

Primární řízení lehkého sportovního letounu

Tomáš Sommer

Vedoucí práce: Ing Tomáš Malásek

Abstrakt

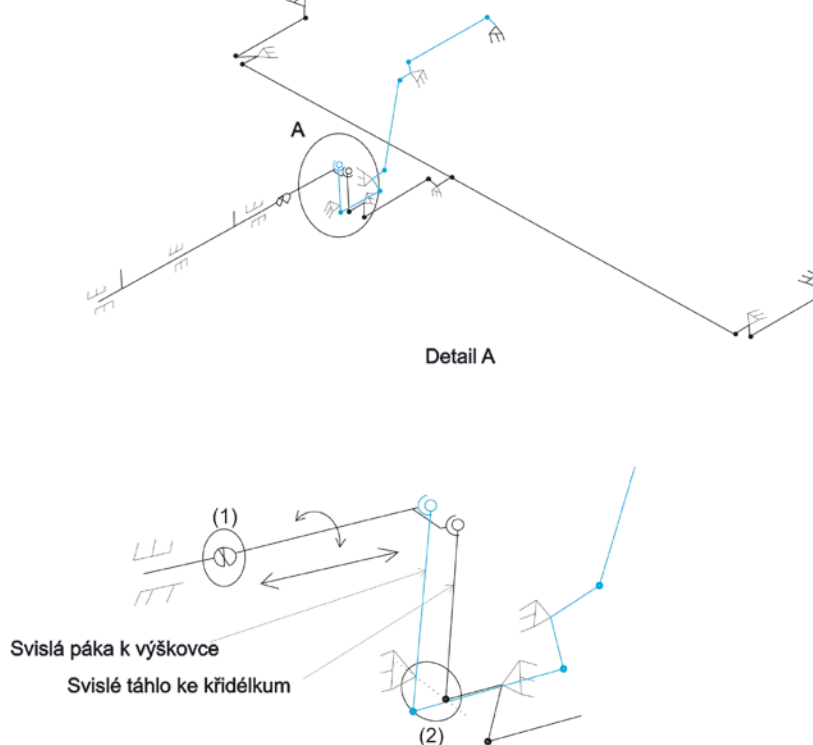
Tato práce obsahuje část mé diplomové práce. Jedná se o návrh primárního řízení. Rozbor podélného a příčného řízení a jejich vzájemné ovlivnění. Zjednodušený výpočet závěsového momentu plovoucí VOP a výpočet sil v podélném řízení při návrhové rychlosti obratu.

Klíčová slova

Primární řízení, návrh kinematiky, ovlivnění tras, závěsový moment VOP, síly v podélném řízení.

1. Popis řešení:

Řídicí páky jsou přivařené na trubce. Trubka je na konci spojena s další trubkou pomocí kardanova kloubu (1). To zajišťuje výchylku ve svislém směru a také přenos krouticího momentu. Na konci trubky jsou tyto dva pohyby separovány od sebe. Osa otáčení svislé páky k VOP (2) je ve stejné ose jako osa otáčení svislého táhla ke křídélkům. To zajišťuje co nejmenší ovlivnění výchylky křidélek při výchylce výškovky. Další konstrukce mechanismu je identická s letouny shodné kategorie tj. pomocí táhel a pák, které zajišťují diferenciaci.

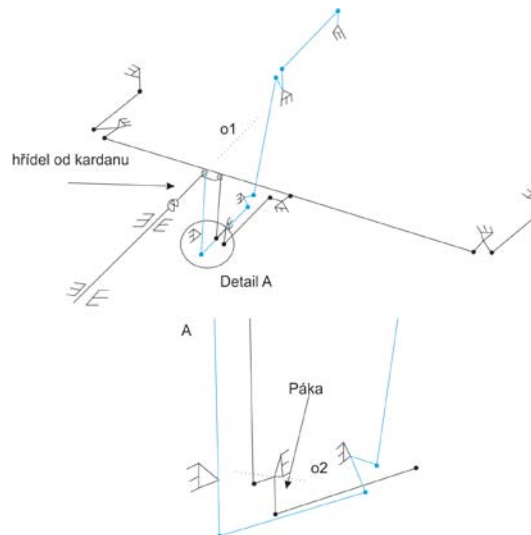


Obr. 1. Pohled na systém řízení

Pro výpočet vychylek byla použita sestava v NX. Cesty jsou navrženy prozatím ve zjednodušení (např. není bráno v potaz úhel vzepětí atd.), ale pro konečné uspořádání se dá předpokládat pouze malé odchylky od zjednodušeného výpočtového modelu.

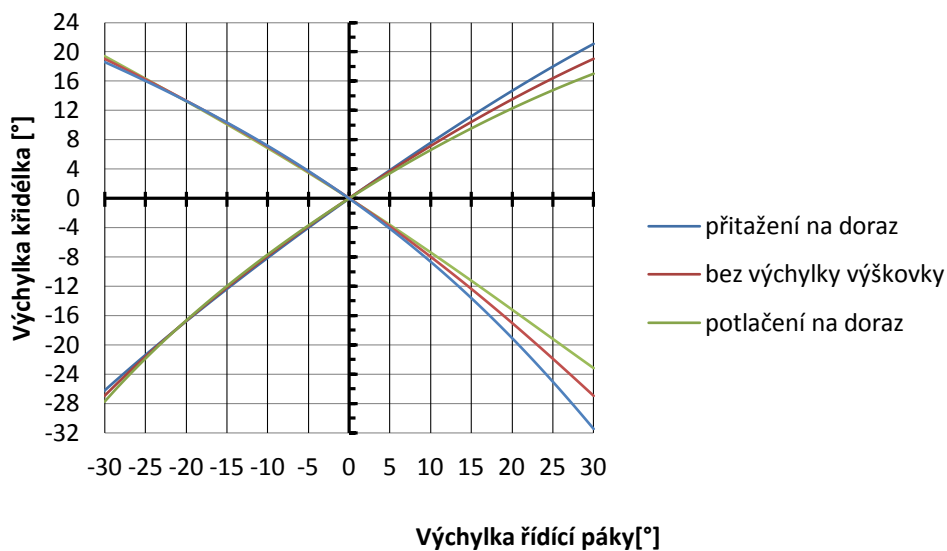
1.1. Varianta č. 1.

Tato varianta vychází z *obr. 1.a* z jeho popisu, jen je rozměrově dimenzována pro zastavení do draku letounu.



Obr. 2 Drátový model řízení

Závislost vychylek křidélek na řídicí páce



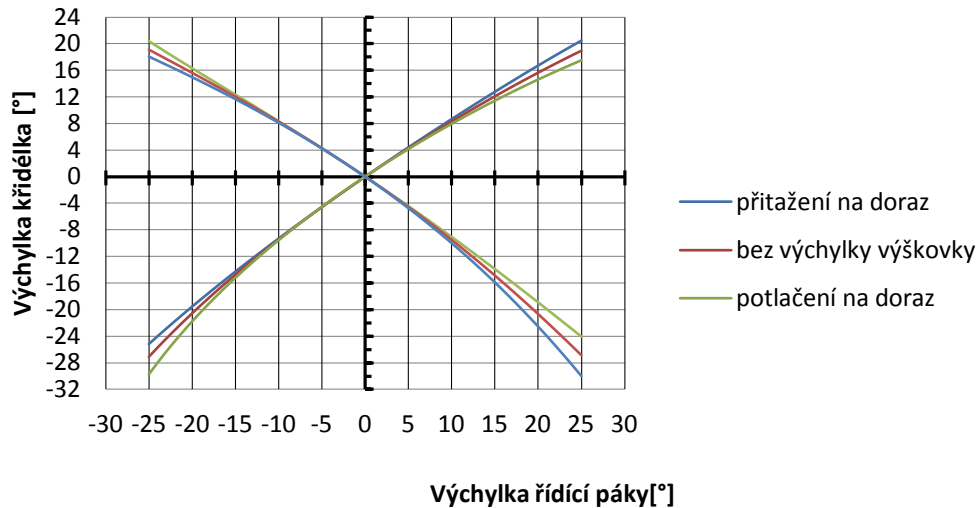
Obr. 3

Dílčí závěr: Z grafu vyplývá, že tato varianta není vhodná pro velké ovlivnění cest při kladné maximální vychylce. Rozdíly vychylek jsou zapříčiněny tím, že svislé táhlo k výškovce a svislé táhlo ke křídélkům nemají při vychylce příčného řízení stejnou osu otáčení, která je zobrazena na *Obr. 1.* detail A (2). Osa otáčení je shodná pouze v jediném případě a to při nulové vychylce křidélek.

1.2. Varianta č. 2.

Vzhledem k ovlivňování křidélek pohybem výškovky je třeba verzi upravit a nalézt variantu s co nejmenším ovlivněním jednotlivých tras. Varianta č. 2. spočívá v omezení rozsahu řídicích pák na $\pm 25^\circ$. Z konstrukčních důvodů se svislá páka musela zkrátit ze 450mm na 300mm. Hřídel od kardanu se také zkrátil.

Závislost výchylek křidélek na řídicí páce



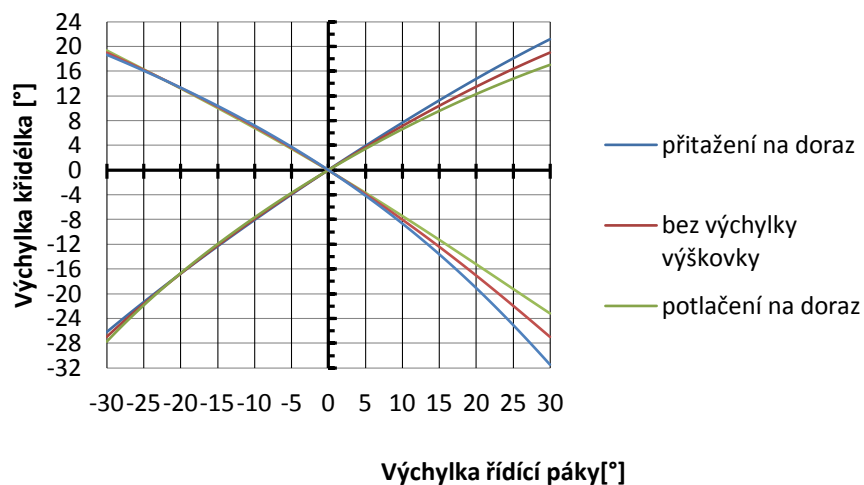
Obr. 4.

Dílčí závěr: Z grafu vyplývá, že tato varianta není vhodná pro velké ovlivnění cest při jakékoli výchylce. Je to způsobeno zkrácením pák a táhel.

1.3. Varianta č. 3.

Návrat k symetrické výchylce $\pm 30^\circ$, ale počáteční pootočení hřídele od kardanu o $+15^\circ$ kolem osy o1 viz *obr. 2*.

Závislost výchylek křidélek na řídicí páce



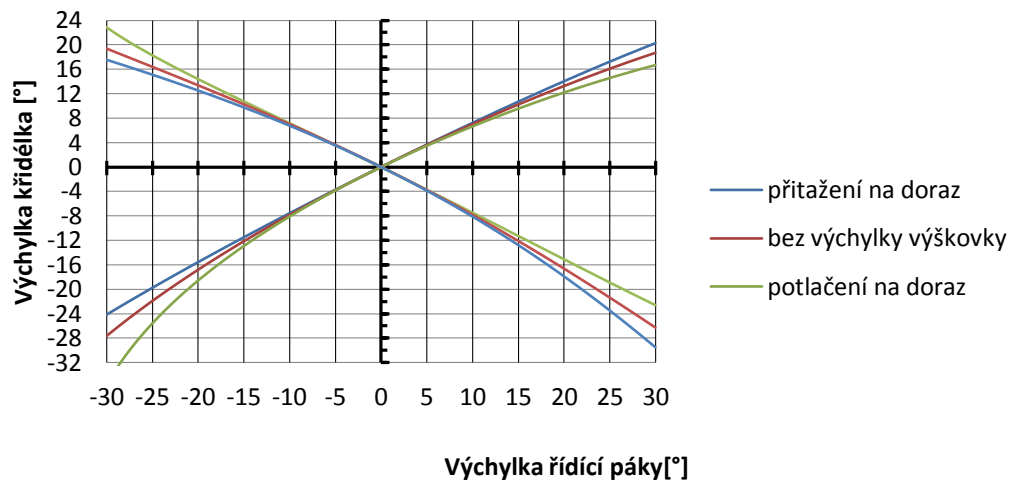
Obr. 5.

Dílčí závěr: Z grafu vyplývá, že tato varianta není vhodná pro velké ovlivnění cest při kladné maximální výchylce.

1.4. Varianta č. 4.

Symetrická výchylka $\pm 30^\circ$, ale počáteční pootočení páky o 10° kolem osy o2.

Závislost výchylek křidélek na řídicí páce



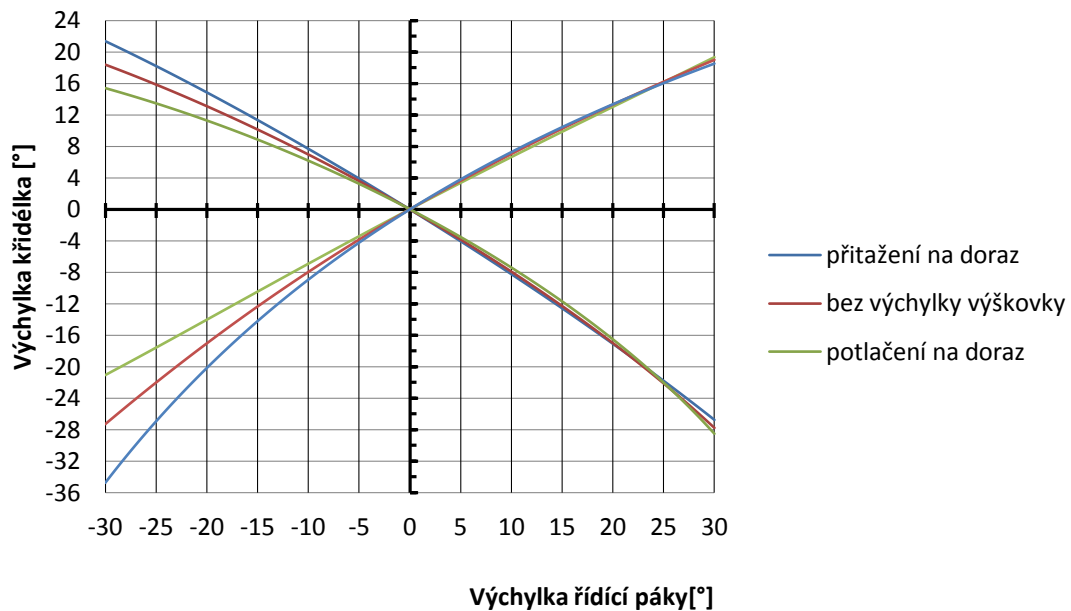
Obr. 6.

Dílčí závěr: Je evidentní, že tento zásah byl více než nešťastný. Ani natočení opačným směrem nepřineslo požadovaný výsledek.

1.5. Varianta č. 5.

Počáteční pootočení páky o 5° kolem osy o2.

Závislost výchylek křidélek na řídicí páce

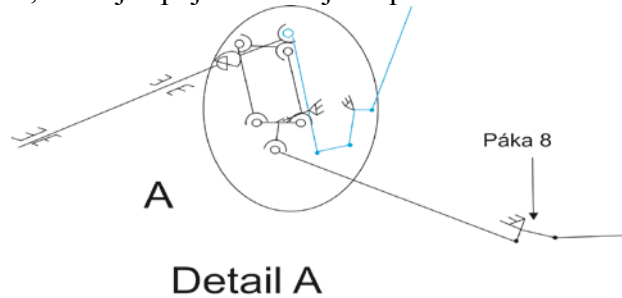


Obr. 7.

Dílčí závěr: Natáčení páky nepřineslo požadované změny. Je třeba změnit mechanismus.

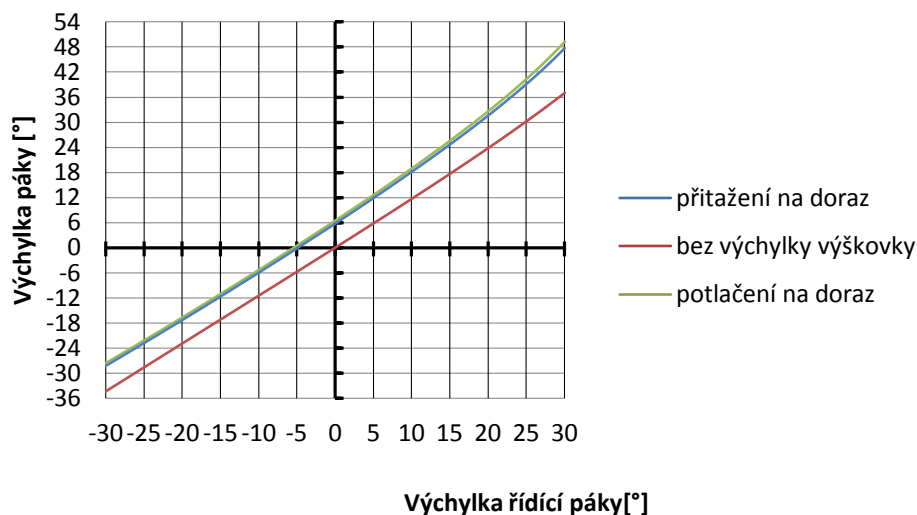
1.6. Varianta č. 6.

Varianta č. 6 spočívá v nahrazení jednoduchého pákového mechanismu paralelogramem s kombinací mixeru, viz detail A **obr.4**. Táhlo 8 jde křížem z pravé strany kokpitu pod sedačkou pilota k páce 8, která je spojena se stejnou příčnou trasou viz **Obr. 2**.



Obr. 8. Detail uzlu varianty č.6

Závislost výchylky páky 8 na ŘP



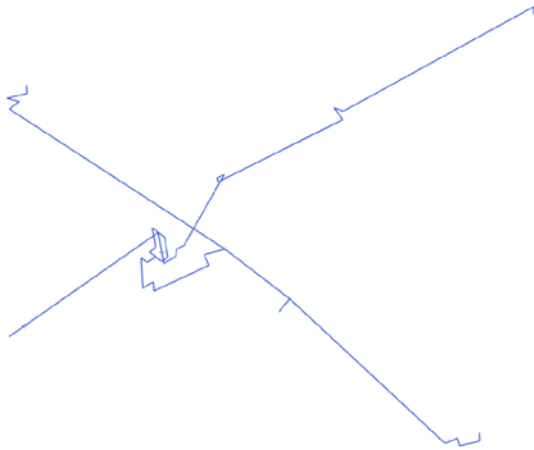
Obr. 9.

Dílčí závěr:

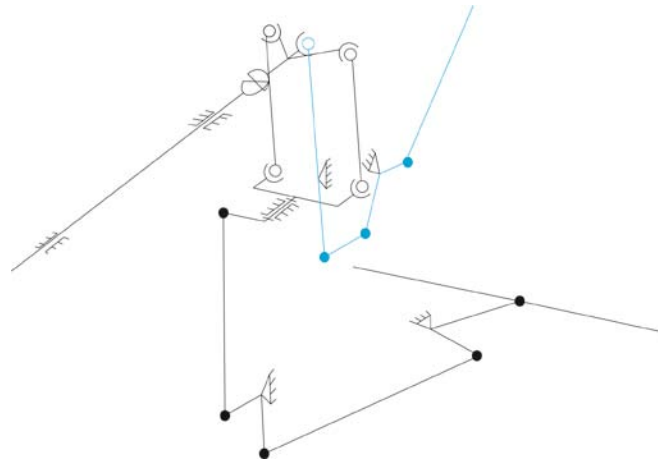
Je evidentní, že použití mixeru v kombinaci s paralelogramem má také značné ovlivnění. K ovlivnění dochází kvůli svislému pohybu paralelogramu. U této varianty jsem kontroloval pouze ovlivnění páky, protože samotné ovlivnění páky bylo velké, dále jsem v této variantě nepokračoval. Také by táhlo šlo křížem pod sedadlem pilota a to není z konstrukčního hlediska uspořádání vhodné.

1.7. Varianta č. 7.

Mixer, osy otáčení pák a táhel jsou na jedné ose, proto není třeba užití paralelogramu jako u předchozí varianty. Je použit kardanův kloub. Je změněna osa otáčení páky k příčnému řízení. Osa otáčení páky a trubky řídicí páky jsou rovnoběžné. Od této varianty jsem již nezanedbával úhel vzepětí a trasu jsem modeloval tak aby byla schopna plnit svoji kinematickou funkci po zástavbě do modelu draku.

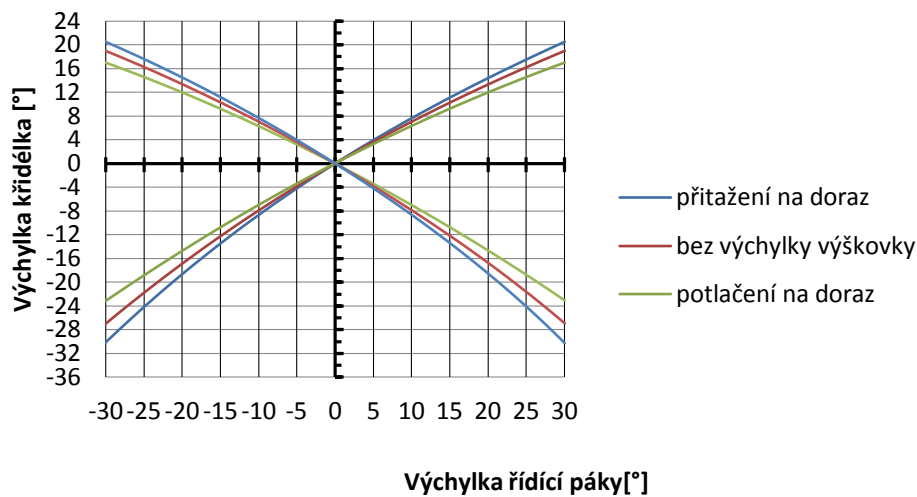


Obr. 10.



Obr. 11. Detail mixeru z obr.10.

Závislost vychylek křidélek na řídicí páce



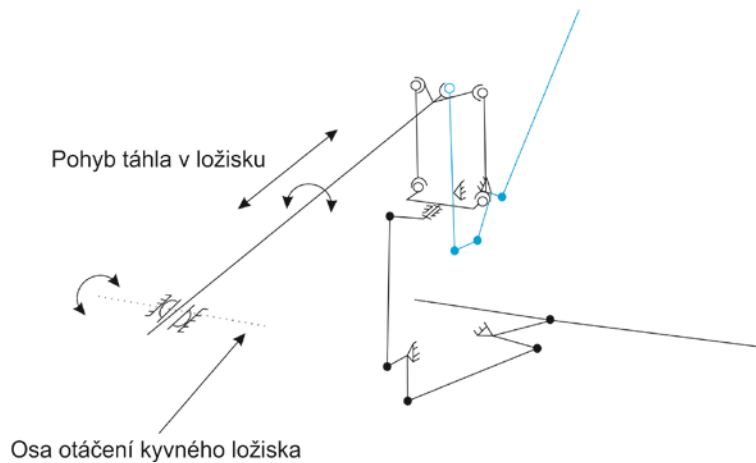
Výchylka řídicí páky [°]

Obr. 12.

Dílčí závěr: Výhoda této varianty je v tom, že ovlivnění je symetrické. Z předchozích variant je patrné, že toto uspořádání bude nevhodnější, ale je potřeba ještě upravit mechanismus. Pro snížení ovlivnění tras je třeba, aby osy otáčení páky a trubky řídicích pák byly rovnoběžné. To je nemožné, proto je třeba zajistit co nejmenší změnu úhlu.

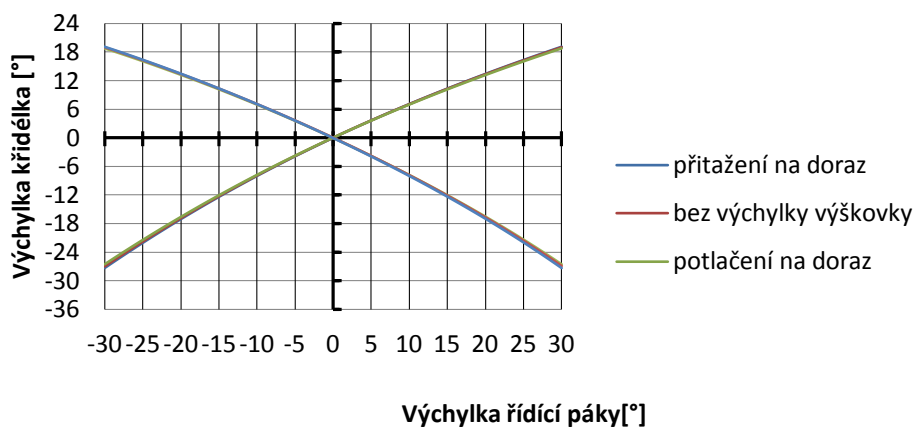
1.8. Varianta č. 8.

Úprava varianty č. 7 schéma mixeru zůstalo, ale kardanův kloub jsem odstranil. Od řídicích pák vede jedno táhlo. Jeho kyvný pohyb zajišťuje kyvné ložisko. Zvětšilo se rameno a úhlový výkyv páky (nahoru, dolů) se minimalizoval.



Obr. 12. Detail varianty č.8

Závislost výchylek křidélek na řídicí páce



Obr. 13.

Tabulka 1.

Výchylka ŘP[°]	Ovlivnění křidélek [°]	
	Levé	Pravé
-30,0	0,365	0,746
+30,0	0,764	0,374

Tabulka 2.

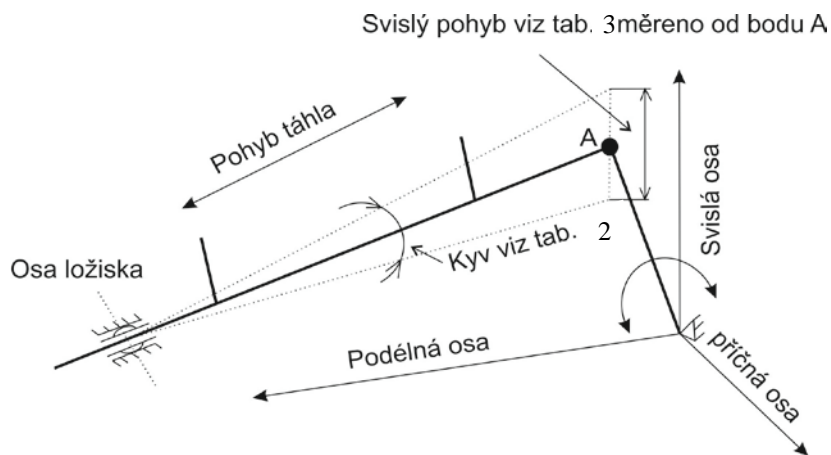
Výchylka táhla [mm]	Kyv [°] měreno od podélné osy absolutně
0	6
-100	4,971
+100	4,785

Tabulka 3.

Výchylka táhla [mm]	Svislý pohyb [mm] měreno od svislé osy relativně
0	0
-100	-14,4
+100	-35,6

Absolutně měreno - vzhledem k souřadnému systému

Relativně měreno – měreno přírůstkově k počáteční poloze a vztaženému bodu

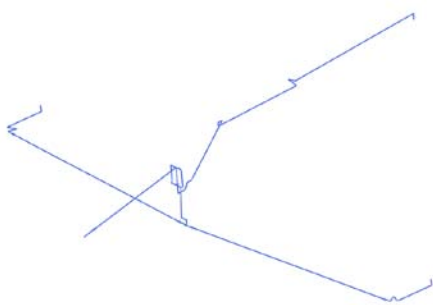


Obr. 14.

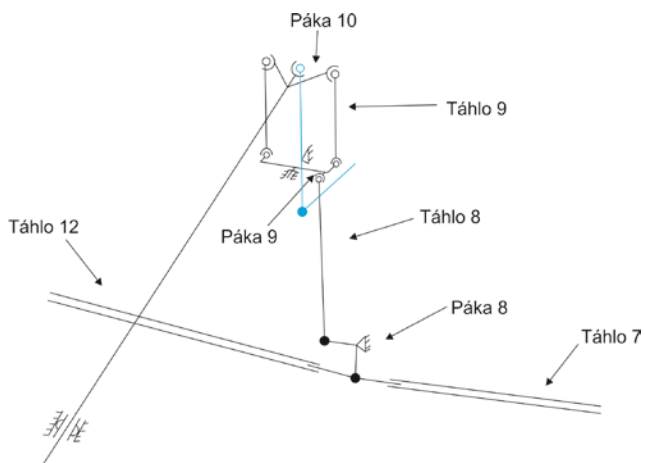
Dílčí závěr: Ze všech navrhovaných variant je tato varianta nejvhodnější. Ovlivnění příčného řízení je minimální. Velkým ramenem se ovlivnění příčného směru řízení snížilo na necelý 1° .

1.9. Varianta č. 9.

Vychází z předchozích variant č. 7 a 8. je pozměněna o výměnu táhel v křídlech za flexi-táhla jdoucí stojinou křídla **obr.16**. (táhlo7,táhlo12). Tato varianta je konečná varianta uspořádání příčné trasy řízení.

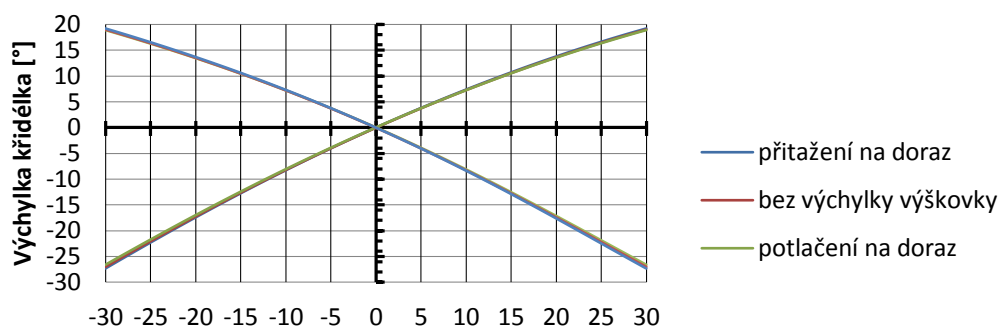


Obr. 15. Trasa řízení

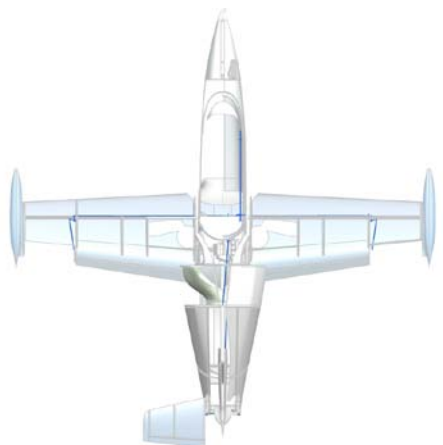


Obr. 16. Detail uzlu

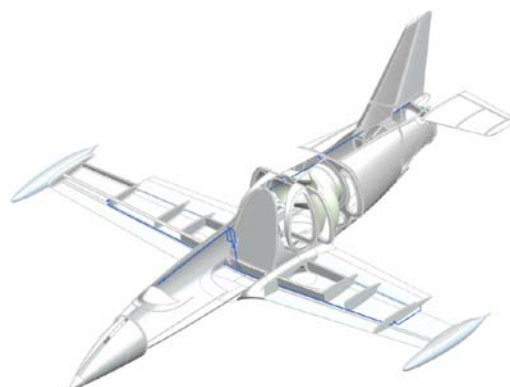
Závislost vychylek křidélek na řídicí páce



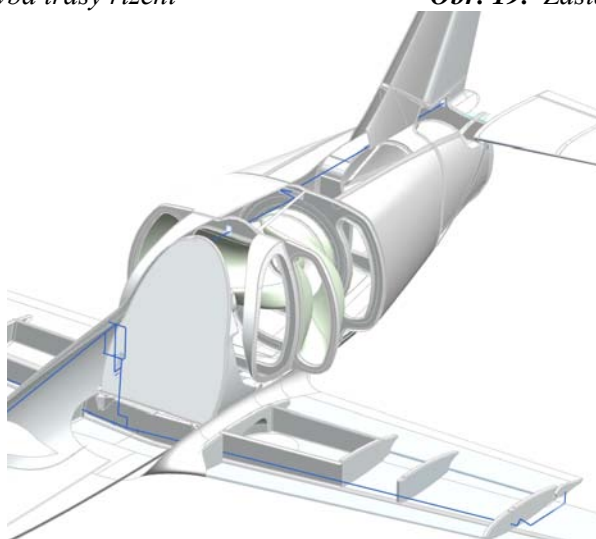
Obr. 17.



Obr. 18. Zástavba trasy řízení



Obr. 19. Zástavba trasy řízení



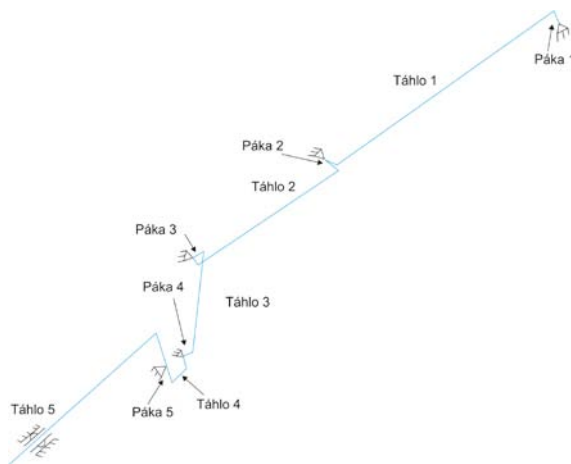
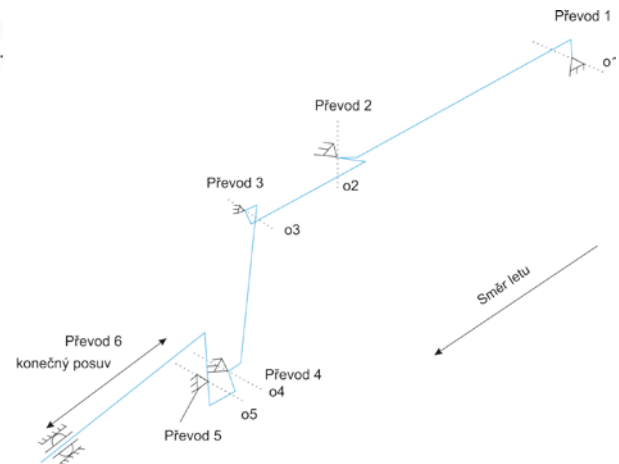
Obr. 20. Zástavba trasy řízení, detail na mixer

Tabulka 4.

Výchylka kniplu [°]	Potlačení na doraz (ŘP=100mm)		Bez výchylky výškovky (ŘP=0mm)		Přitažení na doraz (ŘP=-100mm)	
	Výchylka L křídélka[°]	Výchylka P křídélka[°]	Výchylka L křídélka[°]	Výchylka P křídélka[°]	Výchylka L křídélka[°]	Výchylka P křídélka[°]
30,000	18,847	-26,572	19,043	-26,956	19,203	-27,271
25,000	16,230	-21,700	16,400	-22,002	16,538	-22,249
20,000	13,421	-16,973	13,564	-17,201	13,679	-17,387
15,000	10,407	-12,426	10,519	-12,587	10,611	-12,718
10,000	7,173	-8,076	7,252	-8,177	7,316	-8,259
5,000	3,707	-3,932	3,749	-3,980	3,783	-4,018
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-5,000	-3,951	3,716	-3,999	3,758	-4,038	3,793
-10,000	-8,142	7,210	-8,244	7,290	-8,327	7,355
-15,000	-12,557	10,477	-12,720	10,591	-12,852	10,682
-20,000	-17,159	13,510	-17,388	13,653	-17,574	13,768
-25,000	-21,882	16,302	-22,180	16,470	-22,423	16,604
-30,000	-26,618	18,846	-26,983	19,034	-27,278	19,185

Dílčí závěr:

Na tomto modelu je zanedbáno možné prohnutí flexi-táhla, nicméně se předpokládá tak malé, že kinematiku modelu ovlivní jen nepatrně. Doraz příčného řízení je na páce9.

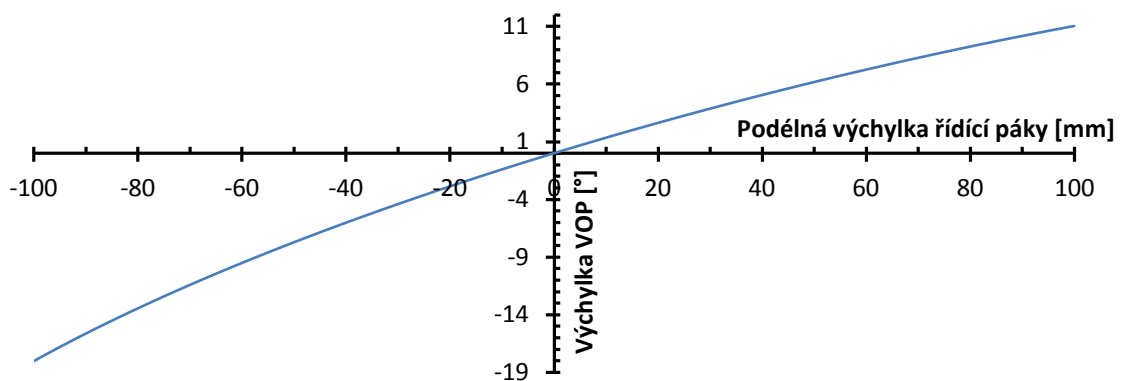
2. Podélné řízení:**2.1. Návrh trasy podélného řízení****Obr. 21.****Obr. 22.**

o1-o5 jsou osy otáčení pák.

Tabulka průběhu výchylek výškového kormidla v závislosti na řídicí páce.

Tabulka 5.

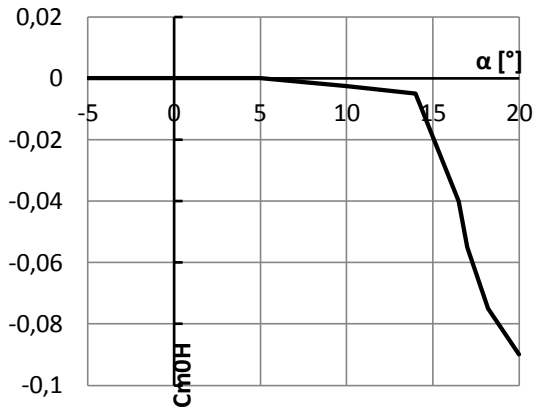
Výchylka ŘP [mm]	Výchylka VOP [°]	Výchylka ŘP [mm]	Výchylka VOP [°]	Výchylka ŘP [mm]	Výchylka VOP [°]	Výchylka ŘP [mm]	Výchylka VOP [°]
-100,000	-18,027	-50,000	-7,726	0,000	0,000	50,000	6,173
-95,000	-16,806	-45,000	-6,866	5,000	0,680	55,000	6,717
-90,000	-15,641	-40,000	-6,027	10,000	1,345	60,000	7,249
-85,000	-14,525	-35,000	-5,210	15,000	1,996	65,000	7,768
-80,000	-13,453	-30,000	-4,413	20,000	2,632	70,000	8,274
-75,000	-12,420	-25,000	-3,635	25,000	3,255	75,000	8,768
-70,000	-11,422	-20,000	-2,874	30,000	3,865	80,000	9,248
-65,000	-10,456	-15,000	-2,131	35,000	4,462	85,000	9,715
-60,000	-9,520	-10,000	-1,405	40,000	5,045	90,000	10,168
-55,000	-8,610	-5,000	-0,695	45,000	5,615	95,000	10,608
						100,000	11,033

Závislost výchylky VOP na výchylce řídicí páky**Obr. 23.**

2.2. Určení závěsového momentu VOP

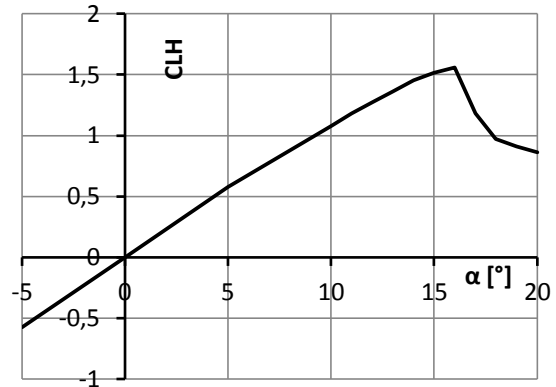
Určení závěsového momentu pro symetrický profil NACA 0012. VOP je plovoucí. Osa otáčení je ve 24% b_{ESAT} . Účinnost plovoucí plochy je 80%.

Průběh součinitele klopivého momentu C_{m0H}
k AC



Obr. 24.

Stoupání vztlakové čáry $C_{LH\alpha}$



Obr. 25.

$$M_E = 0,8 \cdot C_{hE} q_H S_E b_{ESAT} \quad (1)$$

$$C_{hE} = C_{m0H} - C_{LH} \cdot \bar{x}_H \quad (2)$$

$$\bar{x}_H = \frac{x_H}{b_{ESAT}} \quad (3)$$

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (4)$$

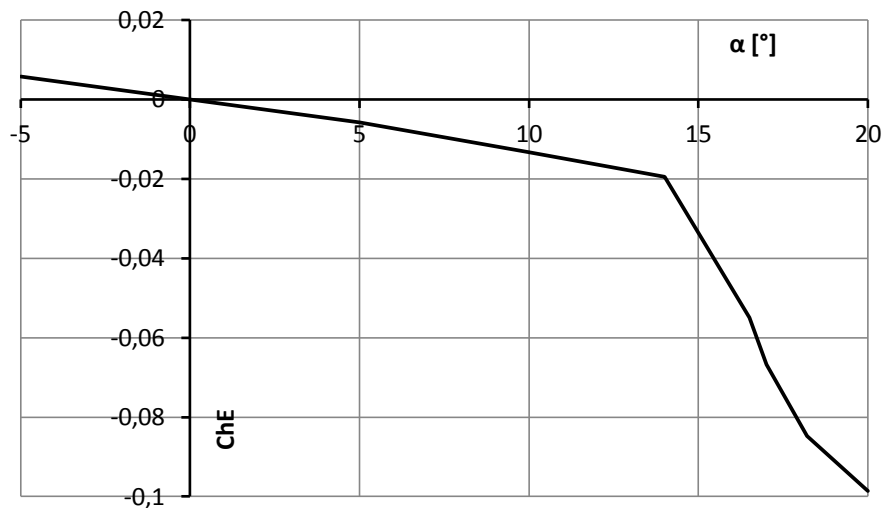
$$q = q_H \quad (5)$$

$$S_E = 1,971 \text{ m}^2$$

$$b_{ESAT} = 0,7542 \text{ m}$$

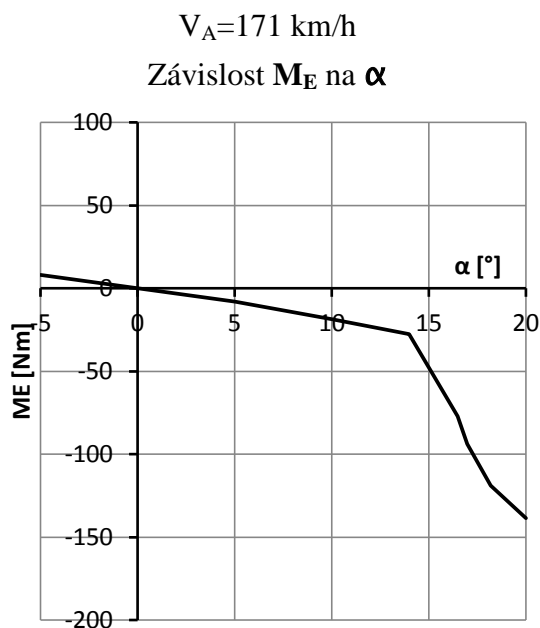
$$x_H = 0,007542 \text{ m}$$

Průběh součinitele C_{hE}

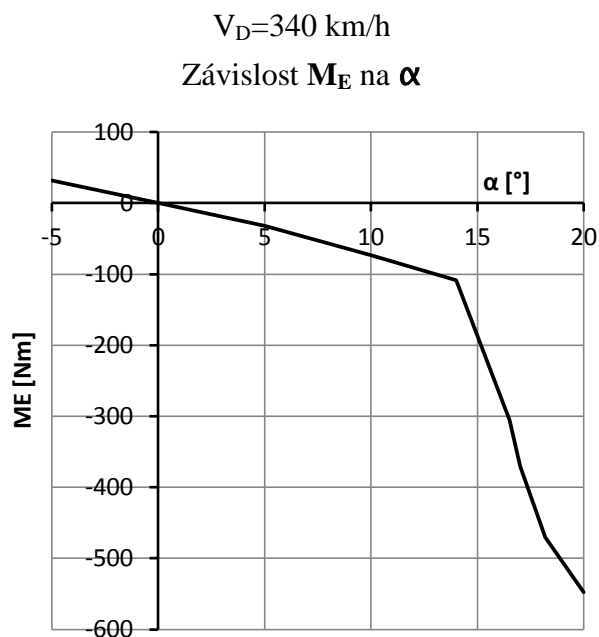


Obr. 26.

Grafy jsou odečteny z literatury [5] a byly porovnány s NACA reportem 647 [6]. Hodnoty experimentálně stanovené v literatuře [5] jsou téměř identické, co udává literatura [6].



Obr. 27.



Obr. 28.

Tabulka 6.

α [°]	M_E [Nm]
-18	115
11	-21

Tabulka 7.

α [°]	M_E [Nm]
-6	40
3,666	-23,5

Výpočet byl proveden pomocí principu virtuálních prací. Momenty byly odečteny z grafů. Pro další výpočty se vychází ze značení *obr.21.* a *obr.22.* Táhlo 5 je také značeno jako ŘP. Síly uváděné v tabulkách s kladnou hodnotou zatěžují táhla tahem, záporné zatěžují tlakem (vzpěrem).

2.3. Rychlost V_A výchylka nahoru -18°

$$M_1 \cdot \delta_1 = M_2 \cdot \delta_2 \quad (6)$$

Tabulka 8.

	Převod ₁	Převod ₂	Převod ₃	Převod ₄	Převod ₅	Výchylka kniplu
Výchylka [°]/[mm]	18,027	18,802	37,461	37,174	28,090	100,000
Moment[Nmm] /Síla [N]	115000,000	110261,460	55340,038	55767,695	73800,687	361,821*
Moment*k1[Nmm] /Síla*k1[N]	143750,000	137826,825	69175,047	69709,619	92250,858	452,277*

*dále bude upřesněna

Tabulka 8 uvádí výchylky pák a momenty na nich přenášené. Moment*k1/síla*k1 udává hodnotu momentu po přenásobení opravným součinitelem závěsového momentu 1,25 který udávají předpisy.

Přepočítání momentů na síly kolmé ke svému rameni

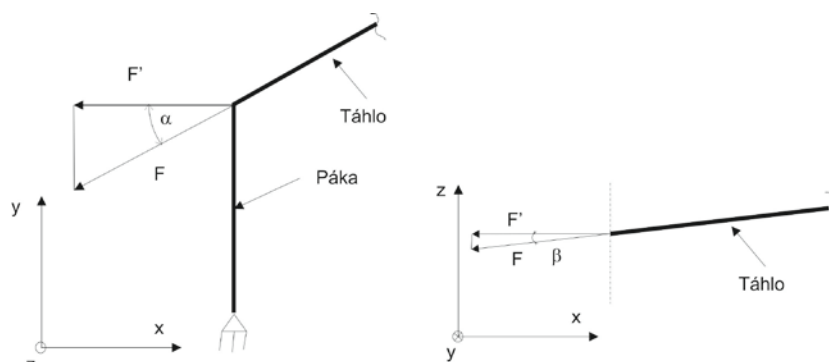
$$F' = \frac{M}{a} \quad (7)$$

Tabulka 9.

	Táhlo 1	Táhlo 2	Táhlo 3	Táhlo 4	Táhlo 5
Rameno a [mm]	80,000	145,000	70,000	95,000	211,900
Síla kolmo k ramenu [N]	1437,500	760,424	790,572	587,028	348,281
Síla kolmo k ramenu *k1 [N]	1796,875	950,530	988,215	733,785	435,351
Síla kolmo k ramenu *k1*k [N]	2695,313	1425,795	1482,322	1100,678	653,026

Síly jdoucí do táhla

$$F = \frac{F'}{\cos \alpha \cdot \cos \beta} \quad (8)$$



Obr.29.

Tabulka 10.

	Táhlo 1	Táhlo 2	Táhlo 3	Táhlo 4	Táhlo 5
Úhel α [°]	18,142	28,775	26,665	43,226	27,061
Úhel β [°]	2,000	0,000	0,050	0,500	0,000
Síla do táhla	1513,617	867,552	884,659	805,654	-391,098
Síla do táhla*k1	1892,022	1084,440	1105,824	1007,067	-488,873
Síla do táhla*k1*k	2838,033	1626,660	1658,735	1510,601	-733,309

Síla*k1 uvádí síly po zavedení opravného součinitele závěsného momentu. Síla*k1*k uvádí síly po zavedení opravného součinitele závěsného momentu 1,25 a zavedení součinitele bezpečnosti 1,5.

2.4. Rychlost V_A výchylka dolu 11°

Výpočet probíhá stejným způsobem jako u předchozí kapitoly 2.3. proto uvedu pouze tabulky s výsledky.

Tabulka 11.

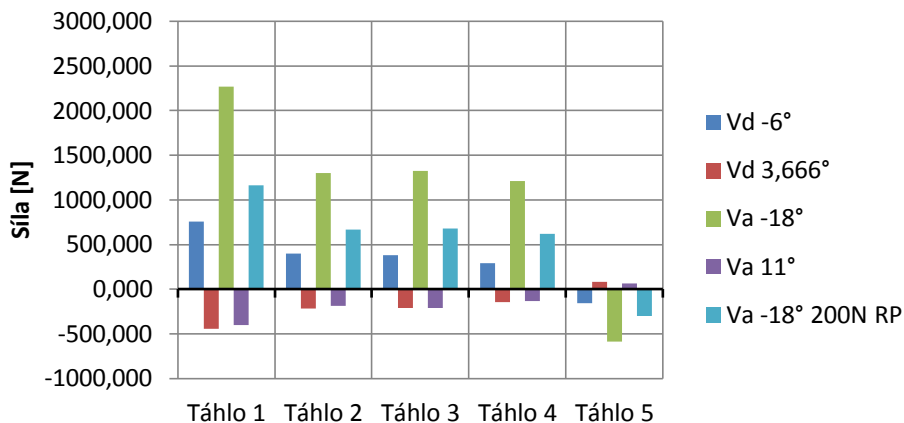
	Převod ₁	Převod ₂	Převod ₃	Převod ₄	Převod ₅	Výchylka kniplu
Výchylka [°]/[mm]	11,033	12,879	32,826	34,595	28,241	100,000
Moment[Nmm] /Síla [N]	21000,000	17990,107	7058,360	6697,326	8204,222	40,439*
Moment*k1[Nmm] /Síla*k1[N]	26250,000	22487,634	8822,949	8371,657	10255,277	50,548*

Tabulka 12.

	Táhlo 1	Táhlo 2	Táhlo 3	Táhlo 4	Táhlo 5
Rameno a [mm]	80,000	145,000	70,000	95,000	211,900
Síla kolmo k ramenu [N]	262,500	124,070	100,834	70,498	38,717
Síla kolmo k ramenu *k1 [N]	328,125	155,087	126,042	88,123	48,397
Síla kolmo k ramenu *k1*k [N]	492,188	232,631	189,063	132,184	72,595

Tabulka 13.

	Táhlo 1	Táhlo 2	Táhlo 3	Táhlo 4	Táhlo 5
Úhel α [°]	10,974	3,795	44,189	35,805	29,456
Úhel β [°]	2,200	1,100	0,050	2,600	0,000
Síla do táhla	-267,587	-124,365	-140,623	-87,015	44,465
Síla do táhla*k1	-334,484	-155,457	-175,779	-108,769	55,581
Síla do táhla*k1*k	-501,725	-233,185	-263,669	-163,154	83,372



Obr.30. Porovnání sil v trase

3. Závěr

Cílem této práce bylo vyřešit ovlivnění trasy podélného a příčného řízení. Problémem bylo, že svislá páka k výškovce a svislé táhlo ke křídélkům (viz *obr. 1.*) v počáteční poloze příčného řízení měly osu otáčení shodnou, při jakékoli jiné poloze toto neplatilo a podélná trasa ovlivňovala příčnou. Jako nejúčinnější řešení se ukázala varianta s kyvným ložiskem. Kyvné ložisko je umístěno ve velké vzdálenosti od svislé páky a výkyv řídicí páky je minimální (viz *Obr. 14.*), tím je i minimální změna úhlu otáčení mezi pákou 9 a pákou 10 (viz *Obr. 16.*) a tím je ovlivnění tras minimální.

Jako další jsem stanovil průběh závěsového momentu plovoucí VOP profilu NACA 0012. Vhodným umístěním osy otáčení je závěsový moment minimální ve velkém rozsahu úhlu náběhu. Při velkých úhlech náběhu průběh není lineární a závěsový moment se neúměrně zvětšuje. Ze silového rozboru podélného řízení je vidět že síly do řízení jsou malé, pokud VOP má úhel náběhu od -13° do 13° . Pro náš případ úhel náběhu -18° by bylo vhodné použití odlehčovací pomocné plošky. Pro další upřesňující výpočet by nebylo vhodné ani zanedbání srázového úhlu křídla a poměru dynamických tlaků v místě VOP.

Seznam symbolů

a	Rameno	[mm]
b_{ESAT}	Hloubka střední aerodynamické tětiny	[m]
C_{hE}	Součinitel závěsového momentu výškovky	[1]
C_{LH}	Součinitel vztlaku vodorovných ocasních ploch	[1]
C_{mOH}	Součinitel klopivého momentu VOP pro $C_{LH}=0$	[1]
F, F'	Síly	[N]
Flexi-táhlo	Polotuhý člen, vlastnosti lana, má zaručenou únosnost v tlaku	
k	Součinitel bezpečnosti 1,5	[1]
kI	Opravný součinitel závěsového momentu 1,25	[1]
M, M_1, M_2, M_E	Momenty	[Nmm, Nm]
NACA 0012	Symetrický profil maximální tloušťka 12% ve 30% tětiny	
q_H	Dynamický tlak v místě VOP	[N/m ²]
ŘP	Řídicí páka	
S_E	Plocha výškovky	[m ²]
V_D	Návrhová rychlost strmého letu	[Km/h]
V_A	Návrhová rychlost obratu	[Km/h]
VOP	Vodorovná ocasní plocha	
$\frac{x_H}{x_H}$	Vzdálenost osy otáčení před AC VOP	[m]
$\frac{x_H}{x_H}$	Poměrná vzdálenost osy otáčení před AC VOP	[1]
$\alpha, \beta, \delta_1, \delta_2$	Úhly	[°]

Seznam použité literatury

- [1] Zálešák F.: Konstrukce a projektování letounů, VAAZ, 1966
- [2] Špunda J.: Stavební mechanika a pevnost letounu, VAAZ, 1961
- [3] UL-2, LAA ČR, Praha 10, 2002
- [4] CS-VLA
www.caa.cz/file/5588_1_1/
(20.1.2012)
- [5] Charakteristika profilu NACA 0012
http://library.propdesigner.co.uk/html/naca_0012_charateristics.html
(20.1.2012)
- [6] NACA Report 647
<http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1939/naca-report-647.pdf>
(20.1.2012)