn: 25-0115
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter VK
Rychlost flutteru: 390 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Konvenční
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 1 / Pasážéři: 1
Typ: Nehoda



Obrázek 65 – Mooney M20K [95]

Překročení dovolené rychlosti během sestupu vedlo k flutteru VK a jejich ztrátě. Na základě toho se nos naklonil směrem k zemi a vlivem negativního přetížení se křídla ulomila. [94]

Zdroj:

[94] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 9 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001211X10119&AKey=1&RType=Final&IType=FA>

[95] 1979 MOONEY M20K 231. *Controller* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://www.controller.com/listing/for-sale/204056235/1979-mooney-m20k-231-piston-single-aircraft>

57 – Beech F35

Datum: 7. 5. 2000
Imatrikulace: N35WK
C/n / msn: D4366
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: 305 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -



Obrázek 66 – Beech F35 [97]

V průběhu letu se objevil flutter OP, který trval přibližně 5 sekund a zmizel po tom, co letoun zpomalil. [96]

Zdroj:

[96] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20001212X21055&AKey=1&RType=Final&IType=FA>

[97] Bonanza F35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-f35/>

58 – Velocity XL-FG

Datum:	3. 2. 2001
Imatrikulace:	N658SE
C/n / msn:	3FX-017
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter winglet – SK
Rychlost flutteru:	252 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Středoplošník
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 67 – Velocity XL-FG [99]

Během prvního zkušebního letu pilot upozoroval flutter levého wingletu, po aplikaci levého SK flutter poněkud ustoupil, ale přidáním pravého SK se naopak zvětšil. Pilot byl nucen k nouzovému přistání. Po prozkoumání letounu byly zjištěny chyby v kompozitové konstrukci křídel a špatné technice lepení kovových částí na kompozitová vlákna. [98]

Zdroj:

[98] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20010207X00410&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

[99] By Amillin - Own work, CC BY-SA 4.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=46940498>

59 – Rutan VariEze

Datum: 20. 7. 2001
Imatrikulace: N25063
C/n / msn: MM320
CS: UL-2
Kategorie: Ultra-light
Typ flutteru: Flutter VK
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Středoplošník
Materiál: Kompozit
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 2 / Pasážéři: 2
Typ: Nehoda



Obrázek 68 – VariEze [101]

Nehoda byla způsobena špatným vyvážením VK, což vedlo k flutteru VK a oddělení pravého VK od křídla. [100]

Zdroj:

[100] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 7 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20010803X01603&AKey=1&RType=Final&IType=FA>

[101] By Stephen Kearney - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15615582>

60 – Beech F35

Datum: 24. 3. 2002
Imatrikulace: N4257B
C/n / msn: D-4234
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter kormidla OP
Rychlost flutteru: 263 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 69 – Beech F35 [97]

Flutter kormidel OP byl způsobený špatným vyvážením kormidel, což vedlo k strukturálnímu poškození zadní části trupu. [102]

Zdroj:

[97] Bonanza F35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-f35/>

[102] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20020502X00616&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

61 – Beech G35

Datum: 21. 6. 2002
Imatrikulace: N4647D
C/n / msn: D-4803
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter OP
Rychlost flutteru: 320 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 70 – Beech G35 [104]

Během sestupu se po turbulenci vyskytl flutter OP, po snížení rychlosti flutter ustoupil. V průběhu prohlídky na zemi se zjistilo poškození zadní části trupu. [103]

Zdroj:

[103] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 8 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20020702X01031&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

[104] *Bonanza G35. AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-g35/>

62 – de Havilland Canada DHC-2 Beaver

Datum: 7. 3. 2005
Imatrikulace: N3307S
C/n / msn: 1092
CS: CS-23
Kategorie: Hydroplán
Typ flutteru: Flutter křídélka
Rychlost flutteru: -
Kategorie rychlosti: -
Frekvence flutteru: 8,3 Hz
Konstrukce: Hornoplošník
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 71 – de Havilland Canada DHC-2 Beaver [106]

Flutter křídélek se v průběhu letu objevil z důvodu špatné údržby a vyvážení křidel. Už v roce 1980 vydala FAA směrnici, která vyžadovala inspekci křidel, nosníků a vyvážení křídélek. [105]

Zdroj:

[105] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20050314X00308&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

[106] By Robert Frola - Flickr, GFDL,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32394810>

63 – Beech G35

Datum: 7. 10. 2005
Imatrikulace: N4647D
C/n / msn: D-4803
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter kormidla OP
Rychlost flutteru: 360 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: V-OP
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 72 – Beech G35 [104]

Flutter kormidla OP se objevil v průběhu sestupu, po snížení rychlosti a úhlu klesání flutter vymizel. Podle radaru se letoun pohyboval nad maximální dovolenou rychlostí letu. [107]

Zdroj:

[104] Bonanza G35. *AMERICAN BONANZA SOCIETY* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.bonanza.org/aircraft-index/browse-by-type/bonanza/bonanza-g35/>

[107] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20051109X01818&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

64 – M-7 “Ornis”

Datum:	květen 2006
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	UL-2
Kategorie:	Ultra-light
Typ flutteru:	Flutter křídélka
Rychlost flutteru:	165 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	nad 17,2 Hz
Konstrukce:	Hornoplošník
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 73 – M-7 "Ornis" [108]

Během letu se utrhly obě křídélka a s nimi jedno křídlo. Podle následného přezkoumání byla křídélka staticky nevyvážena a ležela za osou závěsu. Dále na nich bylo přidáno závaží, které snížilo výslednou frekvenci křídélka, což posunulo těžiště ještě dál za osu závěsu. [108]

Zdroj:

[108] ČEČRDLE, Jiří. *ASSESSMENT OF AILERON TAB INSTALLATION INFLUENCE TO ULTRA-LIGHT AIRCRAFT FLUTTER CHARACTERISTICS*. Svratka, Czech Republic: ENGINEERING MECHANICS 2010, May 10 - 13, 2010.

65 – L-164

Datum: 11. 9. 2006
Imatrikulace: N2627J
C/n / msn: CA004-90
CS: CS-23
Kategorie: Civilní letoun
Typ flutteru: Flutter křídélka
Rychlost flutteru: 220 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Hornoplošník
Materiál: Slitiny hliníku
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: - / Pasažéři: -
Typ: Incident



Obrázek 74 – L-164 [110]

Flutter křídélek byl dle následného vyšetření způsoben špatnou instalací držáku křídélek ze strany stavitele. [109]

Zdroj:

[109] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 7 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:

<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20060927X01410&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

[110] C-GFXR - 2006 BUSHCADDY L164. *AIRCRAFT.COM* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aircraft.com/aircraft/1385831/c-gfxr-2006-bushcaddy-l164>

66 – Windward OWL

Datum: 18. 10. 2006
Imatrikulace: N401MS
C/n / msn: 001
CS: CS-22
Kategorie: Kluzák
Typ flutteru: Flutter křídla
Rychlost flutteru: 323 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Středoplošník
Materiál: -
Účel letu: Letové zkoušky
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 0 / Pasažéři: 1
Typ: Nehoda

V průběhu testovacích letů došlo k utržení křídel vlivem flutteru. Podle následného zjištění pilot překročil maximální konstrukční rychlost letadla. [111]

Zdroj:

[111] *National Transportation Safety Board Aviation Accident Final Report* [online]. , 6 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z:
<https://app.nts.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20061030X01573&AKey=1&RType=Final&IType=LA>

67 Grob G. 180A SPn

Datum:	29. 11. 2006
Imatrikulace:	D-CGSP
C/n / msn:	90002
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter SK
Rychlost flutteru:	478 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Křížové
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Letové zkoušky
Důsledky:	Úprava konstrukce
Počet obětí:	Oběti: 1 / Pasažéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 75 – Grob G 180 SPn [113]

Druhý prototyp Grob SPn byl zničen během ukázkového letu 29. listopadu 2006. Po analýze došlo k závěru, že příčinou nehody byl flutter SK, který se následně utrhl. Pravděpodobná rychlost letu se stanovuje mezi 445-500 km/h, kde u rychlosti nad 484 km/h je pravděpodobnost výskytu flutteru větší jak 0 %. [112]

Zdroj:

[112] *Investigation Report* [online]. In: . Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, April 2010, s. 41 [cit. 2021-6-8]. Dostupné z: https://reports.aviation-safety.net/2006/20061129-0_GSPN_D-CGSP.pdf

[113] Autor: Juergen Lehle – Vlastní dílo (See also AlbSpotter Flugzeugbilder Aircraft Photos), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=796371>

68 – UFM 13 Lambáda

Datum:	21. 3. 2009
Imatrikulace:	OK-NUA 09
C/n / msn:	-
CS:	UL-2
Kategorie:	Ultra-light
Typ flutteru:	Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru:	170 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	nad 9,4 Hz
Konstrukce:	T-OP
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Snížení návrhové rychlosti
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasážéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 76 – UFM 13 Lambáda [115]

Příčinou nehody byl flutter VOP, jenž způsobil nežádoucí reakci do trupu, který vzápětí vedl k jeho destrukci. [114]

Zdroj:

[114] ODBORNÉ ZJIŠŤOVÁNÍ PŘÍČIN MOŽNOSTI POŠKOZENÍ OCASNÍ ČÁSTI LETOUNU OK-NUA 09 "UFM-13 LAMBADA" VÝSKYTEM FLUTTERU: *Technická zpráva*. FS, ČVUT v Praze 2009, 51 s.

[115] By Sergey Ryabtsev - <http://www.airliners.net/photo/Urban-Air-UFM-13/1230238/&sid=ed9134fba15ada7fbca40144a33663a9>, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16632333>

69 – UFM 13 Lambáda

Datum:	23. 6. 2009
Imatrikulace:	N17UA
C/n / msn:	113/13
CS:	UL-2
Kategorie:	Ultra-light
Typ flutteru:	Flutter VOP – VK
Rychlost flutteru:	190 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	T-OP
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Snížení návrhové rychlosti
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasážéři: 1
Typ:	Nehoda



Obrázek 77 – UFM 13 Lambáda (jiný pohled) [117]

Stejně jako v předchozím případě se jednalo o fluttery VOP a VK, které měly za následek ulomení OP, která poté zůstala viset za ovládací kabely a trubky. Pilot uvolnil záchranný padák a s letounem přistál na zem. [116]

Zdroj:

[116] ASN Wikibase Occurrence # 65937. *Aviation Safety Network* [online]. 24 June 2009 [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/wikibase/65937>

[117] Lambada UFM 13. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-9]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/ultralighty/lambda-ufm-13>

70 – VL-3 Flamingo

Datum: 29. 5. 2010
Imatrikulace: ZU-VDW
C/n / msn: 30
CS: UL-2
Kategorie: Ultra-light
Typ flutteru: Flutter křídlo – křídélko
Rychlost flutteru: 320 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti: Subsonická
Frekvence flutteru: -
Konstrukce: Dolnoplošník
Materiál: Kompozit
Účel letu: Běžný provoz
Důsledek: -
Počet obětí: Oběti: 2 / Pasažéři: 2
Typ: Nehoda



Obrázek 78 – AVEKO VL-3 Flamingo [119]

Příčina nehody se přisuzuje flutteru křídla, která byla způsobena nepřiměřenou rychlostí nad povolenou hranicí. [118]

Zdroj:

[118] *AIRCRAFT ACCIDENT REPORT AND EXECUTIVE SUMMARY: Form Number: CA 12-12a* [online]. [cit. 2021-6-9]. Dostupné z:

<http://www.caa.co.za/Accidents%20and%20Incidents%20Reports/8789.pdf>

[119] *AVEKO VL-3 Flamingo (F-JUQG)* [online]. 2020 [cit. 2021-6-9]. Dostupné z:

[https://flightaware.com/photos/view/9908277-](https://flightaware.com/photos/view/9908277-f851fff14001a33d6277b20e30b2ff9b2a5a77e4/aircrafttype/VL3)

[f851fff14001a33d6277b20e30b2ff9b2a5a77e4/aircrafttype/VL3](https://flightaware.com/photos/view/9908277-f851fff14001a33d6277b20e30b2ff9b2a5a77e4/aircrafttype/VL3)

71 – BAe 125-800

Datum:	Duben 2012
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter křídla
Rychlost flutteru:	400 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Subsonická
Frekvence flutteru:	3 Hz
Konstrukce:	Dolnoplošník
Materiál:	Slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný let
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Incident



Obrázek 79 – BAe 125-800B [121]

Ve výšce 12 000 metrů došlo po lehké turbulenci k flutteru křídla, po sestupu do 9 800 metrů a snížení rychlosti z 0,76 Mach na 0,7 Mach vibrace přestaly. Podobné události se vyskytly i u dalších modelů. [120]

Zdroj:

[120] ACN: 988543. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO

[121] Autor: Peter Bakema – Photo

<http://www.planepictures.net/a/51/42/1154250267.jpg>Gallery page

<http://www.planepictures.net/netshow.php?id=1154250267>, GFDL 1.2,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31213829>

72 – B737-800

Datum:	Červenec 2013
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Flutter VK
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	3 Hz
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Kompozit, slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Incident



Obrázek 80 – B737-800 [123]

Zpráva z incidentu hlásila výskyt flutteru VK při stoupání, kdy kormidlo bylo zatíženo. Při držení výšky letu flutter nebyl přítomný. Z bezpečnostních důvodů se letadlo vrátilo na letiště. [122]

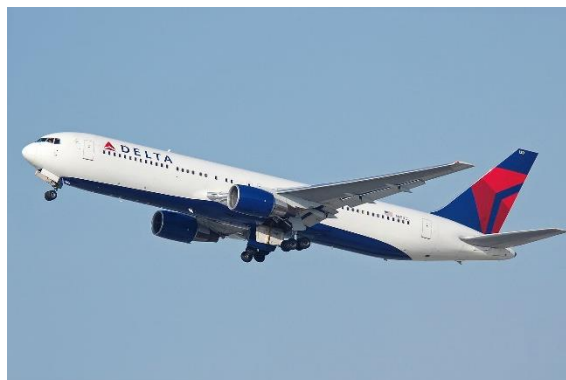
Zdroj:

[122] ACN: 1334379. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO

[123] Autor: Curimedia – Boeing 737-8AS Ryanair, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23488548>

73 – B767-300

Datum:	Srpen 2016
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	CS-25
Kategorie:	Civilní dopravní letoun
Typ flutteru:	Flutter VK
Rychlost flutteru:	483 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Transsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Konvenční
Materiál:	Kompozit a slitiny hliníku
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Incident



Obrázek 81 – B767-300 [125]

Během stoupání do výšky 7 600 metrů se objevil flutter VK. Z důvodu bezpečnosti letadlo nepokračovalo v letu a vrátilo se zpět. [124]

Zdroj:

[124] ACN: 1378801. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO

[125] Autor: Delta_Air_Lines_B767-300_N130DL.jpg: Richard Snyder from San Jose, CA, United States of Americaderivative work: Altair78 (talk) – Delta_Air_Lines_B767-300_N130DL.jpg, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15999911>

74 – Cessna CitationJet

Datum:	prosinec 2018
Imatrikulace:	-
C/n / msn:	-
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter křídélka
Rychlost flutteru:	493 km/h (EAS)
Kategorie rychlosti:	Transsonická
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Dolnoplošník
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	Výměna křídélka
Počet obětí:	Oběti: - / Pasažéři: -
Typ:	Incident



Obrázek 82 – Cessna CitationJet [127]

Při rychlosti letu 493 km/h (EAS) se vyskytl flutter levého křídélka, pro bezpečnost pilot snížil rychlost. Během inspekce na zemi se zjistil špatný náhon trimu křidélek. [126]

Zdroj:

[126] ACN: 1601672. *Aviation Safety Reporting System* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: https://akama.arc.nasa.gov/ASRSDBOnline/QueryWizard_Display.aspx?server=ASRSO

[127] By bomberpilot - DSC_4192Uploaded by High Contrast, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26686375>

75 – Cirrus SR20

Datum:	2. 5. 2019
Imatrikulace:	N8160C
C/n / msn:	-
CS:	CS-23
Kategorie:	Civilní letoun
Typ flutteru:	Flutter křídélka
Rychlost flutteru:	-
Kategorie rychlosti:	-
Frekvence flutteru:	-
Konstrukce:	Dolnoplošník
Materiál:	Kompozit
Účel letu:	Běžný provoz
Důsledek:	-
Počet obětí:	Oběti: 0 / Pasažéři: 2
Typ:	Nehoda



Obrázek 83 – Cirrus SR20 [129]

Během sestupu, při chystání se na přistání, došlo k flutteru pravého křídélka, které se následně oddělilo od křídla. Přes jeho ztrátu měl pilot letoun pod kontrolou a podařilo se přistát. [128]

Zdroj:

[128] Cirrus SR20, N8160C: Accident occurred May 02, 2019 at Mineral Wells Airport (KMWL), Texas. *KATHRYN'S REPORT* [online]. SEPTEMBER 15, 2019 [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <http://www.kathrynsreport.com/2019/09/cirrus-sr20-n8160c-accident-occurred.html>

[129] Cirrus SR20. *AeroWeb* [online]. [cit. 2021-6-16]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/letadla/letouny/cirrus-sr20>