

# ANALÝZA VLIVU PILOTA NA MODÁLNÍ PARAMETRY SOUSTAVY ŘÍZENÍ LEHKÉ LETECKÉ KONSTRUKCE

Autor: Ing. Tomáš Sommer  
 Studijní program: Strojní inženýrství  
 Obor studia: Dopravní stroje a zařízení

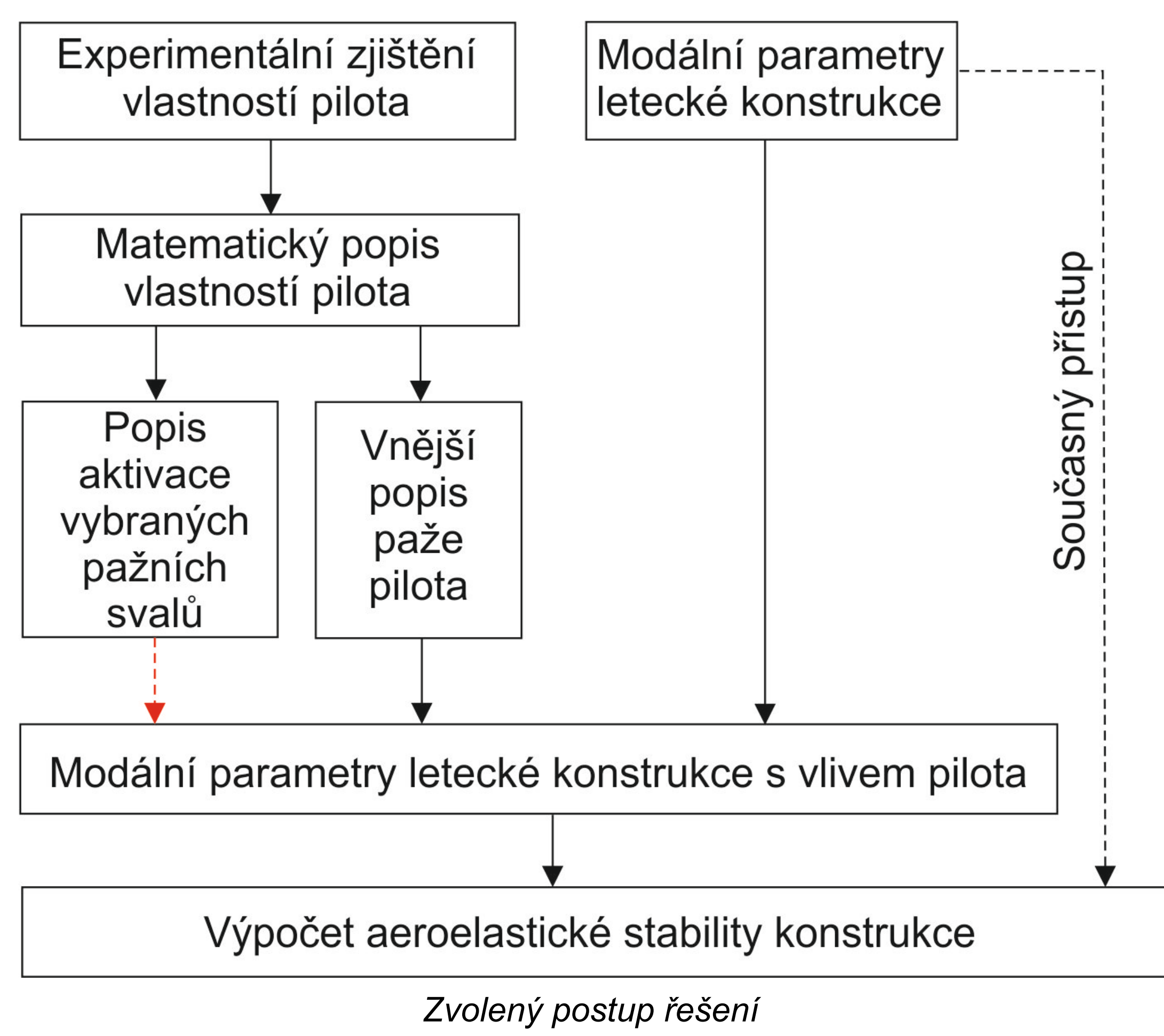
Školitel: Doc. Ing. Svatomír Slavík Csc.  
 Školitel specialista: Ing. Pavel Steinbauer Ph.D  
 Školitel specialista: Ing. Miloslav Vilímek Ph.D

**Motivace** Výpočty flutterové odolnosti malých sportovních letounů se omezují pouze na definování kritických rychlostí flutteru čistě vlastnostmi konstrukce. Při výpočtech se neřeší problematika ovlivnění modálních parametrů konstrukce pilotem, konkrétně rukou pilota, která je po dobu letu v kontaktu s řídicí pákou a ovlivňuje tak vlastnosti primárních mechanických tras řízení. V kategorii ultralight jsou náchylné ke vzniku flutteru hlavně vodorovné ocasní plochy, z tohoto důvodu byla práce zaměřena na popis vlivu pilota na podélnou trasu řízení.

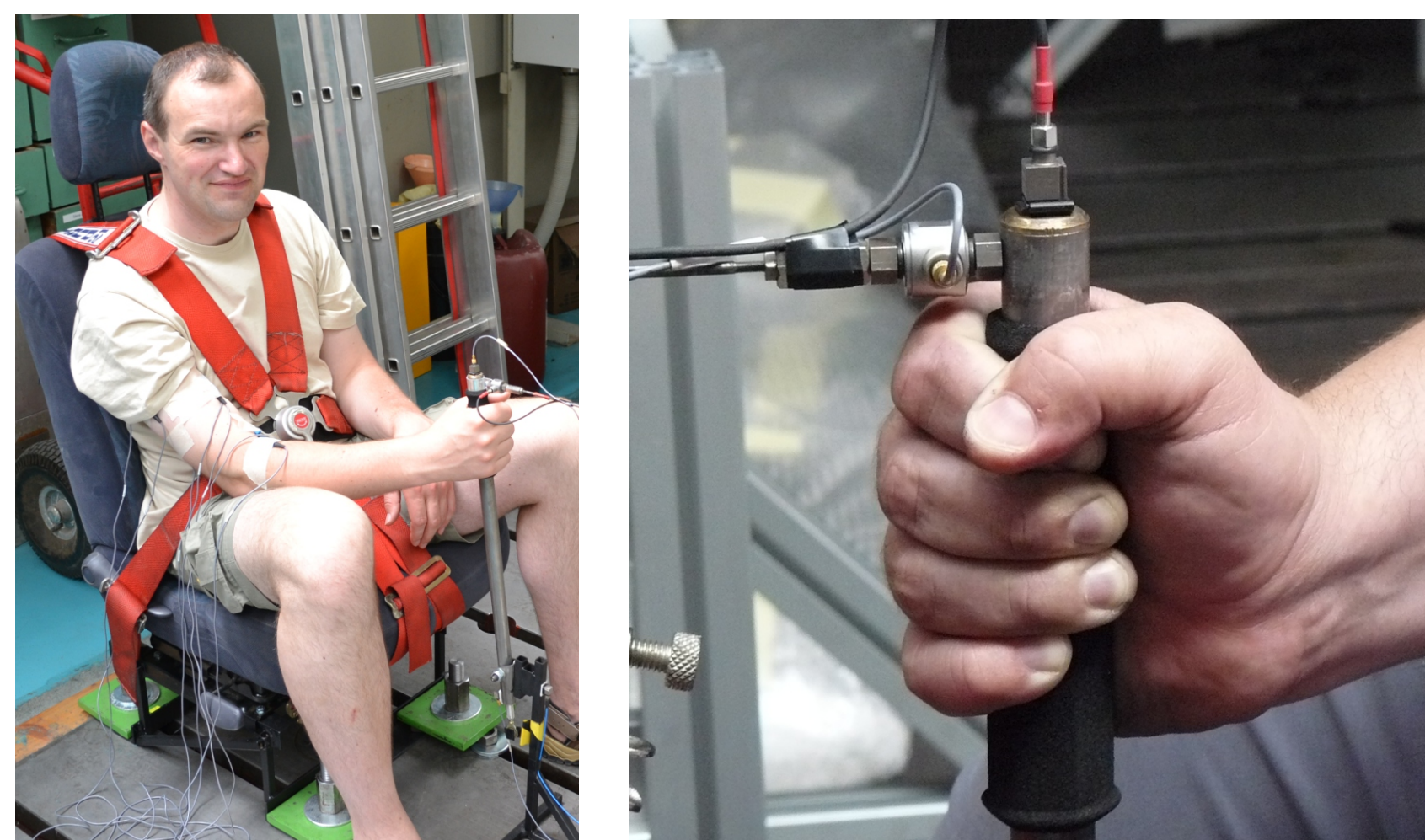


Nehoda způsobená flutterem T ocasních ploch letounu UFM-13 Lambda

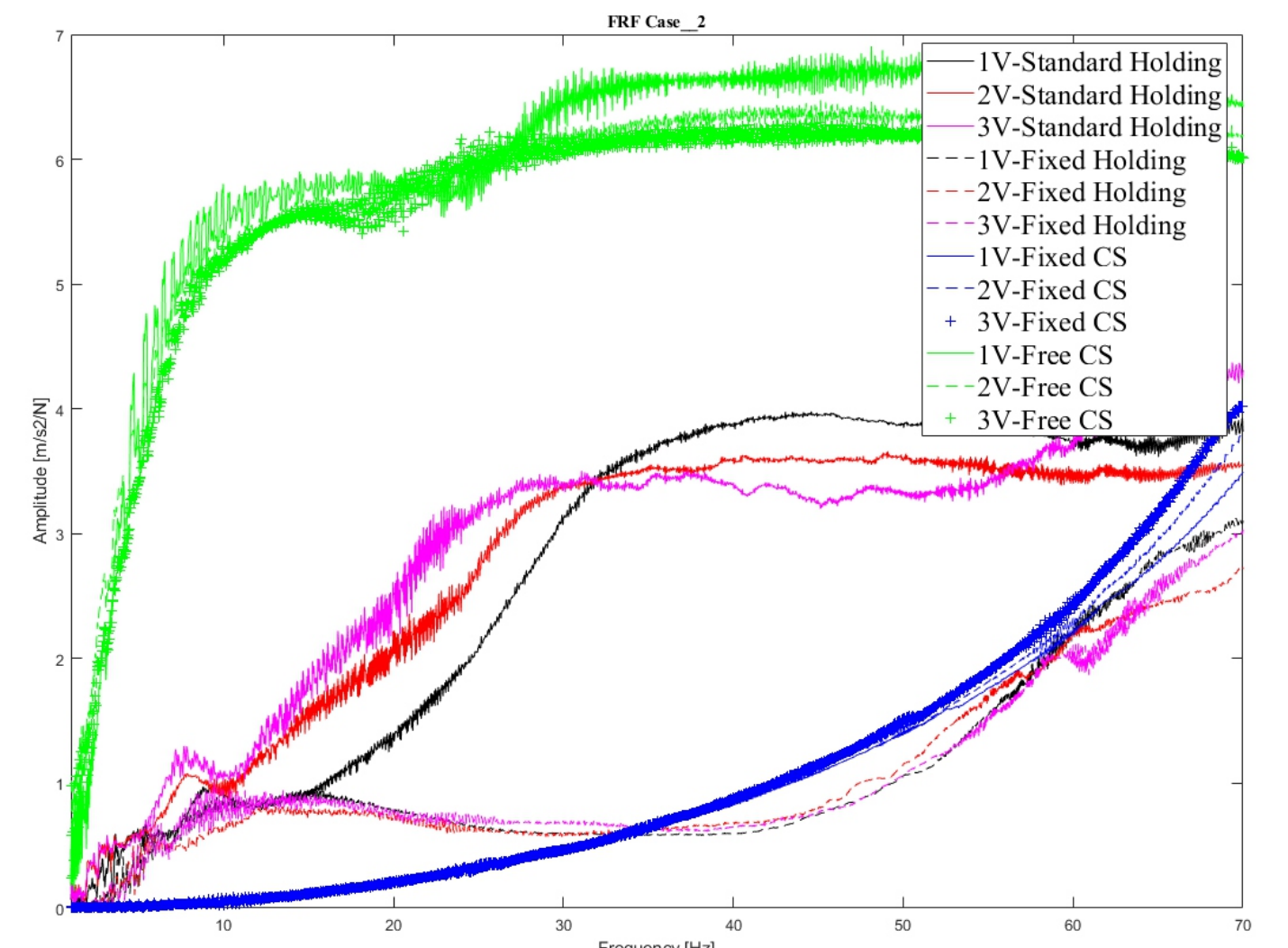
**Cíle** 1.) Prokázat vliv pilota na dynamickou stabilitu konstrukce letounu.  
 2.) Návrh inovace zkušební metodiky pozemních frekvenčních zkoušek dynamické stability UL letounů.



**Experiment** byl proveden v laboratorních podmínkách s předpokladem absolutně tuhé řídicí páky. Byly zjišťovány odezvové parametry pilotovy ruky a úrovně svalové aktivace sedmi pažních svalů. Experiment zahrnoval měření vlastností při úchopu simulujícím běžný let a pevném úchopu, při kterém se pilot snažil potlačit vynucené kmitání řídicí páky.

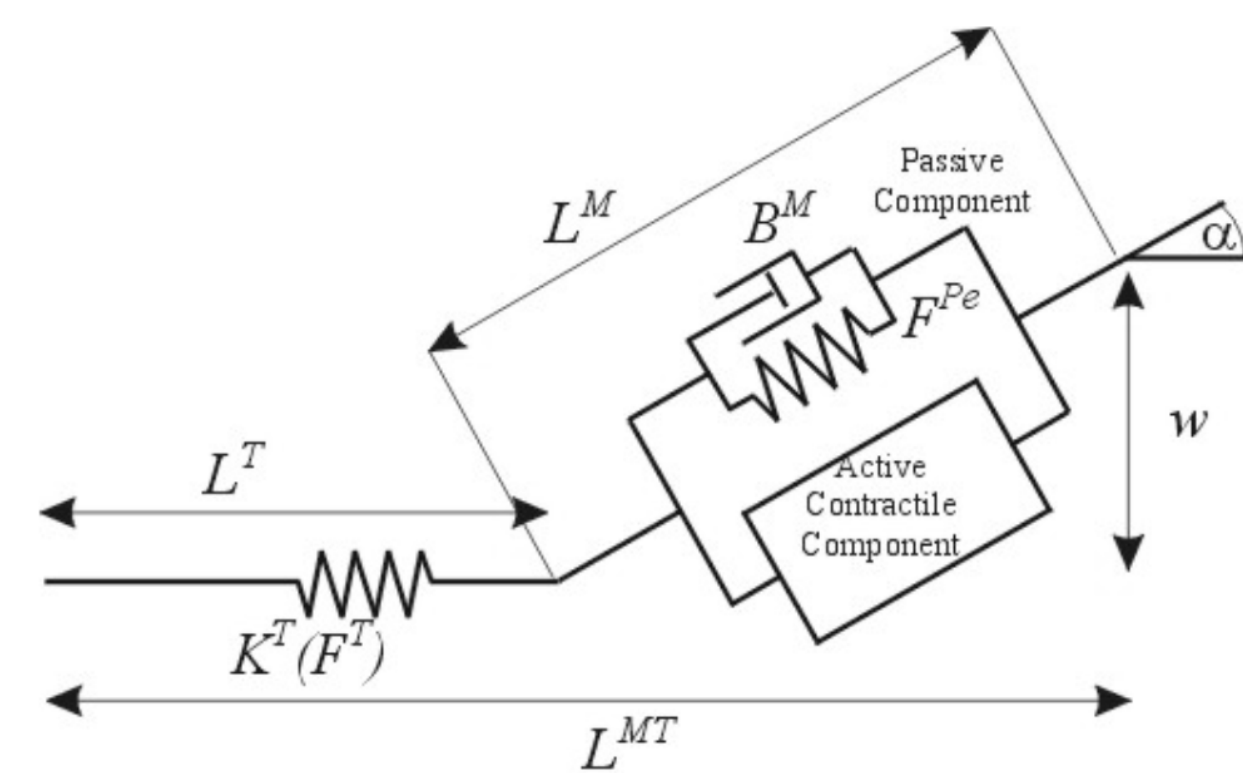


Uspořádání experimentu v laboratorních podmínkách, detail na zápěstí pilota



Naměřené přenosové funkce volné, blokové řídicí páky a vlastností pilota

**Hillův reversní model** Svalové aktivity byly nejen měřeny, ale i stanoveny na základě výpočtu Hillova reversního modelu. Svalová aktivita byla počítána pomocí optimalizace minimalizace svalové aktivační úrovně ve druhé mocnině.



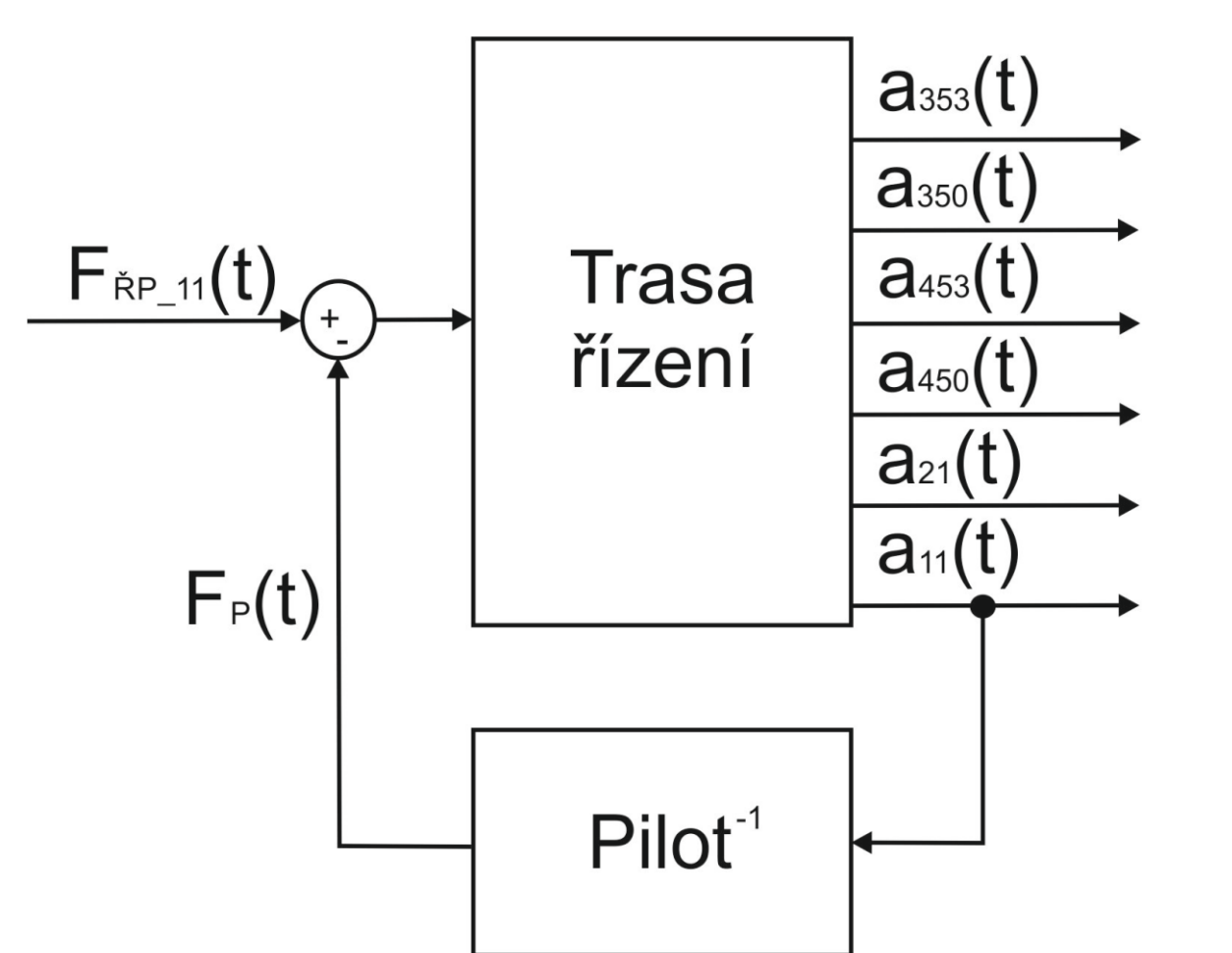
Hillův svalový model

## Vnější popis pilota

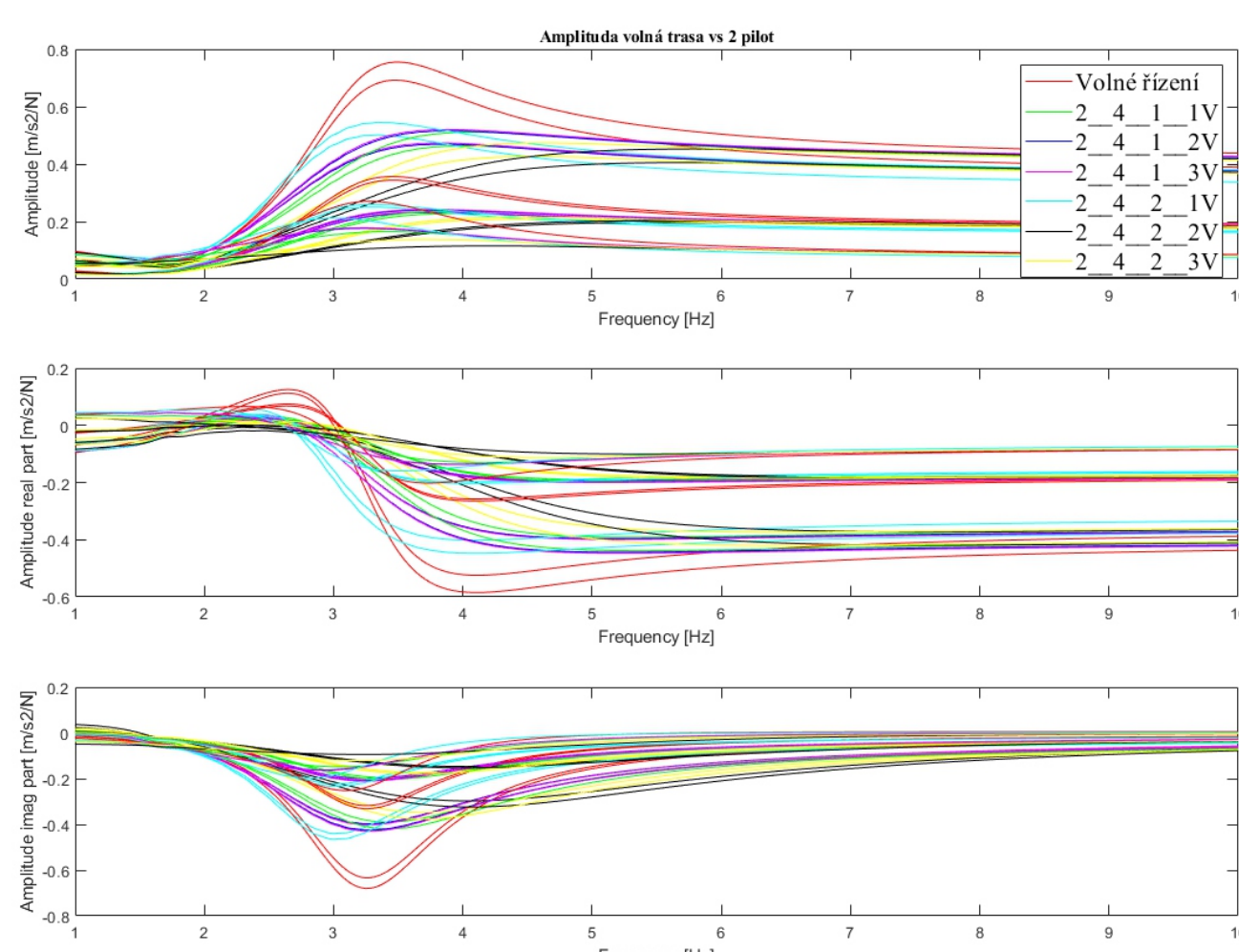
Pro matematický popis pilota byla využita data získaná experimentem. Matematický model pilota byl vypracován v rozsahu od 1 do 70 Hz s využitím stavového systému.

## Simulace vlivu pilota

Vliv pilota byl aplikován na leteckou konstrukci s podélnou mechanickou trasou řízení. Propojení systémů proběhlo pomocí záporné zpětné vazby. Změněné modální parametry slouží jako vstupní data pro výpočet flutterové odolnosti.



Zpětnovazební propojení systémů



FRF volné trasy řízení a s vlivem pilota

## Výsledky práce a její přínos

Stanoveny kritické rychlosti flutteru pro ocasní plochy konstrukce s vlivem pilota. Výsledky práce poukazují na zásadní vliv pilota na symetrické tvary kmitání, dominantní vliv byl zjištěn u 1. vlastní frekvence trasy řízení.

Byla stanovena inovace metodiky pozemních frekvenčních zkoušek pro možnou aplikaci vlivu pilota pro následující aeroelastické výpočty.

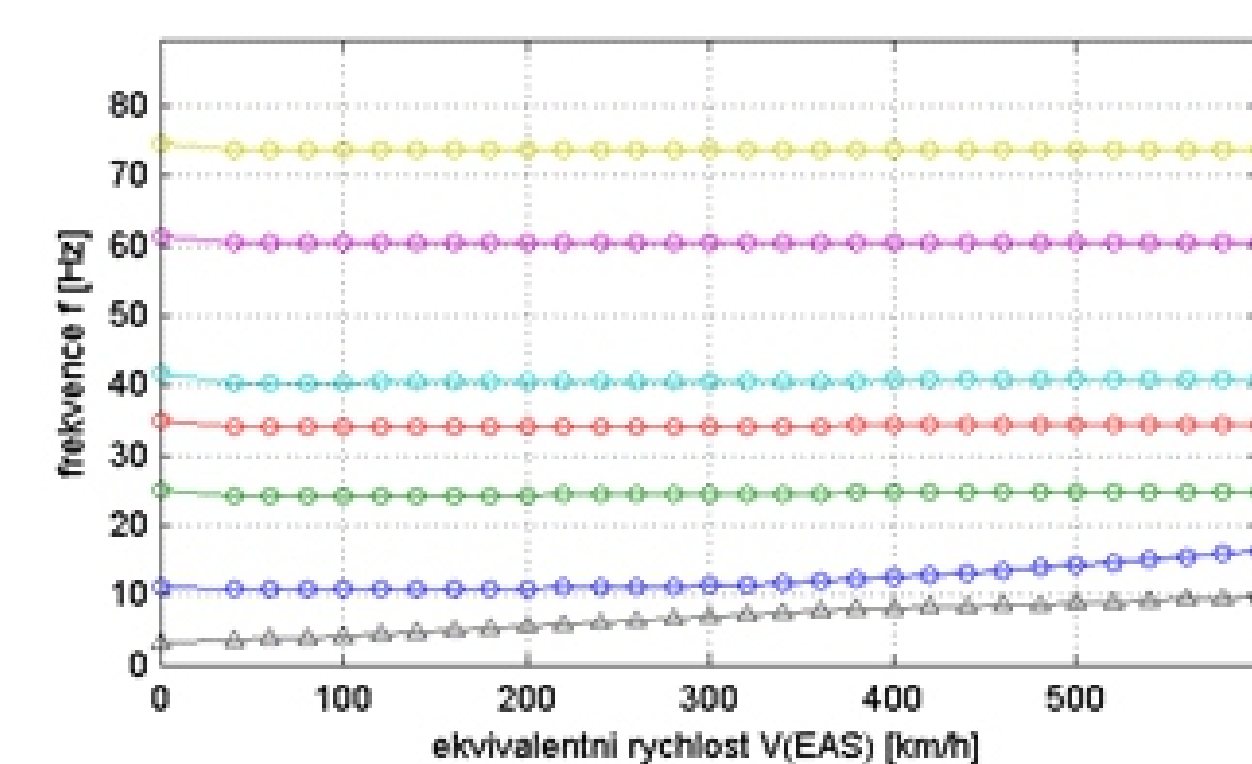
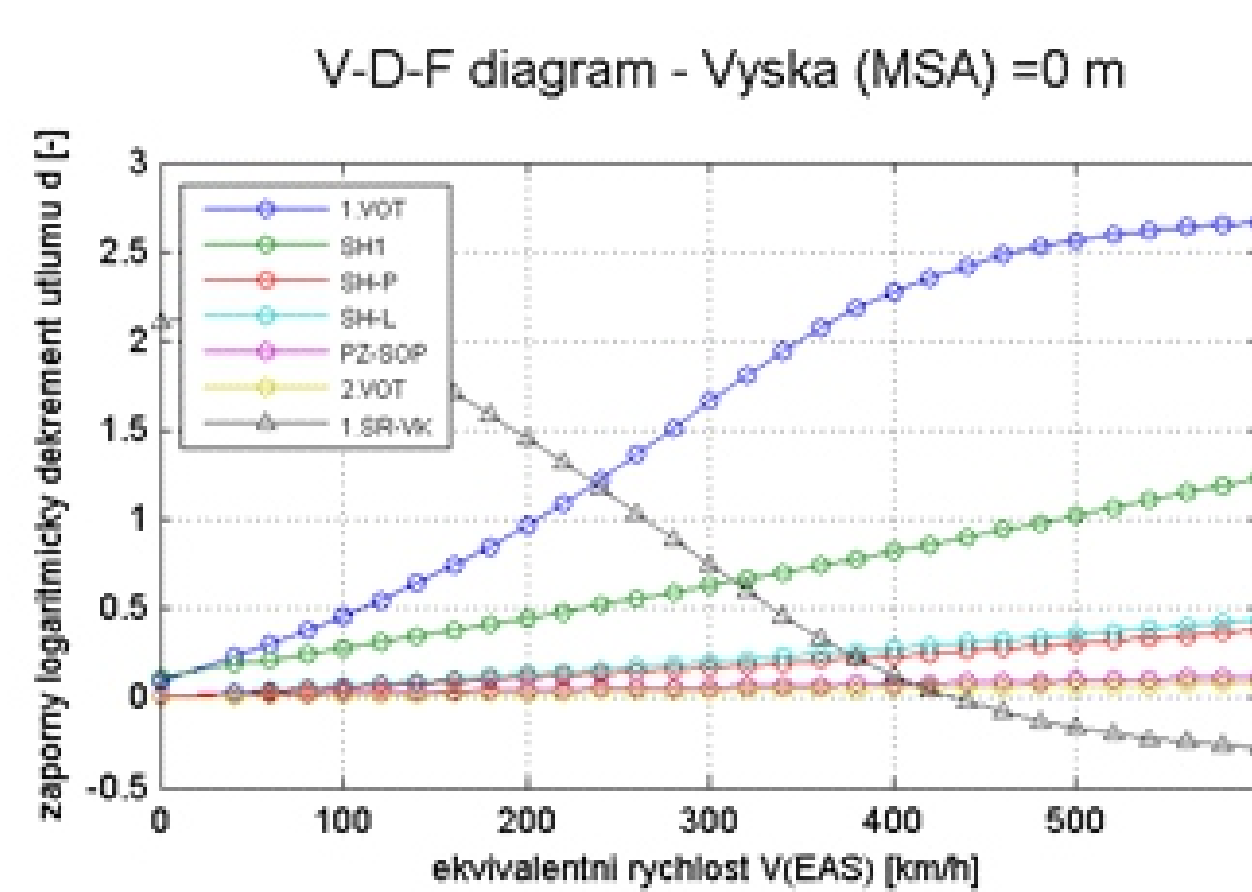
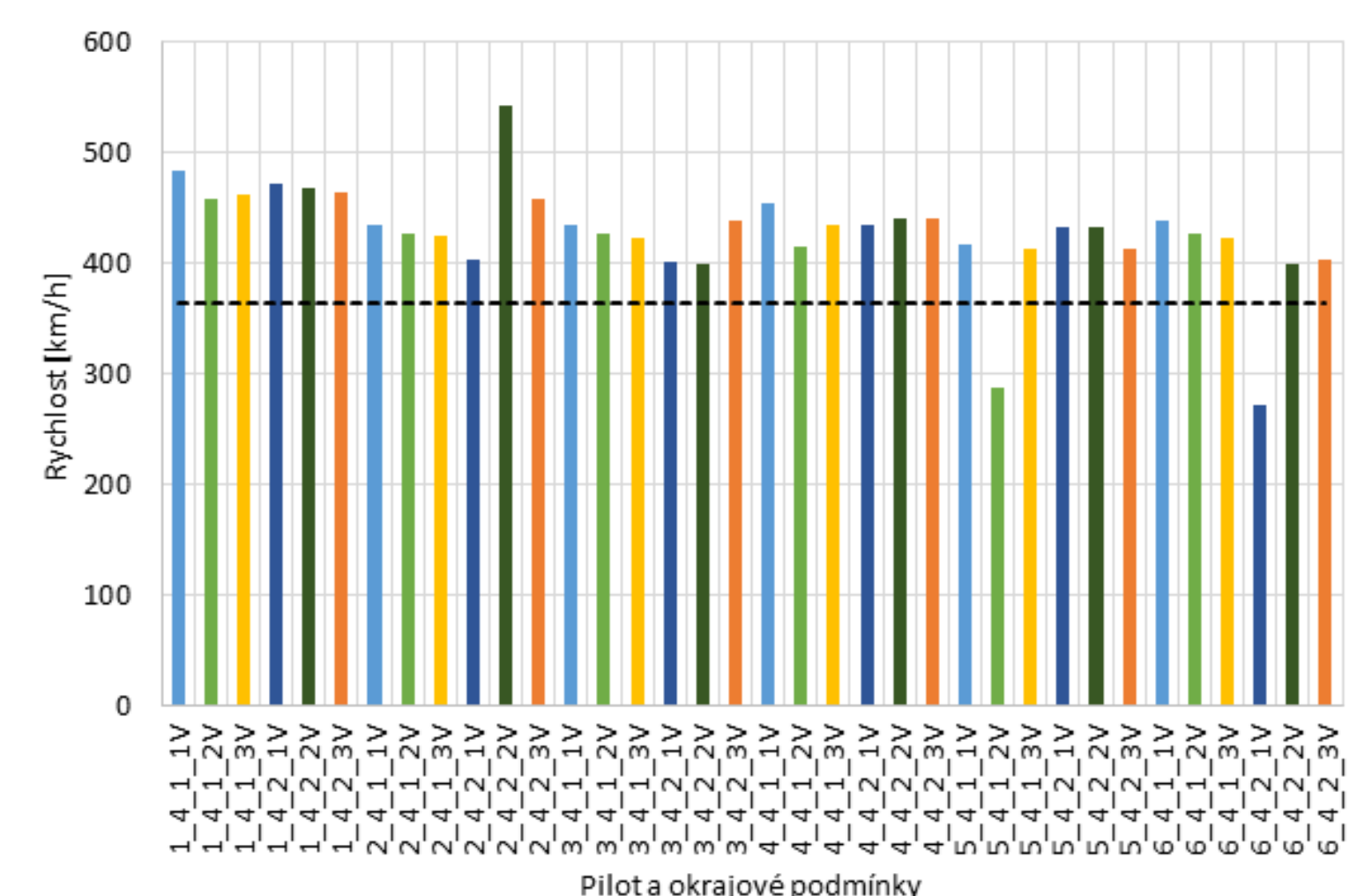


Diagram změny frekvencí a tlumení vlivem aerodynamiky, konfigurace lehkého letounu, 0 m nad mořem, symetrické tvary kmitání



Změny kritických rychlostí flutteru pro symetrické tvary kmitání

Případ	Lehká konfigurace				Těžká konfigurace			
	SY	NESY	SY	NESY	SY	NESY	SY	NESY
	V <sub>FL</sub> [km/h]	AV <sub>FL</sub> [%]	V <sub>FL</sub> [km/h]	AV <sub>FL</sub> [%]	V <sub>FL</sub> [km/h]	AV <sub>FL</sub> [%]	V <sub>FL</sub> [km/h]	AV <sub>FL</sub> [%]
Volné	364,1	0	615	0	338,9	0	591,4	0
Blukované	-	-	397,3	-35,4	-	-	402,3	-32,0
2 4 1 1V	434,4	20,3	615,0	0,0	409,9	21,0	591,6	0,0
2 4 1 2V	423,7	17,9	615,0	0,0	399,3	17,8	592,9	0,3
2 4 1 3V	424,7	17,6	615,0	0,0	398,3	17,5	592,6	0,2
2 4 2 1V	402,7	11,6	615,0	0,0	374,3	10,4	591,8	0,1
2 4 2 2V	541,7	50,1	615,0	0,0	595,5	75,7	589,3	-0,4
2 4 2 3V	458,6	27,0	615,0	0,0	438,9	29,5	591,2	0,0
3 4 1 1V	433,4	20,1	615,0	0,0	409,3	20,8	590,9	-0,1
3 4 1 2V	426,8	18,2	615,0	0,0	400,9	18,3	592,6	0,2
3 4 1 3V	422,5	17,0	615,0	0,0	396,6	17,0	592,6	0,2
3 4 2 1V	401,7	11,3	615,0	0,0	373,5	10,2	593,8	0,4
3 4 2 2V	399,0	10,5	615,0	0,0	369,9	9,1	589,5	-0,3
3 4 2 3V	439,0	21,6	615,0	0,0	415,6	22,6	-	-

Rychlosti flutteru ocasních ploch doplněné o vliv 2 pilotů při různých okrajových podmínkách