



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav letadlové techniky

Bakalářská práce

Návrh pomocné pohonné jednotky pro závěsný kluzák

Design of foot-launched powered hang glider (FLPHG)

autor: Radek Pajkrt

vedoucí práce: Ing. Ivan Jeřábek Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Návrh pohonné jednotky pro závěsný kluzák vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Ivana Jeřábka Ph.D, za použití literatury uvedené v kapitole Zdroje.

V Praze Dne 20. 6. 2015

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Ivanu Jeřábkovi PhD. za jeho cenné rady. Dále také své rodině za psychickou i materiální podporu během studia a pochopitelně všem vyučujícím, bez kterých bych se k bakalářské práci nikdy nedopracoval.

Anotace

Jméno autora	Radek Pajkrť
Název bakalářské práce	Návrh pomocné pohonné jednotky pro závěsný kluzák
Anglický název	Design of foot-launched powered hang glider (FLPHG)
Rok	2015
Studijní program	Teoretický základ strojího inženýrství
Ústav	Ústav letadlové techniky
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Ivan Jeřábek PhD.
Klíčová slova	Závěsný kluzák, pomocná pohonná jednotka, rychlostní polára, tah, výkon, motor
Keywords	Hang glider, foot-launched powered hangglider, speed polar, power, thrust, engine
Anotace	Práce se zabývá předpisy pro stavbu a provoz pomocné pohonné jednotky. Stanovením rychlostních polár vybraných kluzáků. Výpočtem výkonů nutných pro pohon těchto kluzáků pomocí pomocné pohonné jednotky a výběrem vhodných motorů.
Abstract	This thesis deals with regulations for constuction and service of foot- launched powered hang glider. It was determined speed polar. Calculate necessary thrust and power. Then was choosen adequate engine.

Zkratky a značení

ZK	závěsný kluzák
MZK	motorový závěsný kluzák
LAA	Letecká amatérská asociace
ČR	Česká republika
MPH	mil za hodinu
FPM	stop za minutu
$m_{130\%}$	hmotnost pilota rovna 130 % minimální hmotnosti pilota
m_{\max}	maximální povolená hmotnost pilota
v_x	vodorovná rychlost kluzáku
v_y	svislá rychlost kluzáku
Kč	korun českých
MPK	motorový padákový kluzák
PK	padákový kluzák
ULK	ultra lehký kluzák
ULV	ultra lehký vírník
ULH	ultra lehká helikoptéra
ULL	ultra lehké letadlo

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Rešerše platné legislativy a definice stavebního předpisu	10
3	Rešerši charakteristik závěsných kluzáku.....	12
3.1	Hmotové charakteristiky ZK.....	12
3.1.1	Kluzáky pro pilotní výcvik	12
3.1.2	Kluzáky pro sportovní létání.....	12
3.1.3	Hmotnost pilota	13
3.2	Aerodynamické charakteristiky ZK	13
3.2.1	Korekce aerodynamických charakteristik na hmotnost pilota	14
3.2.2	Jednopotahová křídla	15
3.2.3	Dvojpotahová křídla	16
3.2.4	Vysokovýkonné kluzáky.....	19
4	Výpočet potřebného výkonu pohonné jednotky	27
4.1	Rozbor sil působících na kluzák	27
4.2	Okrajové podmínky výpočtu	29
4.3	Vypočtené hodnoty potřebného tahu a výkonu	29
4.3.1	Kluzák Falcon-potřebný tah a výkon	29
4.3.2	Kluzák Sport- Potřebný tah a výkon	32
4.3.3	Kluzák Laminar- potřebný tah a výkon.....	36

4.3.4	Kluzák Litespeed – potřebný tah a výkon	37
4.3.5	Kluzák Talon- potřebný tah a výkon	39
4.3.6	Kluzák Exxtacy – potřebný tah a výkon	40
5	Výběr pohonné jednotky.....	42
5.1	Kriteria výběru pomocné pohonné jednotky.....	42
5.2	Stanovení účinnosti vrtule	42
5.2.1	Uvažované motory pro pomocné pohonné jednotky.....	43
5.2.2	Zhodnocení výběru pohonné jednotky	45
6	Závěr	46
7	Přílohy.....	47
8	Zdroje	67



Obrázek 1 Pomocná pohonná jednotka Fillo

1 Úvod

Ačkoliv ve světě jsou koncepty závěsných kluzáků (dále jen ZK) s pomocnou pohonnou jednotkou známé a rozšířené již od druhé poloviny 90. let, u nás se začaly tyto stroje více rozšiřovat až v poslední době. V pomocné motorové jednotce spatřují piloti ZK relativně levnou možnost vytvoření motorem poháněného dopravního prostředku umožňujícího provozování tohoto sportu i v rovinných oblastech, za současného zachování pozitivních vlastností ZK například obratnost, možnost využívání termických proudů, svahování atd. Další výhodou závěsného kluzáku s pomocným motorem je jeho skladnost. Nevyžaduje místo ke stání v hangáru. Pomocný motor je možné uložit v garáži či v bytě. Tato výhoda se projeví zvláště při přepravě na startoviště. Pomocné jednotky je možné převážet v osobním automobilu.

Na závěsném kluzáku, když pomineme vlekání, je možné startovat pouze rozběhem z kopce. Pomocná jednotka by měla umožnit start i z roviny. Zpřístupnila by tedy létání pilotům, kteří nemají v okolí vhodné podmínky pro provozování tohoto sportu.

Hlavní výhodou dané koncepce je právě možnost létat pouze s pilotním průkazem na ZK.

Cílem této bakalářské práce je provést rešerši legislativy pro zjištění požadavků, které musí pomocná pohonná jednotka splňovat z pohledu její certifikace a provozu. Dále je v práci proveden rozbor technických požadavků na pomocnou pohonnou jednotku, včetně stanovení potřebného tahu a výkonu pomocné pohonné jednotky. V závěrečné části jsou uvedeny dostupné motory a zhodnocena vhodnost jejich použití v pohonné jednotce.

2 Rešerše platné legislativy a definice stavebního předpisu

Provoz a certifikace závěsných kluzáků s pomocnou pohonnou jednotkou spadají pod Leteckou amatérskou asociaci ČR (dále jen LAA). Zákon definuje pojem závěsný kluzák a motorový závěsný kluzák

- Zákonné vymezení kategorie podle vyhlášky 108/1997 Sb. § 24, odstavec 3: Závěsný kluzák je bezmotorové letadlo těžší vzduchu, které je konstruováno maximálně pro dvě osoby, jehož vzlet se uskutečňuje rozběhem pilota, aerovlekem či navijákem a které je řízeno změnou polohy těžiště pilota, s možností dodatečného aerodynamického řízení kolem jedné osy. Maximální hmotnost prázdného kluzáku bez upínacího zařízení nesmí překročit 40 kg. [1]
- Motorový závěsný kluzák je definován jako ultralehký letoun, který je konstruován maximálně pro dvě osoby, řízený přesouváním těžiště pilota, jehož pádová rychlost nepřevyšuje 65 km/h, jehož maximální vzletová hmotnost je 450 kg. [2]

Jak je patrné z výše uvedeného textu, z hlediska legislativy je zařazení závěsného kluzáku s pomocnou pohonnou jednotkou problematické. Při zpracování předkládané práce byla tato problematika konzultována s inspektorem LAA pro ZK panem Ing. Chvojkou PhD. Z konzultace vyplynulo, že LAA se touto situací zabývá. V současnosti piloti létají na závěsných kluzácích s pomocnou pohonnou jednotkou v rámci zkušebního provozu s průkazy na ZK. V České republice zatím nejsou závazné předpisy pro konstrukci a stavbu kluzáků s pomocnou pohonnou jednotkou.

Postroje s pomocnou pohonnou jednotkou, které se v ČR vyrábí, vycházejí ze Švédských motorových postrojů na závěsné kluzáky, které mají ve Švédsku atestaci a mohou tam legálně létat.

V současné době proběhlo několik jednání, s cílem definovat předpis pro stavbu a provoz závěsných kluzáků s pomocným motorem. Výsledkem jednání je návrh nové legislativy, která

prochází schvalovacím procesem. V době zpracování předkládané práce je pomocná pohonná jednotka brána jako odnímatelné zařízení (podobně jako například pomocný motor na bicyklu).

Předpokládá se, že v budoucnu bude platit původní pilotní průkaz na ZK, rozšířený o kvalifikaci pro létání s motorizovanou variantou. Vše bude probíhat na stejném principu jako například kvalifikace pro vlekání. Do technického průkazu se bude pomocná pohonná jednotka zapisovat jako přídavné zařízení. Vše bude řešeno metodickým pokynem. V době vypracování bakalářské práce (květen 2015), však nevstoupila vypracovaná legislativa v platnost.

Další kapitoly budou zpracovány podle plánované legislativy, tj. že pomocná pohonná jednotka je řešena jako odnímatelné zařízení.

3 Rešerši charakteristik závěsných kluzáku

Pro výběr pomocné pohonné jednotky je nutné definovat požadavky, které musí splňovat. Detailní rozbor kritérií výběru pohonné jednotky je uveden v 4. kapitole. Aby bylo možné stanovit potřebný tah a výkon pomocné pohonné jednotky, je nutné znát základní aerodynamické charakteristiky uvažovaných typů ZK a jejich maximální vzletovou hmotnost.

3.1 Hmotové charakteristiky ZK

U závěsných kluzáků je rozpětí hmotnosti značně veliké. Hmotnost konstrukčně jednodušších kluzáků používaných hlavně pro účely pilotních kurzů se obvykle pohybuje mezi 20 – 25 kg oproti tomu nejtěžší, aerodynamicky řízené kluzáky, mají hmotnost více jak 45 kg. Pomocná pohonná jednotka by měla být použitelná pro co nejširší rozsah ZK, používaných pro sportovní létání a tomu bude odpovídat i analýza uvažovaných kluzáků.

3.1.1 Kluzáky pro pilotní výcvik

Kluzáky Alpha od firmy Wills Wing používané pro počáteční fáze výcviku mají hmotnost 21 až 23 kg. [3] Kluzáky nemají profilované spíry. Pomocná pohonná jednotka by sice mohla kompenzovat nízkou klouzavost těchto školních křídel a teoreticky by tak vznikl snadno ovladatelný kluzák. Proti použití těchto kluzáků se ovšem staví fakt, že s ohledem na nízkou klouzavost by bylo nezbytné použít silnější motor. Není však pravděpodobné, že tyto kluzáky bude někdo používat i po ukončení pilotního výcviku, proto tyto kluzáky nebudou pro další analýzy uvažovány.

3.1.2 Kluzáky pro sportovní létání

U kluzáků od firmy Finsterwalder je kladen důraz především na skladnost a nízkou hmotnost. Typ Lightfex určený pro piloty s hmotností do 75 kg váží pouhých 19,5 kg. [5]

Nejtěžší kluzáky, řízené aerodynamicky, tzv. rigid wing vyráběné firmou A-I-R dosahují hmotnosti 47,5 Kg (např. Atos VX) [4]. Dle platné legislativy však závěsné kluzáky provozované v České republice nesmí překročit 40 Kg. [1]

3.1.3 Hmotnost pilota

Hmotnost pilota významným způsobem určuje hmotnost kluzáku. Těžší pilot potřebuje pro zachování podobných vlastností kluzáku větší plochu křídla. Zároveň i únosnost konstrukce ZK musí odpovídat uvažované hmotnosti pilota. U stejného typu se tak může hmotnost lišit i o 5 Kg.

Rozdíl hmotnosti mezi jednotlivými piloty může činit až dvojnásobek. Pro výpočty je důležitá horní hranice. Maximální hmotnost pilota je nutné stanovit empiricky. Jelikož start probíhá rozběhem je pravděpodobné, že hmotnost pilota nepřesahuje 120 kg.

Pokud výrobce udává maximální hmotnost pilota, je tímto údajem myšlena celková hmotnost i s veškerým vybavením, které je spolu s pilotem zavěšeno pod křídlem, často nazvaná Hook-in Weight. Z výše uvedených hodnot je patrné, že vzletová hmotnost jednotlivých kluzáků se může lišit až o 2,5 násobek. Jelikož by měl být výsledný pohon univerzální, je potřeba uvažovat tyto rozdíly v následujících výpočtech.

3.2 Aerodynamické charakteristiky ZK

Měření aerodynamických charakteristik ZK je obvykle zatíženo chybou způsobenou nestálostí podmínek. Závěsný kluzák reaguje citlivě na jednotlivé děje v ovzduší, zvláště na termické proudy, proto měření probíhá v době, kdy se netvoří výraznější termické proudy, které by výkonost kluzáku ovlivňovaly. Aerodynamické charakteristiky ZK ovlivňuje také hmotnost pilota a jeho pozice v závěsu.

Nejdůležitějším kritériem z hlediska výpočtů potřebného výkonu je rychlost opadání v závislosti na vodorovné rychlosti. Pomocí těchto hodnot bude možné stanovit požadovaný výkon nutný k udržení ZK ve stejné letové hladině či ke stoupání závěsného kluzáku. Jelikož pomocná jednotka může sloužit pouze k udržení pilota ve stejné letové hladině při startu z kopce, není nutné, aby pomocná pohonná jednotka splňovala minimální stoupavost. V zájmu bezpečí pilota, bude ve výpočtech uvažován požadavek na minimální stoupavost 1,5 m/s.

Pilot při letu nemá rychloměr, neví přesně, jak rychle letí. Musí se řídit pouze citem. Pro většinu pilotů proto není údaj o minimální rychlosti příliš důležitý a tak ho výrobci často neudávají.

Dalším parametrem bude minimální rychlost. Jelikož start probíhá rozběhem, je nutné, aby byl tah dostatečně velký, a minimální rychlost byla dosažena co nejdříve. Při menší rychlosti nemá kluzák potřebný vztlak a je proto značně nestabilní. V této fázi je kluzák obtížně říditelný, jelikož kluzák ještě neletí, nereaguje na změnu těžiště jako za letu a je pro pilota složitější vyrovnat náklon kluzáku. Proto se i slabý poryv bočního větru může stát v tuto chvíli nebezpečným.

Délka startu je kromě vlastností ZK závislá i na výkonu a dovednosti pilota, které se obtížně definují. V dalším textu nebude start ZK dále analyzován.

3.2.1 Korekce aerodynamických charakteristik na hmotnost pilota

Někteří výrobci křidel uvádějí hmotnost pilota, pro kterou byly aerodynamické charakteristiky měřeny. Pro uvažovanou, maximální hmotnost pilota je nutné naměřené hodnoty korigovat dle (1). Postup korekce byl převzat z [6].

$$k = \sqrt{\frac{m_{130\%} + m_{kluzáku}}{m_{max} + m_{kluzáku}}} \quad (1)$$

Kde:

$m_{130\%}$ 130% minimální doporučené hmotnosti pilota

m_{max} maximální povolená hmotnost pilota

pro kluzák Falcon platí:

$$m_{130\%} = 175 \cdot 1,3 = 227,5 \text{ lbs}$$

$$m_{max} = 275 \text{ lbs}$$

$$m_{kluzáku} = 54 \text{ lbs}$$

$$k = \sqrt{\frac{175.1,3 + 54}{275 + 54}} = 0,925$$

(2)

Jelikož většina výrobců neudává, při jaké hmotnosti pilota byly hodnoty naměřeny a rozdíl po korekci koeficientem k nečiní více než 10%, je možné chybu způsobenou rozdílnou hmotností pilota zanedbat. Podobně se mohou lišit hmotnosti použitím jiného postroje [7] nebo jiných komponentů.

3.2.2 Jednopotahová křídla

Prvním typem závěsných kluzáků používaných pro sportovní létání jsou jednopotahová křídla. Tyto kluzáky mají potah pouze na horní straně profilu, spodní část potahu křídla chybí. Křídlo už má profilované spíry. Kostra není, kromě náběžné trubky ukrytá uvnitř potahu. Křídlo je bráno jako jakýsi mezistupeň mezi přestabilizovanými kluzáky, určenými pro první „skoky“ na louce a dvojpotahovými křídly. Piloti na těchto křídlech nabírají zkušenosti a jistotu v ovládání kluzáku předtím než „přesedlají“ na výkonnější, avšak méně stabilní dvojpotahové kluzáky.

Jednopotahové ZK jsou ceněny především pro svoji snadnou ovladatelnost. Piloti se s těmito kluzáky setkají již v pilotním výcviku a většinou je používají ještě nějaký čas po jeho ukončení. Jedná se o snadno říditelné, stabilní kluzáky.

Nevýhodou je jejich nižší výkonnost oproti kluzákům, které mají potah z obou stran, s duralovou kosterou ukrytou uvnitř.

Jednopotahové kluzáky bývají používány v kombinaci s pohonnou jednotkou pro svoji snadnou ovladatelnost. Velké opadání je kompenzováno právě výkonem pohonné jednotky.

Do této kategorie spadá například Falcon od firmy Wills Wing. Výrobce udává graf naměřených hodnot [6], který je uveden v příloze 2. Odečtené hodnoty, které byly použity v dalším výpočtu, jsou uvedeny v Tab. 1

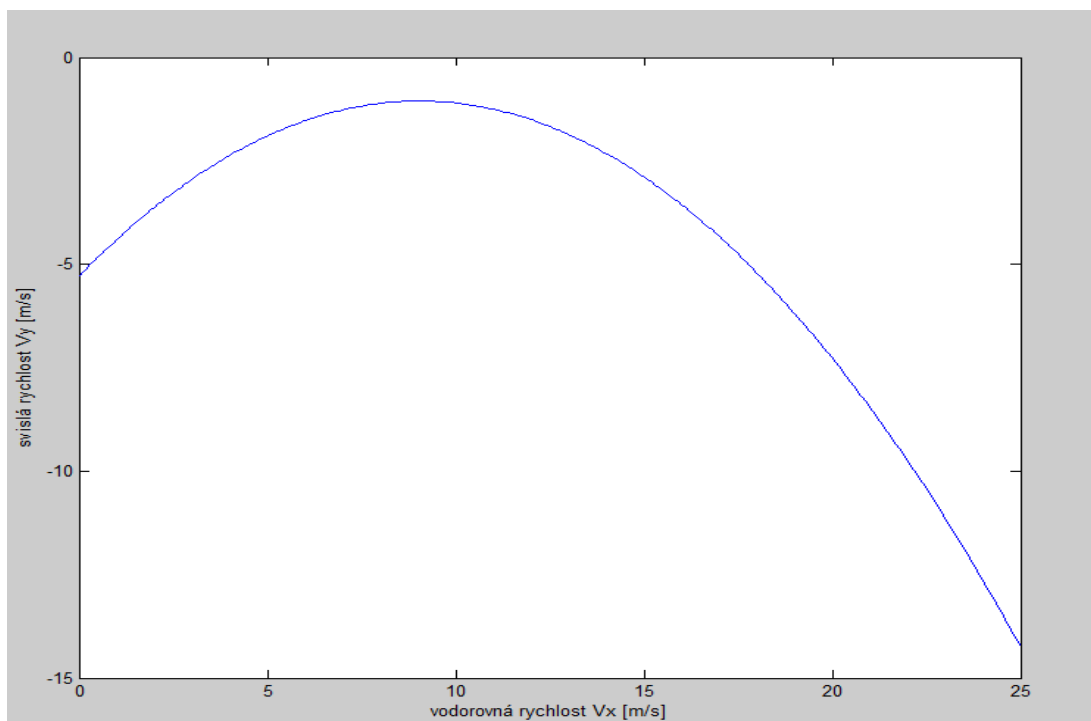
Tab. 1 Parametry ZK Falcon

v_x [m/s]	8,8	11,4	12,3	13,7	14,4
v_y [m/s]	1,07	1,295	1,52	2,03	2,54

Pro aproximaci naměřených hodnot hladkou křivkou byl zvolen polynom 2. stupně. Program použitý pro výpočet koeficientu v prostředí Matlab je uveden v Příloze 3.

Vypočtená rychlostní polára ZK Falcon

$$v_y = -0,0518v_x^2 + 0,9362v_x - 5,285 \quad (3)$$



Obrázek 2: křivka rychlostní poláry kluzáku Falcon 4

3.2.3 Dvojpotahová křídla

Dále bude provedena analýza pro dvojpotahové kluzáky se stožárkem, určenými pro začínající piloty. Jedná se stále o dobře říditelné kluzáky. Jsou méně stabilní tudíž citlivější na zásahy pilota než jednopotahové kluzáky, nicméně stále se jedná o relativně snadno ovladatelná křídla. Jejich výhodou je lepší výkonnost křídla oproti jednopotahovým. Nižší opadání se projeví především při vyšších rychlostech.

3.2.3.1 Závěsný Kluzák Wills Wing Sport

Uvažovaným kluzákem spadajícím do této kategorie je například Wills Wing Sport. Hodnoty opadání pro vodorovné rychlosti v_x odečtené z grafu v Příloze 2 [6]

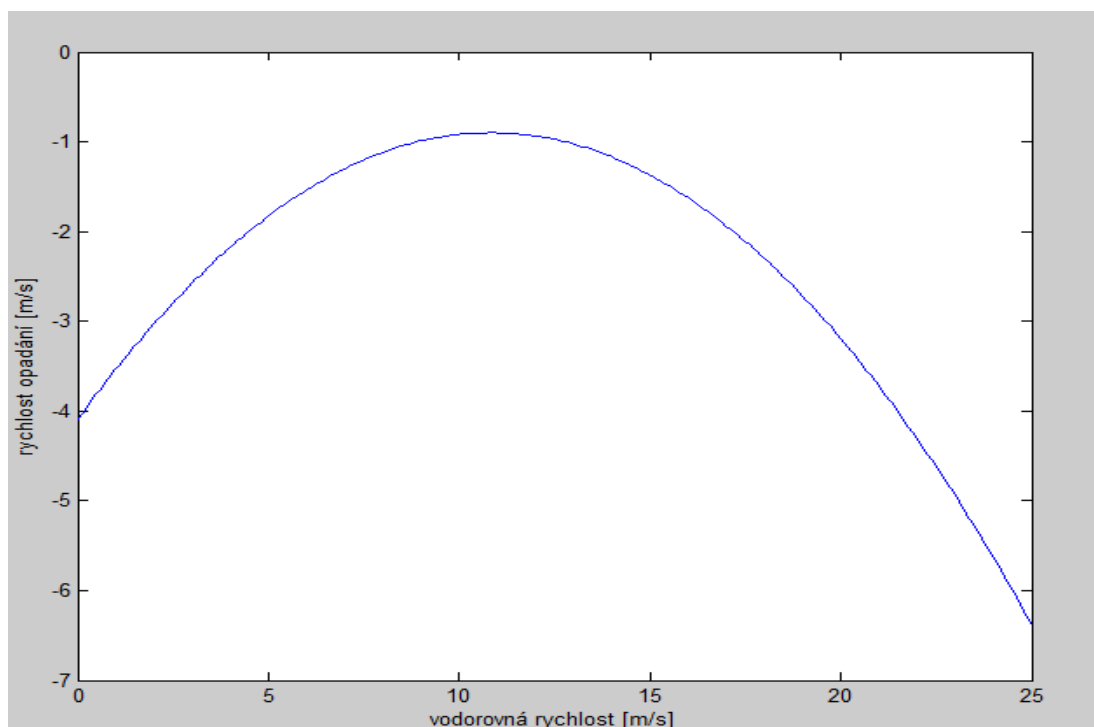
Tab. 2 Parametry ZK Wills Wing Sport

v_x [m/s]	11,2	12,9	15,6	17,3	18,6
v_y [m/s]	0,902	1,02	1,52	2,03	2,54

Pro aproximaci naměřených hodnot hladkou křivkou byl zvolen polynom 2. stupně. Program použitý pro výpočet koeficientu v prostředí Matlab je uveden v Příloze 3.

Vypočtená rychlostní polára ZK Wills Wing Sport

$$v_y = -0,0272v_x^2 + 0,5909v_x - 4,0997 \quad (4)$$



Obrázek 3: křivka rychlostní poláry kluzáku Wills Wing Sport

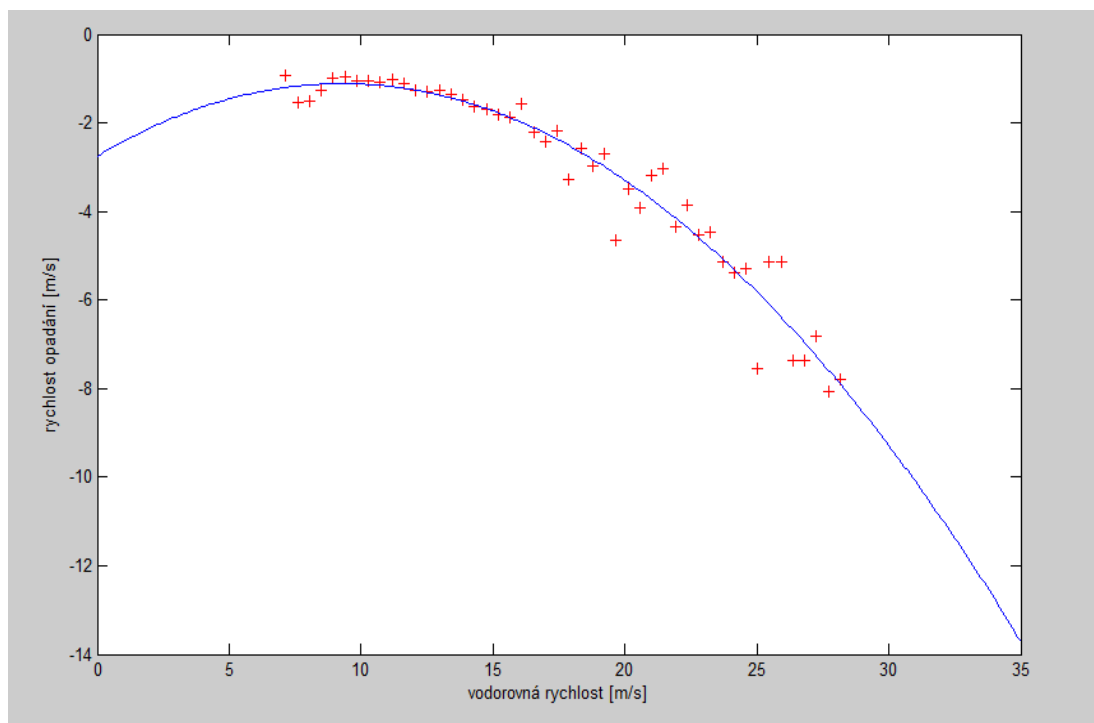
3.2.3.2 Závěsný kluzák Laminar

Dalším kluzákem z této kategorie je Laminar od firmy Icaro 2000. Měření probíhalo za klidného počasí v 7 hodin ráno, kdy ještě měření příliš neovlivňovala termika. Tabulka naměřených hodnot je v Příloze 5 [8].

Tabulka v Příloze 5 obsahuje naměřené hodnoty opadání pro dané rychlosti. Jelikož hodnoty nejsou na jedné křivce, je nutné provést aproximaci. Tu provedeme pomocí programu v prostředí Matlab (příloha 6).

Vypočtená rychlostní polára pro ZK Laminár

$$v_y = -0,019v_x^2 + 0,3532v_x - 2,7526 \quad (5)$$

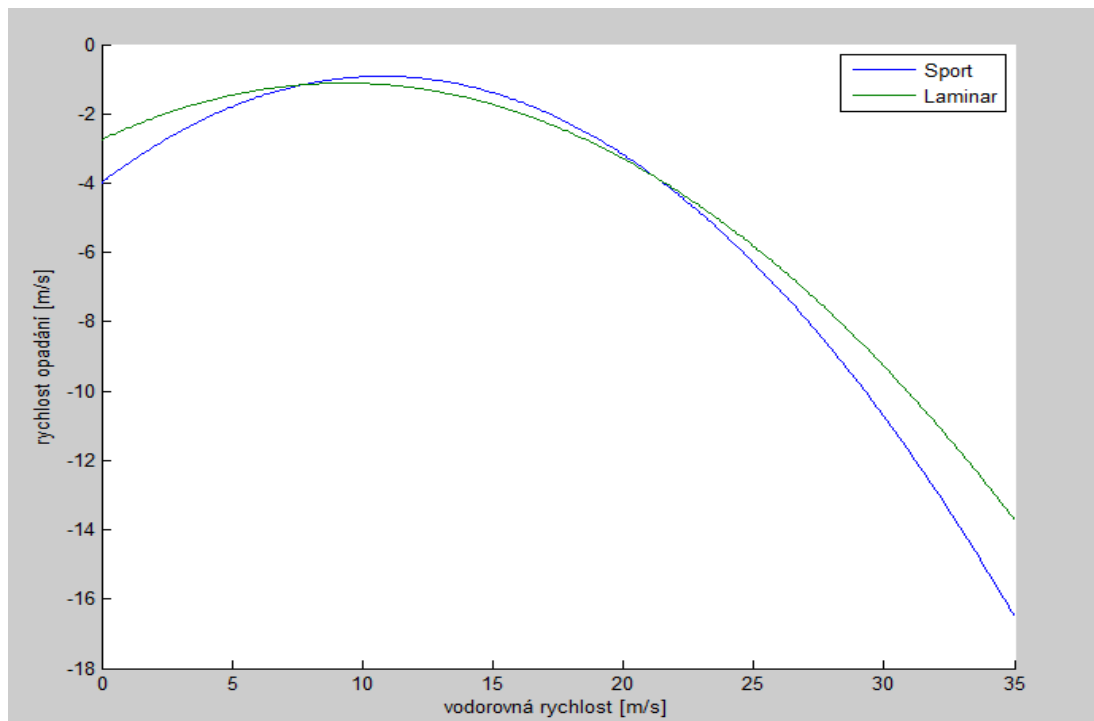


Obrázek 4: vypočtená rychlostní polára kluzáku Laminar

Do grafu poláry byly znázorněny i červené body označují naměřené hodnoty. Je patrné, že při vyšších rychlostech jsou odchylky od aproximovaných hodnot větší. Při větších rychlostech je křídlo méně stabilní, reaguje rychleji na změny těžiště pilota a je komplikovanější udržet konstantní rychlost. Původní předpoklad použít aproximaci metodou nejmenších čtverců místo

interpolace se ukázal jako správný. Interpolaci je možné použít pouze v případě, že by body ležely přímo na křivce poláry, tzn. není uvažována chyba.

3.2.3.3 Srovnání polár předchozích kluzáků Sport a Laminar



Obrázek 5: srovnání rychlostních polár kluzáků Sport a Laminar

3.2.4 Vysokovýkonné kluzáky

Poslední kategorií jsou výkonné kluzáky určené pro zkušené piloty. Mohou být řízené buď změnou těžiště, nebo aerodynamicky.

Tyto kluzáky jsou většinou méně stabilní než předchozí typy. Jejich pilotáž proto vyžaduje jisté zkušenosti.

Jsou však mnohem výkonnější. Rozdíl v opadání je patrný především při vyšších rychlostech. V případě použití pohonné jednotky, by tedy umožňovaly lety při vyšších rychlostech oproti kluzákům z předchozích kategorií.

3.2.4.1 ZK Litespeed S4

Jedním z těchto kluzáků je například Litespeed S4 od firmy Moyes. Výrobce udává přímo 2 hodnoty pro stanovení poláry. Pro vodorovnou rychlost 40 km/h (11,1 m/s) je opadání 0,9 m/s a pro rychlost 80 km/h (22,2 m/s) je to 2,5 m/s. [7]

Dále udává vodorovné rychlosti, pro které je poměr vodorovná rychlost:klesavost 14,5:1 pro vodorovnou rychlost 47 km/h a 10:1 pro vodorovnou rychlost 70 km/h. Při rychlosti 47 km/h výrobce udává optimální úhel klesání. [7]

Při poměru 14,5:1 uletí tedy kluzák 14,5 m ve vodorovném směru a ztratí 1 m výšky. Je-li vodorovná rychlost 47 km/h, tzn. 13,05 m/s. Pak výsledná rychlost opadání bude:

$$v_y = \frac{13,0556}{14,5} = 0,9004 \text{ m/s} \quad (6)$$

Pro poměr 10:1 platí:

Vodorovná rychlost je 70 km/h, tzn. 19,44 m/s

$$v_y = \frac{19,444}{10} = 1,94 \text{ m/s} \quad (7)$$

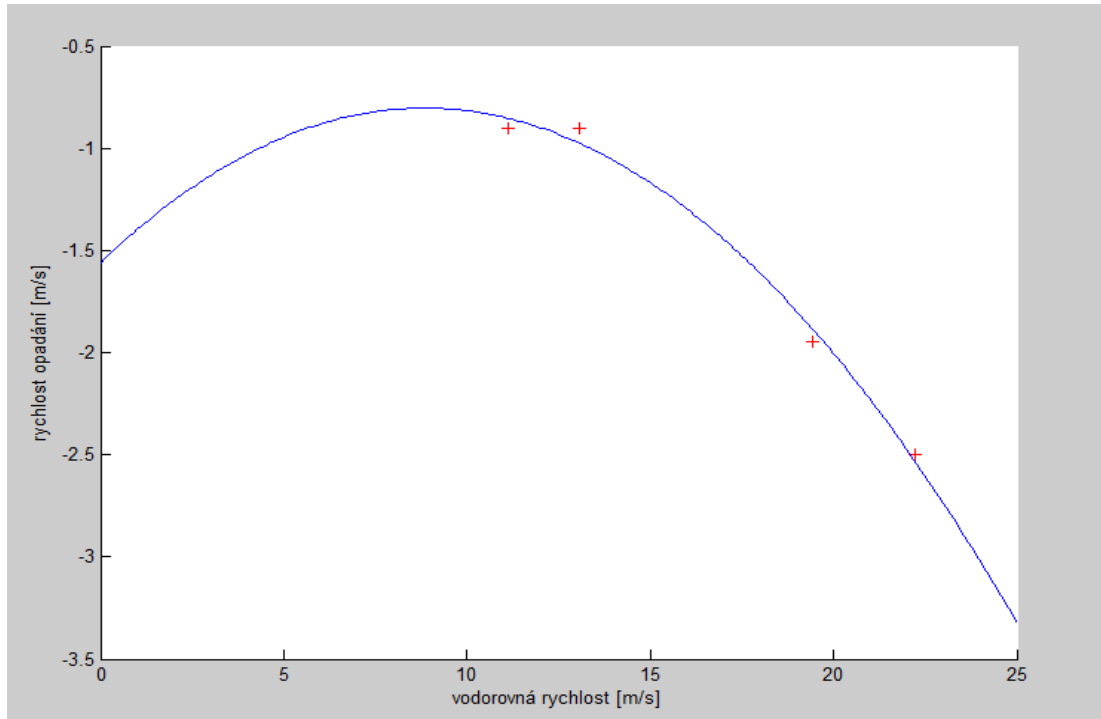
Tab. 3 Parametry ZK Moyes Litespeed S4

v_x [m/s]	11,1	13,05	19,4	22,2
v_y [m/s]	0,9	0,9	1,94	2,5

Výše definované body budou aproximovány polynomem 2. stupně pomocí programu Matlab (Příloha 7).

Vypočtená rychlostní polára

$$v_y = -0,0096 \cdot v_x^2 + 0,1707 v_x - 1,5585 \quad (8)$$



Obrázek 6: křivka rychlostní poláry kluzáku Litespeed S

Minimální opadání by mělo být při rychlosti přibližně 40 km/h. [7] Z grafu funkce je patrné, že aproximovaná rychlostní polára nevystihuje definiční body (maximum při nižší rychlosti než je 40 km/h).

Derivací této funkce získáme rovnici:

$$v'_y = 2 \cdot (-0,0096 \cdot v_x) + 0,1707 \quad (9)$$

Položíme derivaci rovnu 0 a získáme v_x pro minimální opadání:

$$v_x = \frac{0,1707}{2 \cdot 0,0096} = 8,891 \text{ m/s} = 32,006 \text{ km/h} \quad (10)$$

Je tedy patrné, že výsledná rovnice není správná, neboť minimální opadání by mělo být při 40 km/h

Pro správnou interpretaci naměřených hodnot bylo nutné modifikovat výše uvedený postup. Pro definici rychlostní poláry byly definované okrajové podmínky, které musí aproximační křivka splňovat, tj. aby rychlost opadání v_y byla maximální (jedná se o záporné

hodnoty) pro dopřednou rychlost 40 km/h. První derivace se tedy pro danou rychlost bude muset rovnat nule.

$$v_y = 2a_2 \cdot v_x^2 + a_1 \cdot v_x + a_0 = 0 \quad (11)$$

$$v'_y = 2a_2 \cdot v_x + a_1 = 0 \Rightarrow a_1 = -2a_2 \cdot v_x \quad (12)$$

$$v_x = \frac{40}{3,6} \text{ m/s} \quad (13)$$

$$a_1 = -2 \cdot \frac{40}{3,6} a_2 \quad (14)$$

Pro polynom 2. stupně platí rovnice:

$$\begin{pmatrix} n+1 & \sum_{i=0}^n x_i & \sum_{i=0}^n x_i^2 \\ \sum_{i=0}^n x_i & \sum_{i=0}^n x_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^3 \\ \sum_{i=0}^n x_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^3 & \sum_{i=0}^n x_i^4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^n y_i \\ \sum_{i=0}^n x_i \cdot y_i \\ \sum_{i=0}^n x_i^2 \cdot y_i \end{pmatrix} \quad (15)$$

Dosadíme-li za a_1 dostaneme:

$$\begin{pmatrix} n+1 & \sum_{i=0}^n x_i & \sum_{i=0}^n x_i^2 \\ \sum_{i=0}^n x_i & \sum_{i=0}^n x_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^3 \\ \sum_{i=0}^n x_i^2 & \sum_{i=0}^n x_i^3 & \sum_{i=0}^n x_i^4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ -\frac{80}{3,6} a_2 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^n y_i \\ \sum_{i=0}^n x_i \cdot y_i \\ \sum_{i=0}^n x_i^2 \cdot y_i \end{pmatrix} \quad (16)$$

Po roznásobení získáme tedy 3 rovnice:

$$(n+1)a_0 - \left(\frac{80}{3,6} \sum_{i=0}^n x_i\right) a_2 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^2\right) a_2 = \sum_{i=0}^n y_i \quad (17)$$

$$\left(\sum_{i=0}^n x_i\right) a_0 - \left(\frac{80}{3,6} \sum_{i=0}^n x_i^2\right) a_2 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^3\right) a_2 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot y_i \quad (18)$$

$$\left(\sum_{i=0}^n x_i^2\right) a_0 - \left(\frac{80}{3,6} \sum_{i=0}^n x_i^3\right) a_2 + \left(\sum_{i=0}^n x_i^4\right) a_2 = \sum_{i=0}^n x_i^2 \cdot y_i \quad (19)$$

Získali jsme soustavu 3 rovnic o 2 neznámých. Soustava rovnic je lineárně závislá. Jedna rovnice lze napsat jako lineární kombinace zbývajících.

Výsledná rovnice pro rychlost opadání má tedy tvar:

$$v_y = -0,0136v_x^2 + 0,3026v_x - 2,5729 \quad (20)$$

Pro ověření správnosti výpočtu byla vypočtena maximální rychlost opadání pro uvažovanou rychlostní poláru

$$v'_y = -0,0272v_x + 0,3026 \quad (21)$$

$$v'_y = 0 \quad (22)$$

Po dosazení

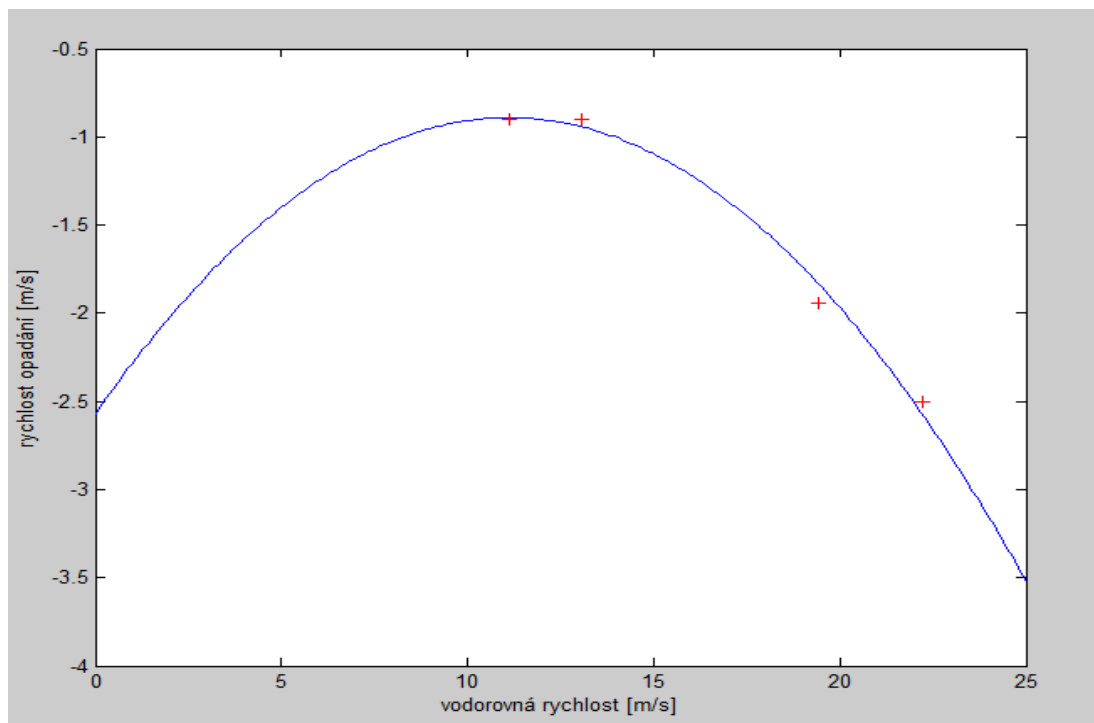
$$-0,0272v_x + 0,3026 = 0 \quad (23)$$

Vypočtená rychlost maximálního opadání

$$v_x = \frac{0,3026}{0,0272} \text{ m/s} \quad (24)$$

$$v_x = 11,125 \text{ m/s} = 40,05 \text{ km/h} \quad (25)$$

Vypočítaná rychlost maximálního opadání je 40 km/h, což je v dobré shodě s daty udávanými výrobcem.



Obrázek 7: upravená křivka rychlostní poláry kluzáku Litespeed S

3.2.4.2 ZK Wills Wing Talon

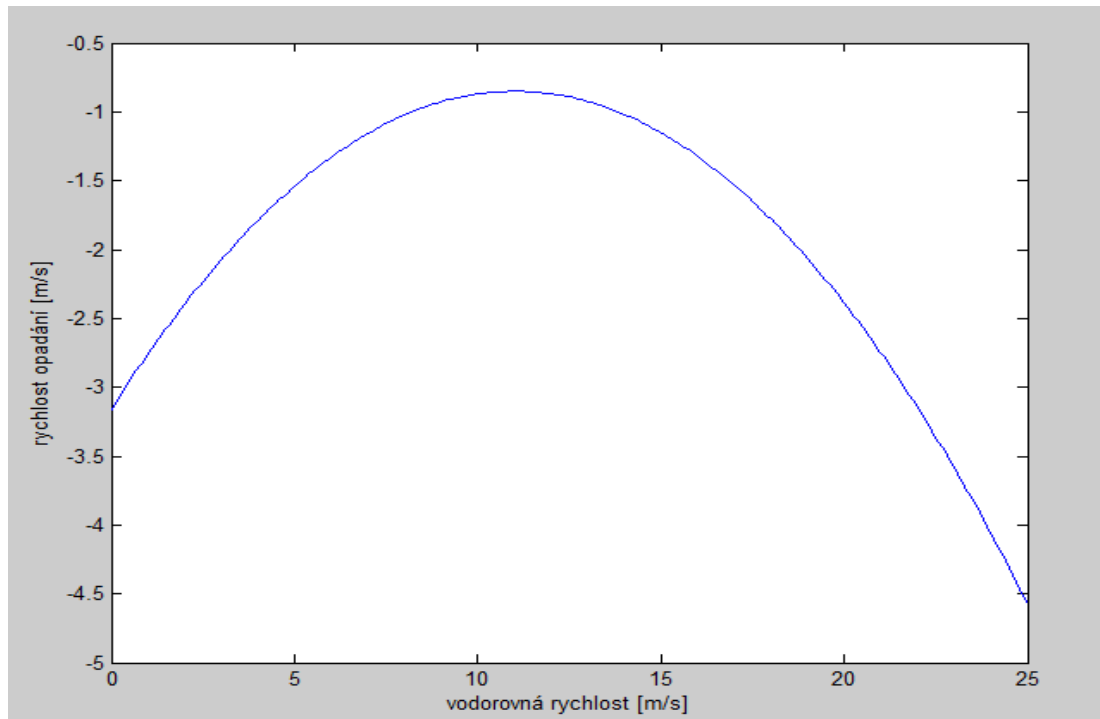
Dalším kluzákem z této kategorie je Wills Wing Talon. Z grafu poláry v Příloze 2 byly odečteny hodnoty: [6]

Tab. 4 Parametry ZK Wills Wing Talon

v_x	11,2	14,04	17,1	18,99	20,6
v_y	0,85	1,02	1,52	2,03	2,54

Hodnoty převedené na m/s byly interpolovány polynomem 2. Stupně v programu Matlab (Příloha 9). Vypočtená rovnice rychlostní poláry

$$v_y = -0,0190 \cdot v_x^2 + 0,4191 v_x - 3,1599 \quad (26)$$



Obrázek 8: křivka rychlostní poláry kluzáku Talon

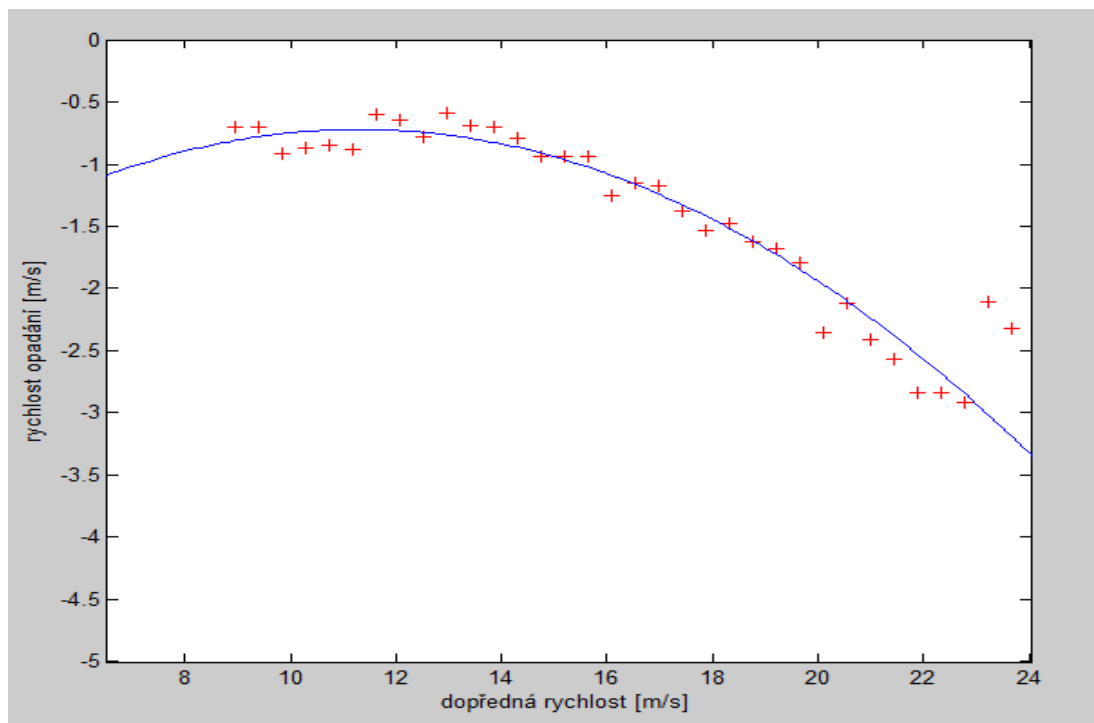
3.2.4.3 ZK Exxtacy 160

Dalším typem výkonných kluzáků jsou kluzáky řízené nikoliv změnou těžiště ale aerodynamicky. Do této kategorie patří například kluzák Exxtacy 160. Naměřené hodnoty z Přílohy 10 [8] byly aproximovány polynomem 2. stupně (Příloha 11).

Vypočtená rovnice rychlostní poláry

$$v_y = -0,0161 \cdot v_x^2 + 0,365v_x - 2,7832$$

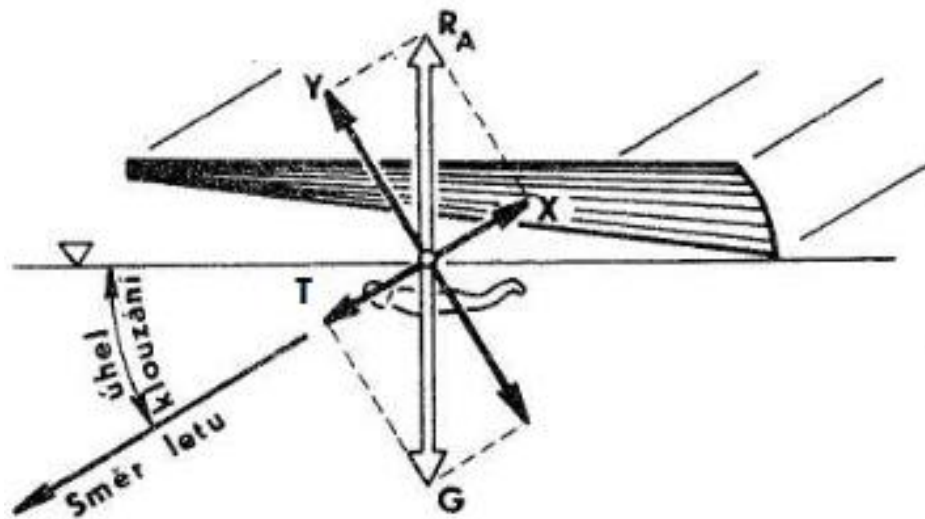
(27)



Obrázek 9: křivka rychlostní poláry kluzáku Exxtacy (naměřené hodnoty zobrazené značkou "+")

4 Výpočet potřebného výkonu pohonné jednotky

4.1 Rozbor sil působících na kluzák



Obrázek 10 Rozložení sil působících na závěsný kluzák [9]

Pro výpočet potřebného tahu a výkonu pomocné pohonné jednotky se vychází ze zjednodušeného modelu rovnováhy sil působících na ZK.

Na obr. 1 je znázorněno působení sil na bezmotorový závěsný kluzák při ustáleném klouzavém letu. Proti gravitační síle G působí výsledná aerodynamická síla R_A . Z obrázku je patrné, že proti aerodynamickému odporu X působí síla T . Jedná se o složku tíhy G , která působí ve směru rychlosti. Úhel klouzání γ je dán poměrem svislé a vodorovné rychlosti. Platí tedy:

$$\tan \gamma = \frac{v_y}{v_x} \quad (28)$$

$$\gamma = \arctan \frac{v_y}{v_x} \quad (29)$$

$$T = G \cdot \sin \gamma \quad (30)$$

$$T = X \quad (31)$$

T je tah při dopředné rychlosti v_∞ jejíž vektor má stejný směr jako trajektorie letu.

Pro v_∞ platí:

$$v_\infty = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (32)$$

Je-li známa hmotnost a klouzavost závěsného kluáku jt. poměr svislé ku vodorovné rychlosti, je možné vypočítat sílu potřebnou k udržení kluzáku ve vodorovném letu.

Při stoupání působí proti směru letu ještě složka tíhy kluzáku. Pro zjištění síly nutné ke stoupání kluzáku s konstantní rychlostí, je nutné tah potřebný pro vodorovný let zvýšit o tah potřebný ke stoupání. Jeli úhel, pod kterým kluzák stoupá, úhel ω a svislá rychlost, kterou stoupá v_s pak platí:

$$\sin \omega = \frac{v_s}{v_\infty} \quad (33)$$

Pak pro tah T_G potřebný k překonání gravitační síly při stoupání platí:

$$T_G = G \cdot \sin \omega \quad (34)$$

a tudíž pro celkový tah T_C platí:

$$T_C = T + T_G \quad (35)$$

$$T_C = G \cdot \sin \gamma + G \cdot \sin \omega \quad (36)$$

Závislost vodorovné rychlosti v_x na svislé v_y je známa, tudíž lze spočítat γ . Pomocí γ lze dále podle výše uvedených vzorců spočítat celkový tah potřebný ke stoupání 1,5 m/s T_C a potřebný výkon P.

Podle výše uvedených vzorců bude spočítán T_c i potřebný výkon P pro jednotlivé kluzáky, jejichž aerodynamické charakteristiky byly určeny v předchozích kapitolách.

4.2 Okrajové podmínky výpočtu

Minimální stoupavost není u pohonné jednotky v legislativě nijak definována, jelikož by měla být pomocná pohonná jednotka kromě udržení stejné letové hladiny při startu z kopce schopná i startu z roviny. Požadovaná rychlost stoupání byla stanovena na 1,5 m/s. Hodnota byla převzata z předpisů pro UL letadla a MZK. Pomocí výše uvedených vzorců, byl spočítán potřebný tah T_c a výkon P .

Dále byl stanoven rozsah vodorovné rychlosti, při které bude kluzák běžně používán a při které by měla být splněna podmínka stoupavosti 1,5 m/s. Rychlost byla stanovena mezi 10 m/s až 20 m/s. Jedná se o rozpětí rychlostí, kterou létají bezmotorové závěsné kluzáky za běžného provozu. Pokud by měla být udržena stejná minimální stoupavost i při vyšších rychlostech, znamenalo by to zvýšení potřebného výkonu a tudíž pravděpodobně i volbu silnějšího, těžšího a dražšího motoru.

Výsledné hodnoty neudávají potřebný výkon a tah motoru, ale výkon a tah, který je nutné mít „na vrtuli“. Pro určení výkonu motoru by bylo nutné, zjistit účinnost vrtule při daných rychlostech. Výpočet účinnosti vrtule však přesahuje rámec této bakalářské práce.

4.3 Vypočtené hodnoty potřebného tahu a výkonu

4.3.1 Kluzák Falcon-potřebný tah a výkon

První bude stanoven výkon pro kluzák Falcon, jehož aerodynamické charakteristiky jsou uvedeny v kapitole 3. Výrobce uvádí hmotnost kluzáku 24,5 kg a maximální hmotnost pilota v závěsu i s veškerým vybavením 124,7 kg. Tato hmotnost nesmí být překročena, a proto v případě použití pohonné jednotky musí být maximální hmotnost samotného pilota nižší o váhu pohonné jednotky. Celková hmotnost bude $m=149,2$ kg. [10]

Pro hodnotu $v_x = 10$ m/s platí:

$$v_y = -0,0518 v_x^2 + 0,9362 v_x - 5,2850 = 1,103 \text{ m/s} \quad (37)$$

$$\gamma = \arctan \frac{v_y}{v_x} = \arctan \frac{1,103}{10} = 0,1099 \text{ rad} \quad (38)$$

Potřebný tah nutný k udržení vodorovného letu bude tedy:

$$T = G \cdot \sin \gamma = m \cdot g \cdot \sin \gamma = 149,2 \cdot 9,81 \cdot \sin 0,1099 = 160,5 \text{ N} \quad (39)$$

Dále byla vypočítána rychlost letu v_∞ :

$$v_\infty = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{10^2 + 1,103^2} = 10,06 \text{ m/s} \quad (40)$$

Při rychlosti stoupání 1,5 m/s pro úhel stoupání ω platí:

$$\sin \omega = \frac{v_s}{v_\infty} = \frac{1,5}{10,06} = 0,1491 \rightarrow \omega = 0,1497 \text{ rad} \quad (41)$$

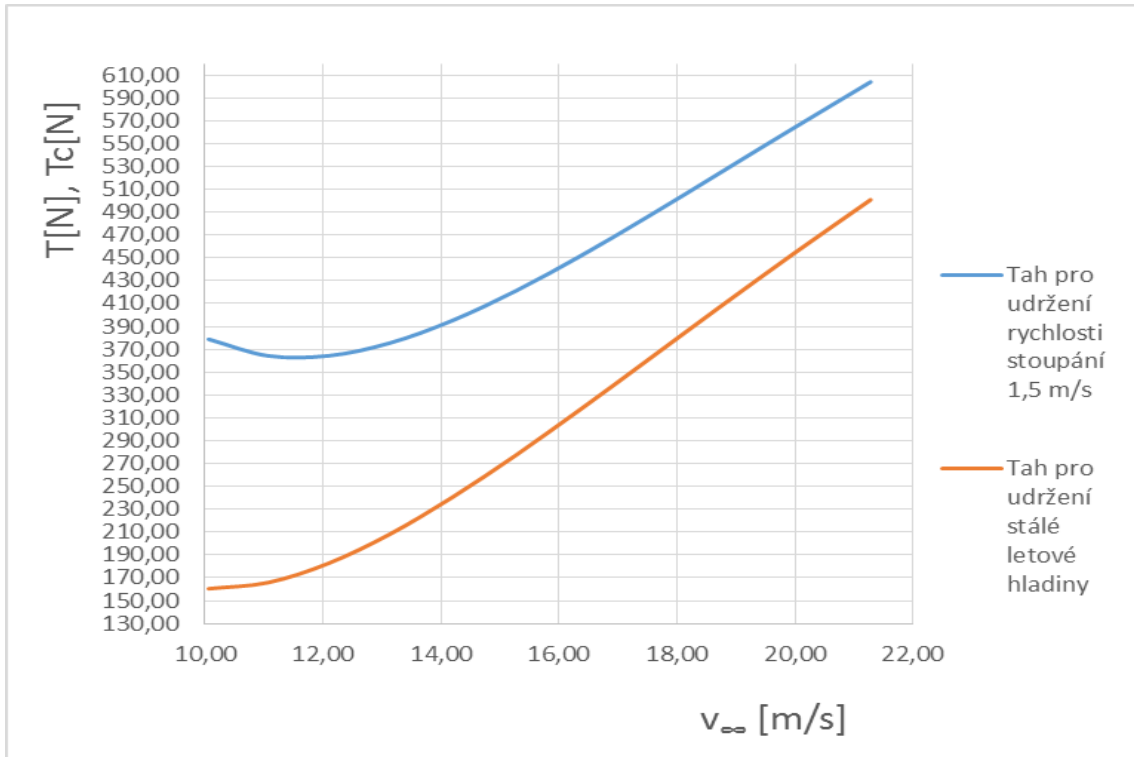
$$T_G = G \cdot \sin \omega = m \cdot g \cdot \sin \omega = 149,2 \cdot 9,81 \cdot 0,1491 = 218,27 \text{ N} \quad (42)$$

Výsledný tah a výkon tedy budou:

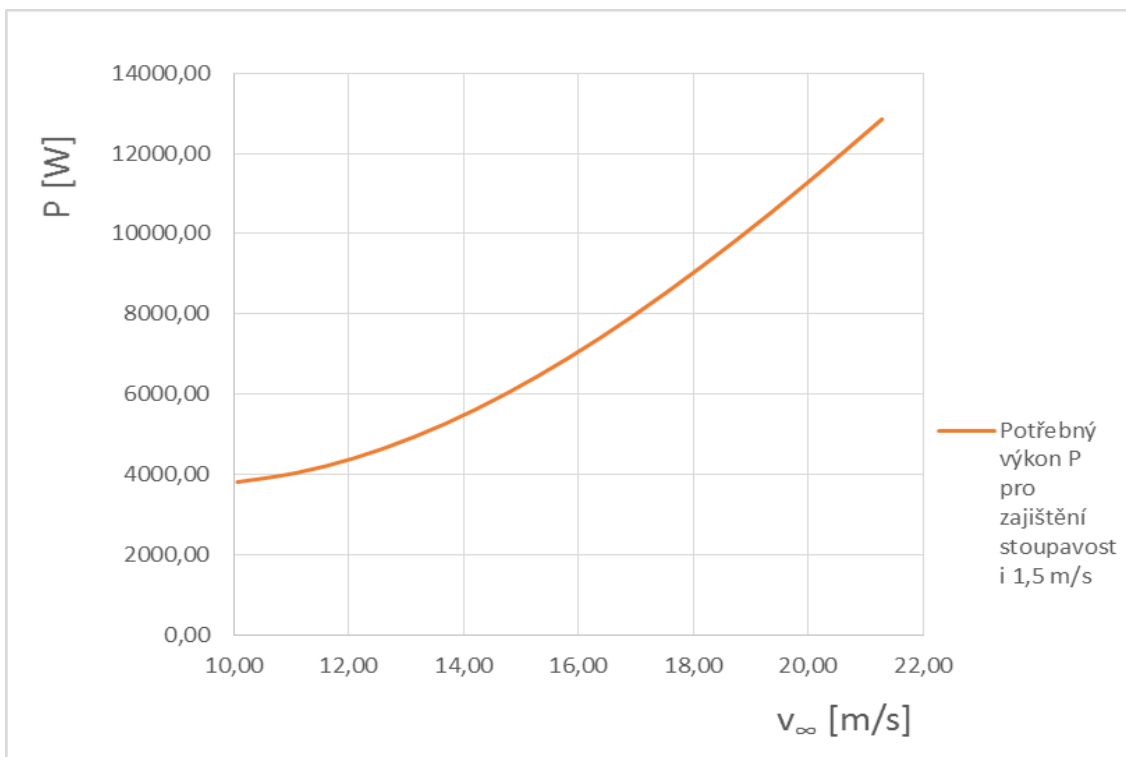
$$T_C = T + T_G = 160,5 + 218,27 = 378,77 \text{ N} \quad (43)$$

$$P = T_C \cdot v_\infty = 378,77 \cdot 10,06 = 3810,7 \text{ W} \quad (44)$$

Pro další rychlosti v rozmezí 10-20 m/s byly vypočítány hodnoty potřebného tahu a výkonu pomocí programu Excel. Tabulka s naměřenými hodnotami je uvedena v Příloze 12.



Obrázek 11 Potřebný tah kluzáku Falcon

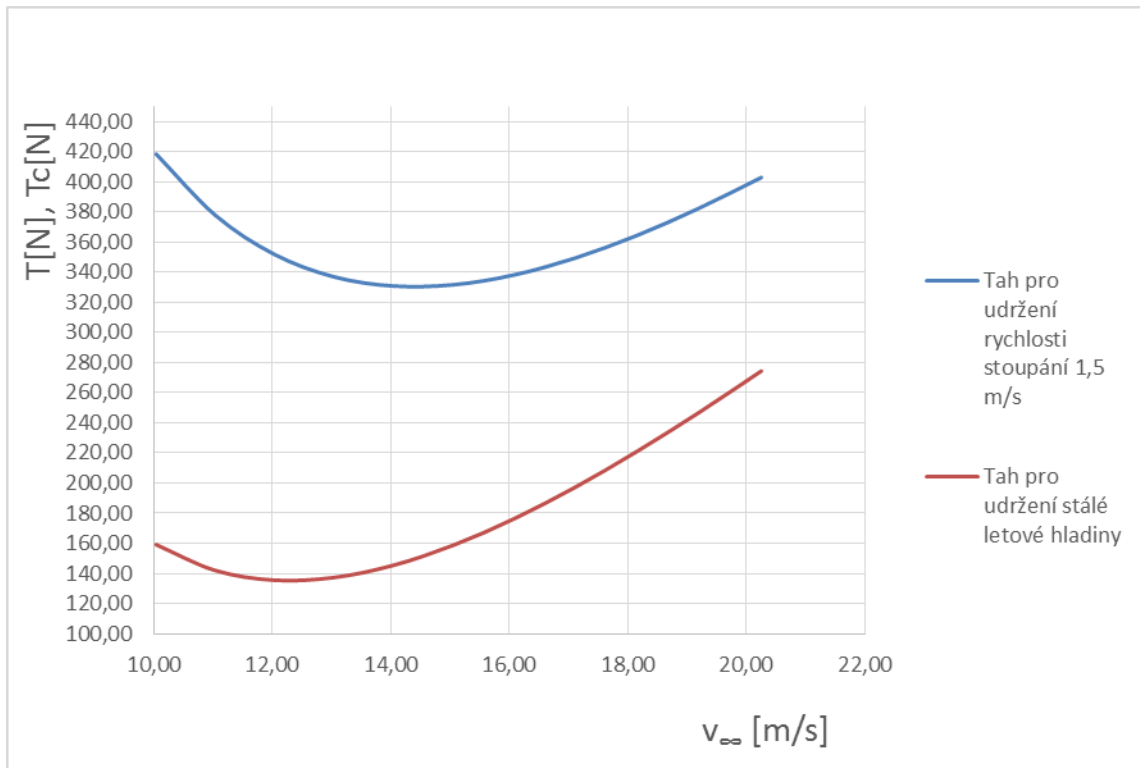


Obrázek 12 Potřebný výkon kluzáku Falcon

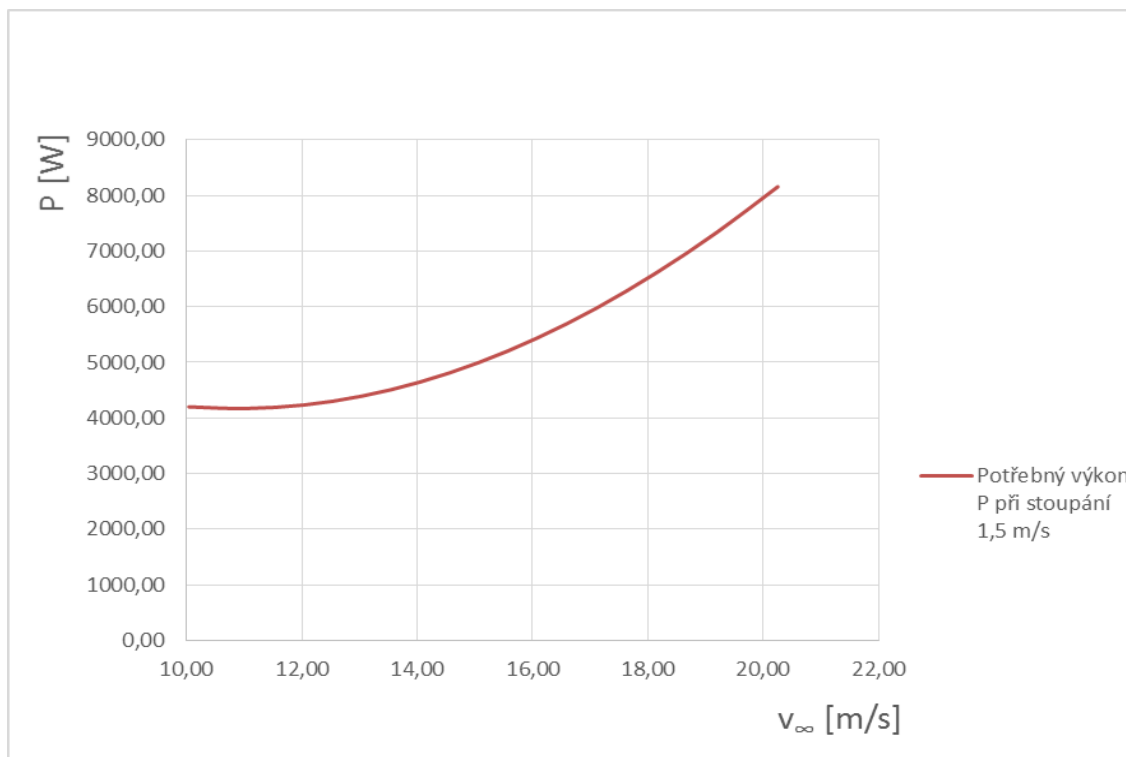
Stejným způsobem bude dále spočítán potřebný tah a výkon i pro další kluzáky. Výpočty byly provedeny pomocí programu Excel. Tabulky s vypočtenými hodnotami jsou uvedeny v příloze 12.

4.3.2 Kluzák Sport- Potřebný tah a výkon

Pro kluzák Wills Wing Sport 2 175 nesmí maximální váha pilota i s veškerým vybavením přesáhnout 320 lbs a váha kluzáku je 70 lbs, [11] tzn. celková hmotnost kluzáku pro kterou je proveden výpočet je 390 lbs, tedy 176,9 kg. Výsledné hodnoty pro potřebný tah jsou v tabulce v Příloze 13 a zpracovány graficky:

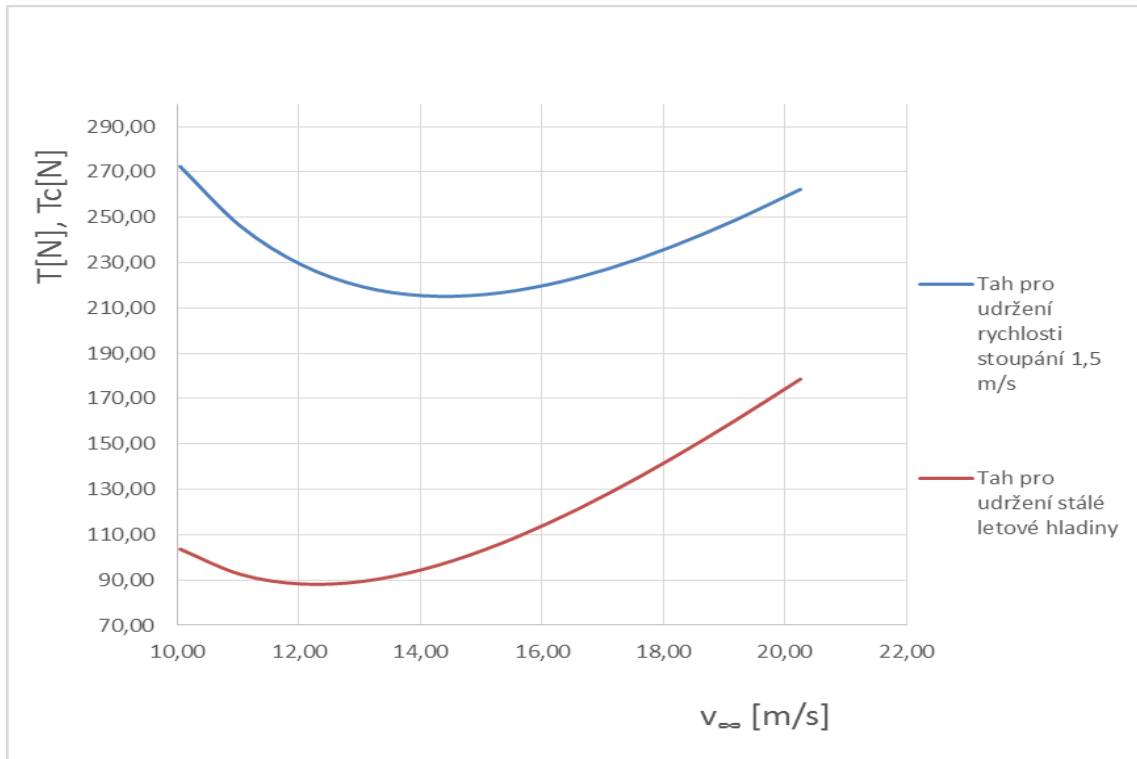


Obrázek 13 Potřebný tah kluzáku Sport 2 175

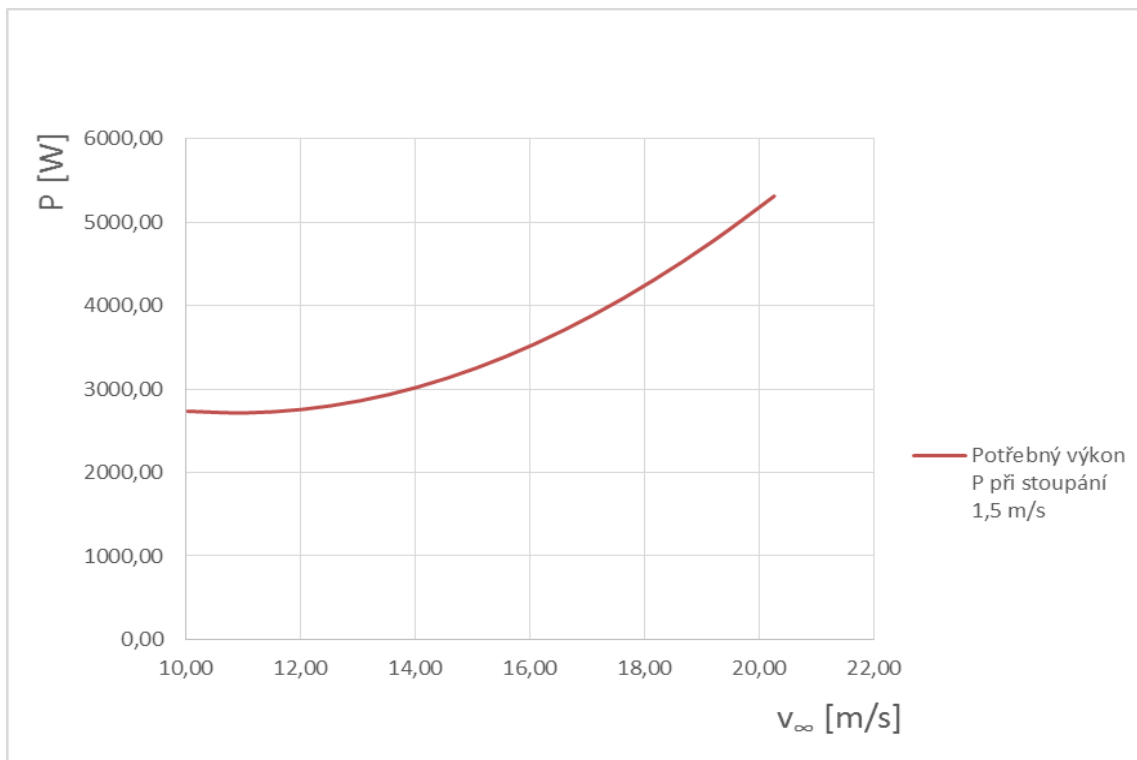


Obrázek 14 Potřebný výkon kluzáku Sport 2 175

Vypočítané hodnoty udávají potřebný výkon při maximální povolené hmotnosti pilota s vybavením. Není však pravděpodobné, že této hmotnosti bude běžně dosahováno. Pro představu jsou v Příloze 14 uvedeny hodnoty pro variantu Sport 2 135 pro piloty s hmotností 135-200 lbs a hmotnost kluzáku 54 lbs [11] Výpočty provedeny pro celkovou hmotnost 115,2 kg. Výsledné hodnoty jsou taktéž zpracovány graficky:



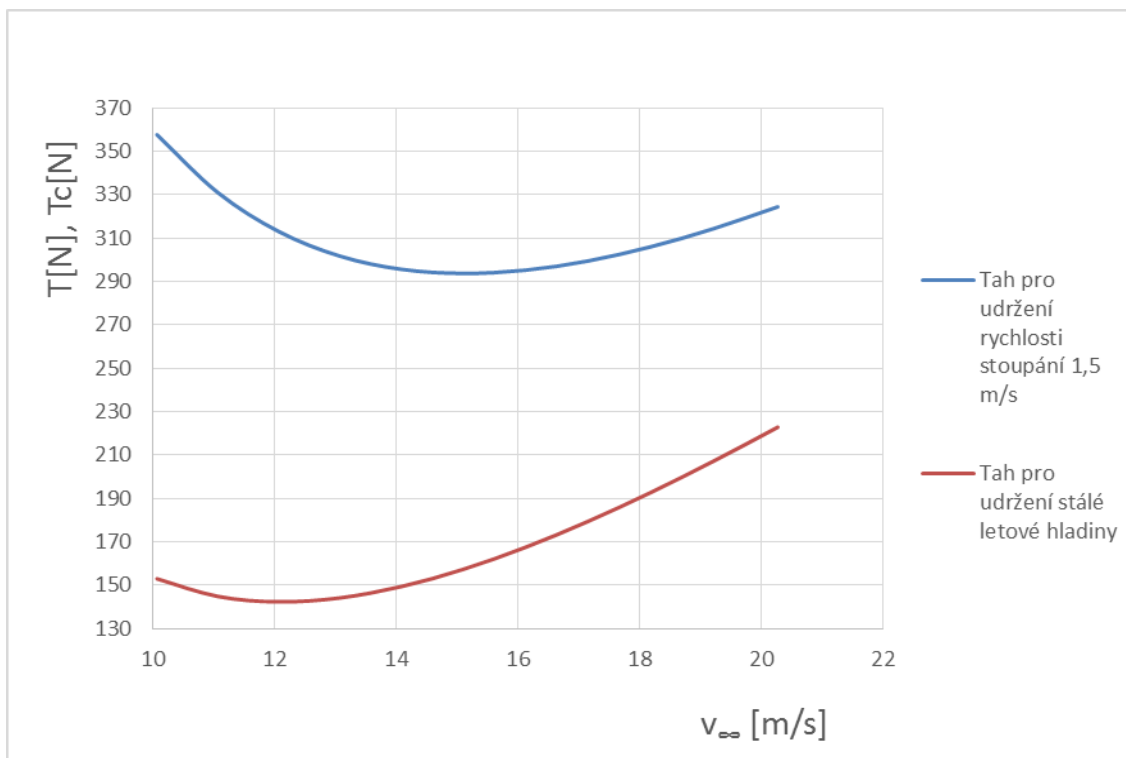
Obrázek 15 Potřebný tah kluzáku Sport 2 135



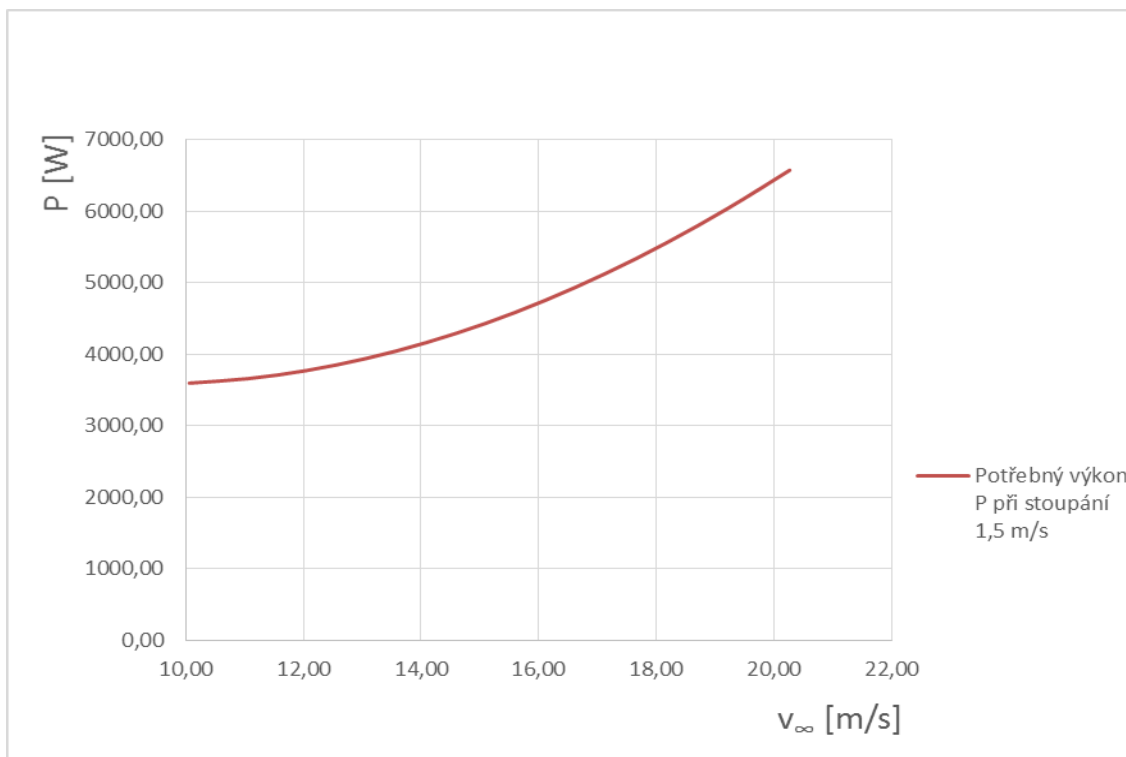
Obrázek 16 Potřebný výkon kluzáku Sport 2 135

4.3.3 Kluzák Laminar- potřebný tah a výkon

Hmotnost kluzáku Icaro Laminar je 30 kg a hmotnost pilota nesmí překročit 110 kg. [12] Celková hmotnost tedy činí 140 kg. Ze znalosti aerodynamických charakteristik ze 3. kapitoly a hmotnosti byl vypočítán potřebný tah, který je uveden v Příloze 15 a také zpracován graficky:



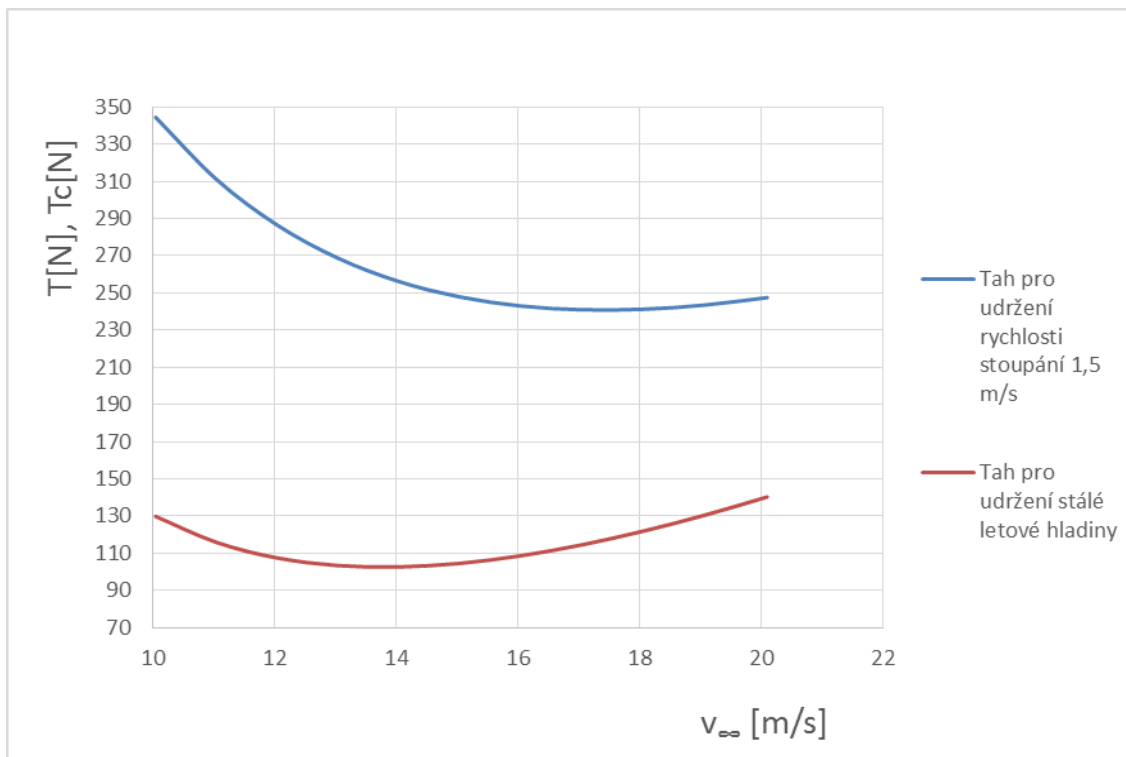
Obrázek 17 Potřebný tah kluzáku Laminar



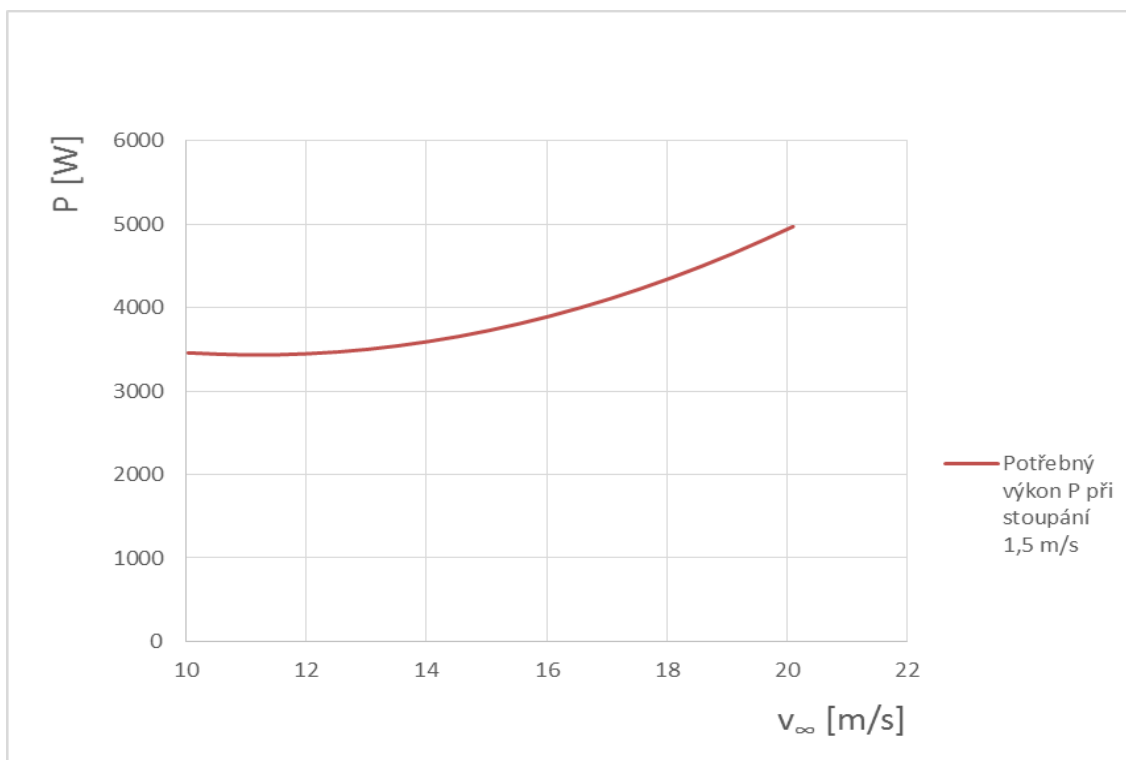
Obrázek 18 Potřebný výkon kluzáku Laminar

4.3.4 Kluzák Litespeed – potřebný tah a výkon

U kluzáku Litespeed S4 od firmy Moyes výrobce udává 112 kg maximální váhu pilota a 34,5 kg hmotnost kluzáku. [7] Celková hmotnost tedy činí 146,5 kg. Jednotlivé výpočty jsou opět uvedeny v tabulce v Příloze 16 a zpracovány graficky:



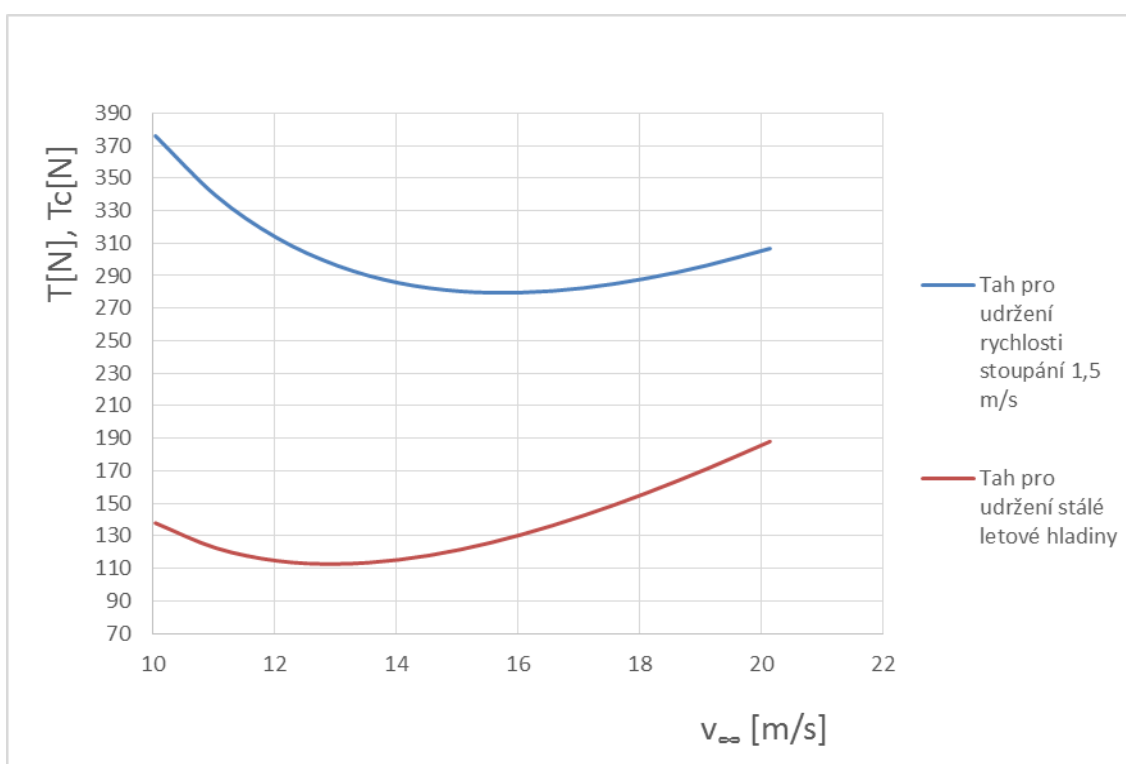
Obrázek 19 Potřebný tah kluzáku Litespeed S4



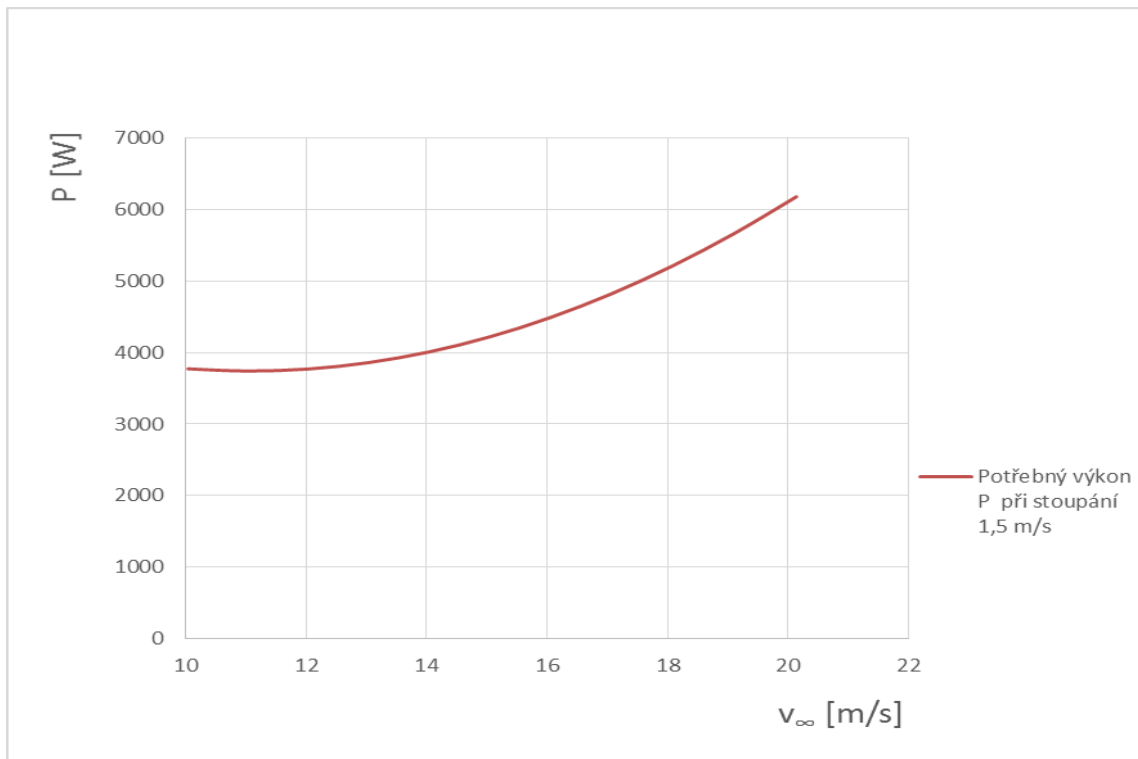
Obrázek 20 Potřebný výkon kluzáku Litespeed S4

4.3.5 Kluzák Talon- potřebný tah a výkon

Další kluzák, u kterého byla určena rychlostní polára ve 3. kapitole je kluzák Talon od firmy Wills Wing. Kluzáky od firmy Wills Wing jsou schopny snést velké zatížení. Například u typu Talon T2/T2C 154 výrobce udává hmotnost kluzáku 73 lbs (přibližně 33,1 kg) a maximální hmotnost pilota 285 lbs (129,3 kg). [13] Celková hmotnost tedy činí 152,4 kg. Proto vyjde, jako v případě kluzáku Sport 2 175 velký potřebný výkon. Většina pilotů však této hmotnosti nebude dosahovat, proto bude výsledná stoupavost při daném výkonu motoru dosahovat vyšších hodnot. Vypočtené hodnoty jsou v Příloze 17 a taktéž zpracovány graficky:



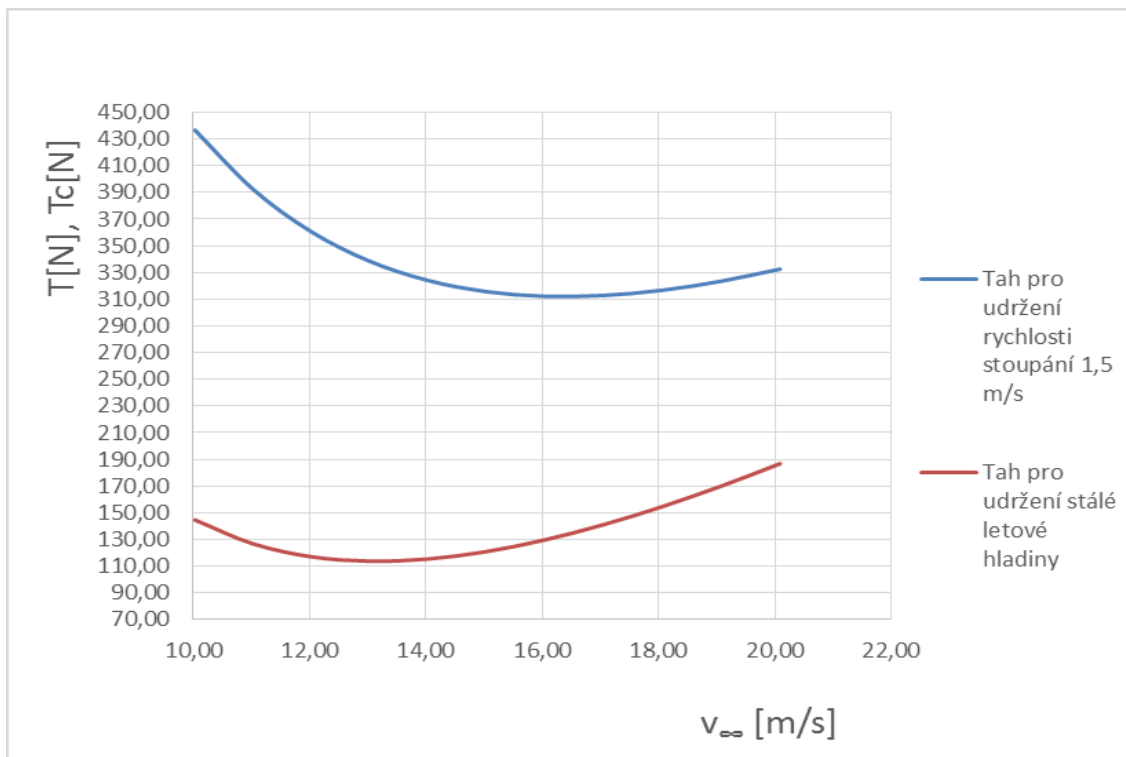
Obrázek 21 Potřebný tah kluzáku Talon



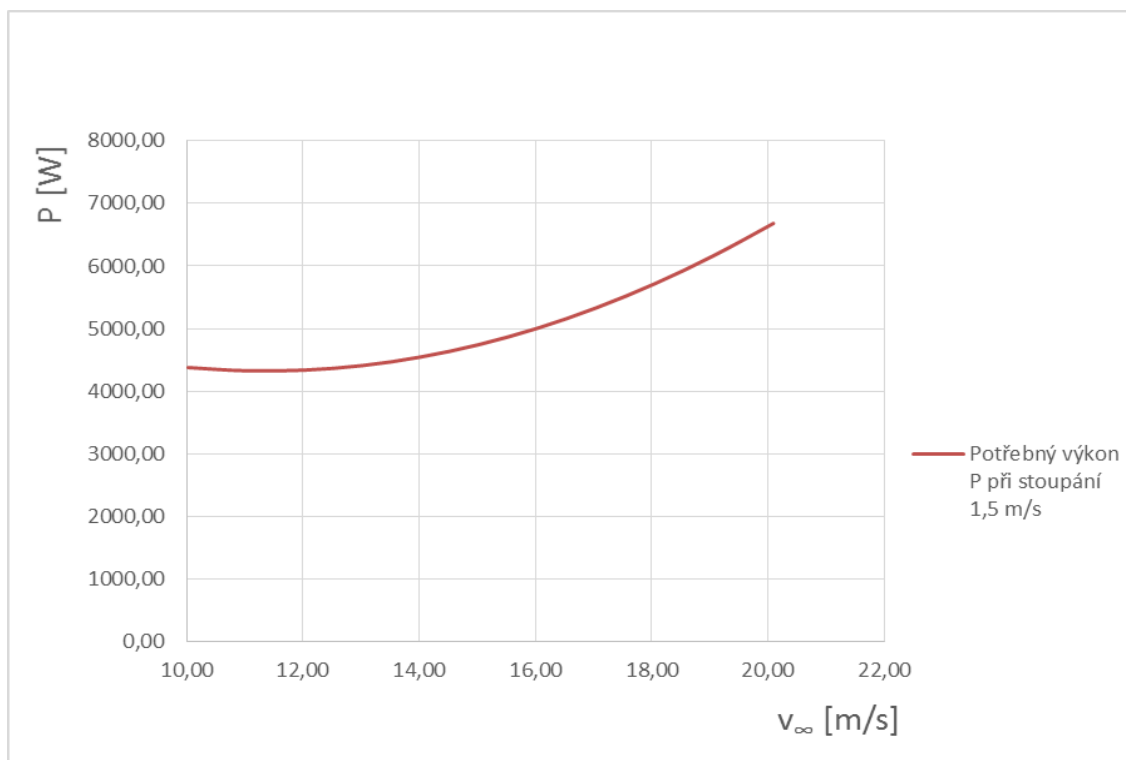
Obrázek 22 Potřebný výkon kluzáku Talon

4.3.6 Kluzák Exxtacy - potřebný tah a výkon

Posledním kluzákem jehož rychlostní polára byla určena v kapitole 2, je kluzák Extaccy. Maximální hmotnost pilota je 160 kg a hmotnost kluzáku 39 kg. Celková hmotnost je 199 kg. [14]



Obrázek 23 Potřebný tah kluzáku Exxtacy



Obrázek 24 Potřebný výkon kluzáku Exxtacy

5 Výběr pohonné jednotky

5.1 Kriteria výběru pomocné pohonné jednotky

Cílem této kapitoly je vybrat vhodný motor pro pohon závěsného kluzáku. Je nezbytné zvolit si nejdříve kritéria, podle kterých bude pohonná jednotka vybírána. Nejdůležitější je výkon pohonné jednotky, dále je důležitá nízká hmotnost

V předchozí kapitole byly spočítány potřebné minimální hodnoty tahu a výkonu pro rozmezí rychlostí 10 až 20 m/s. Při výpočtu bylo uvažováno maximální zatížení kluzáku. Minimální potřebný tah a výkon, který zajistí stoupavost 1,5 m/s, při rychlostech mezi 10 až 20 m/s je pro konkrétní kluzáky zapsán v následující Tabulce 5.

Při výběru vhodné pohonné jednotky hraje důležitou roli kromě dostatečného výkonu také hmotnost pomocné pohonné jednotky. Jelikož cílem bylo, aby pomocná pohonná jednotka měla co nejnižší hmotnost a kluzáku zůstala jeho obratnost. Při nižší hmotnosti je ovládání pro pilota méně fyzicky náročné, což zvyšuje bezpečnost provozu hlavně v nestabilním ovzduší. Výrobce vždy udává optimální váhu pilota, podle které si piloti vybírají typ kluzáku. V případě, že by byla hmotnost pohonné jednotky příliš vysoká, museli by piloti používat jiný typ kluzáku pro létání s pohonnou jednotkou než pro létání bez motoru.

5.2 Stanovení účinnosti vrtule

U stanovení výkonu je nutné určit účinnost vrtule. Jelikož určení účinnosti vrtule přesahuje rámec této bakalářské práce. Bude proto stanovena dle dostupných zdrojů přibližná účinnost 60%.[18] Pomocí ní pak bude stanoven skutečný výkon motoru, který motor musí mít, aby byla zajištěna podmínka stoupavosti v rozmezí rychlostí 10 až 20 m/s.

Tab. 5 Minimální tah a výkon potřebný pro dané kluzáky

kluzák	max. hmotnost [kg]	max. potřebný tah [N]	max. potřebný výkon [W]	skutečný potřebný výkon W
Falcon	149,2	524,7	12855,1	21425,2
Sport	176,9	418,3	8159,3	13598,8
Laminar	140	357,7	6576,7	10961,2
Litespeed S	146,5	344,5	4973,9	8289,8
Talon	162,4	375,9	6177,5	10295,8
Exxtacy	199	436,7	6682,7	11137,8

5.2.1 Uvažované motory pro pomocné pohonné jednotky

Vhodným motorem je tedy vzduchem chlazený jednoválec jednoduché konstrukce s nízkou hmotností a dostatečným výkonem. Firmy zabývající se výrobou pomocných pohonných jednotek jako např. Swedish Aerosport [19], nebo český výrobce Filo[20] používají motor Raket 120 od firmy Radne Motor AB.

5.2.1.1 Motor Raket 120

Tento motor je upraven pro použití na pomocných pohonných jednotkách. Má reduktor s poměrem 3,6:1. Velkou výhodou tohoto motoru je jeho nízká hmotnost. Váží 6,8 kg. Jeho výkon je 10,5 kW při 9000 ot./min.[20] Porovnáme-li maximální výkon se skutečnými potřebnými výkony stanovenými v Tabulce 4, zjistíme, že motor není schopný zajistit potřebný výkon.

5.2.1.2 Motor F-36 od výrobce Hirth

Dalším motorem, který by mohl být vhodný pro pomocnou pohonnou jednotku je motor F-36 od výrobce Hirth. Jedná se o motor, který je používaný na motorových padákových krosnách. Jeho hmotnost činí 13 kg. Maximální výkon je 11,25 kW.[21] Výkonnější motor od

stejného výrobce nesoucí označení F-33 má maximální výkon 21 kW. Tento výkon by byl dostačující. Nevýhodou motoru je jeho vysoká hmotnost pohybující se od 18,1 kg do 20,4 kg v závislosti na použitém startování.[22]

5.2.1.3 Motor R125 od HE Paramotores

Motorem, který by mohl být s omezeními používán je také R125 od HE Paramotores. Tento motor má maximální výkon 15 kW.[23] Výkon není dostačující, aby splnil požadavky na stoupavost 1,5 m/s u kluzáku Falcon. Tento kluzák je určený pro začínající piloty a konstruovaný pro nižší rychlosti, má velké opadání při velkých rychlostech. Za předpokladu, že s tímto kluzákem nebude létáno rychlostí nižší než 60 km/h bude výkon motoru dostačující. Spotřebu motoru udává výrobce zhruba 3 l/h letu. HE Paramotores vyrábí i silnější variantu Airmax 220 s výkonem 21,5 kW a hmotností 15 kg s elektrickým startováním. Tento motor má dostatečný výkon i pro udržení stoupavosti 1,5 m/s u kluzáku Falcon při rychlosti 20m/s.[24]

5.2.1.4 Motor EOS 100

Podobný motor jako HE R125 je EOS 100. Jeho výhodou je především nízká hmotnost. Motor váží pouhých 9,6 kg i s výfukem.[25] Výkon motoru je 15 kW. Jeho nevýhodou je vysoká cena, která se pohybuje okolo 76000 Kč.

Paramotory používané v motorových krosnách mají dostatečný výkon, jejich problémem je často vysoká hmotnost a cena.

5.2.1.5 Motor DLE200

Další možností je motor DLE200. Jeho výhodou je nízká hmotnost 11,25 kg. Výkon je 17,25 kW při 8000 ot./min. Tento výkon je dostačující pro většinu kluzáků v Tabulce 4. Problémem motoru DLE200 je, že se nejedná o certifikovaný letecký motor.[26]

5.2.1.6 Motor KT100

Teoreticky by mohli být použity motory, které se používají v závodních motokárách. Tyto motory mají malou hmotnost a velký poměr výkon/hmotnost. Jedním z motorů používaných v motokárách je KT100 od výrobce YAMAHA. Tento vzduchem chlazený motor má hmotnost 10 kg a výkon 11 kW.[27] Výhodou tohoto motoru je především nízká cena oproti motorům

určeným pro MPK. Jeho nevýhodou je nízký výkon. Výkon by tak omezoval maximální hmotnost pilota. Pro lehčí piloty by to však mohla být levná alternativa.

5.2.2 Zhodnocení výběru pohonné jednotky

Z provedené analýzy pohonných jednotek vyplynulo, že je možné použít Airmax 220 od výrobce HE Paramotors jako universální pohonnou jednotku. Pro výběr pomocné pohonné jednotky by bylo vhodnější provést detailnější rozbor pro daný typ kluzáku a optimalizovat pohonnou jednotku – motor+ vrtuli s daným typem kluzáku a požadavky pilota. Lze předpokládat, že optimalizací a detailnějším výpočtem vrtule pro daný motor bude možné zvýšit i účinnost pohonné jednotky a tím umožnit širší využití jednotlivých motorů pro závěsné kluzáky.

6 Závěr

Práce se zabývá výběrem pomocné pohonné jednotky pro závěsný kluzák. Nejdříve byla provedena rešerše platné legislativy. V současné době jsou závěsné kluzáky provozovány v režimu zkušebního provozu a současně se připravuje nová legislativa, která by měla v dohledné době vstoupit v platnost. Pokud bude schválena ve stávající podobě, bude to znamenat, že pro provoz z hlediska výkonů závěsných kluzáků s pomocnou pohonnou jednotkou nevzniknou žádná legislativní omezení. Pomocná pohonná jednotka bude provozována jako přídavné zařízení a bude provedeno rozšíření pilotního průkazu.

Ve druhé části Bakalářské práce je provedena analýza hmotnostními a aerodynamickými parametry jednotlivých kluzáků. Provedená analýza mapuje typově rozdílné kluzáky, aby bylo možno definovat rozsah parametrů pomocné pohonné jednotky.

V poslední kapitole byly definovány kritéria výběru pohonné jednotky a na jejich základě bylo vybráno pět typů pohonných jednotek.

Ukázalo se, že jako univerzální pohonnou jednotku, kterou by bylo možné provozovat pro širší spektrum závěsných kluzáků, lze použít motor Airmax 220 od výrobce HE Paramotors. I tak by bylo vhodnější, pro výběr pomocné pohonné jednotky provést detailnější rozbor pro daný typ kluzáku a optimalizovat pohonou jednotku – motor+ vrtuli s daným typem kluzáku a požadavky pilota.

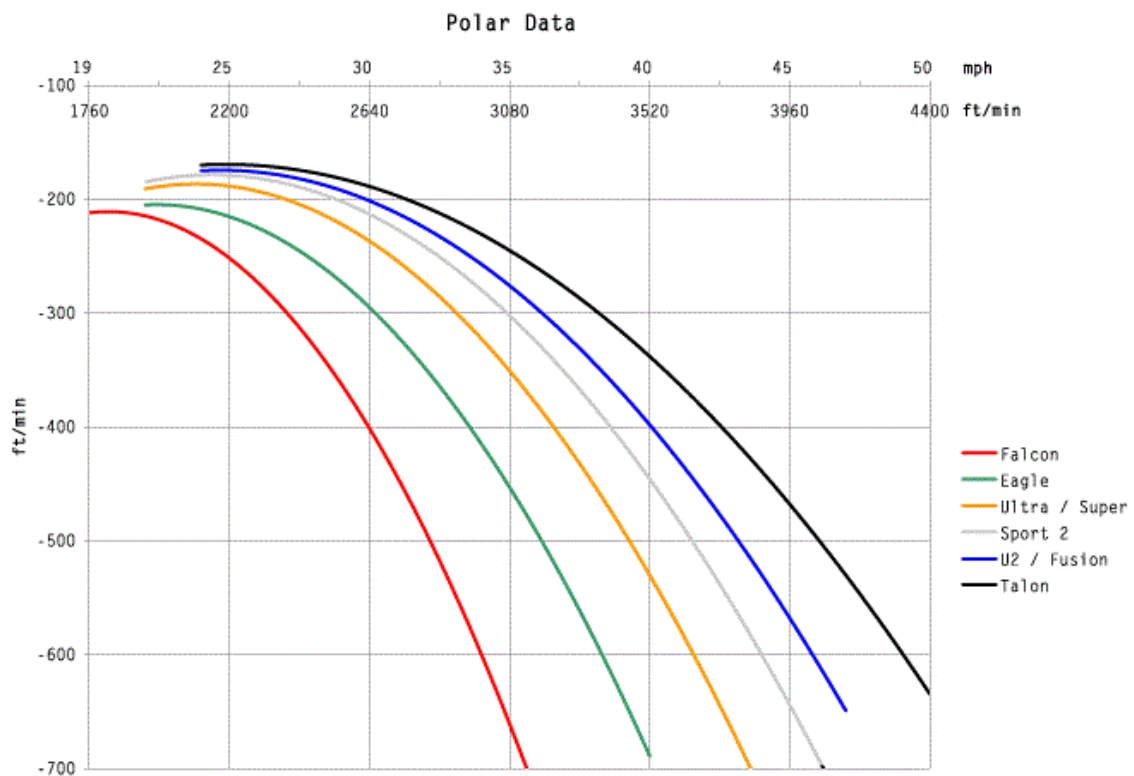
7 Přílohy

Příloha 1 Přehled předpisů [15]

	ULL	ULH	ULV	ULK	MZK	MPK	ZK	PK
<u>Zákon 49/1997 Sb.</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>Vyhláška 108-1997</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>Směrnice LN</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>LA1</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>LA2</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>LA3</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>LA6</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>ZS2</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<u>UL1</u>	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
<u>ZL1</u>							✓	✓
<u>UL2 - část I.</u>	✓							
<u>UL2 - část II.</u>					✓			
<u>UL2 - část IV.</u>			✓					
<u>UL2 - část V.</u>						✓		
<u>ZL2 - část I.</u>								✓
<u>PL2</u>							✓	

<u>UL3</u>	✓							
<u>UL3-MZK</u>					✓			
<u>ZL3</u>								✓
<u>UH3</u>		✓						
<u>UV3</u>			✓					
<u>ULK3</u>				✓				
<u>MPL3</u>						✓		
<u>PL3</u>							✓	
<u>PL4</u>							✓	✓
<u>ELSA-A</u>	✓							
<u>ELSA-D</u>	✓							

Příloha 2 Křivky polár jednotlivých typů kluzáků Wills Wing



Příloha 3 Program pro interpolaci hodnot rychlostní poláry kluzáku Wills Wing Falcon

```
%wills wing Falcon
e1=(19*1.609)/3.6; %vodorovné rychlosti Vx převedeny z mph na m/s
e2=(25*1.609)/3.6;
e3=(27*1.609)/3.6;
e4=(30*1.609)/3.6;
e5=(32.2*1.609)/3.6;

f1=(-210*0.3048)/60; %svislé rychlosti Vy převedeny z fpm na m/s
f2=(-255*0.3048)/60;
f3=(-300*0.3048)/60;
f4=(-400*0.3048)/60;
f5=(-500*0.3048)/60;

x3=[e1 e2 e3 e4 e5]; % nezávislé proměnné
y3=[f1 f2 f3 f4 f5]; % závislé proměnné
p3=polyfit(x3,y3,2) %interpolace hodnot polynomem 2. stupně

u= 0:.1:25; %proměná u udávající vodorovnou rychlost Vx
v3=p3(1)*u.^2+p3(2)*u+p3(3); % výsledný polynom 2. stupně

plot(u,v3 ) %vykreslí graf
ylabel('svislá rychlost Vy [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost Vx [m/s]')
```

Příloha 4 Program pro interpolaci hodnot rychlostní poláry kluzáku Wills Wing Sport

```
%wills wing Sport
i1=(25*1.609)/3.6 %vodorovné rychlosti Vx převedeny z mph na m/s
i2=(28.8*1.609)/3.6
i3=(35*1.609)/3.6
i4=(38.6*1.609)/3.6
i5=(41.6*1.609)/3.6

j1=(-177.5*0.3048)/60 %svislé rychlosti Vy převedeny z fpm na m/s
j2=(-200*0.3048)/60
j3=(-300*0.3048)/60
j4=(-400*0.3048)/60
j5=(-500*0.3048)/60

x5=[i1 i2 i3 i4 i5]; % nezávislé proměnné
y5=[j1 j2 j3 j4 j5]; % závislé proměnné
p5=polyfit(x5,y5,2) %interpolace hodnot polynomem 2. stupně
u= 0:.1:25;
v5=p5(1)*u.^2+p5(2)*u+p5(3);
plot(u,v5)
ylabel('rychlost opadání [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost [m/s]')
```

Příloha 5 Naměřené hodnoty opadání při daných rychlostech pro kluzák Laminar:

Davis, April 19th, Laminar (topped), 14, wind from the west but no bumps, 7:45 AM (DST), full VG				
vodorovná v _x	vodorovná v _x	vodorovná v _x	opadání v _y	opadání v _y
mph	km/h	m/s	fpm	m/s
16	25,744	7,151111111	-184	-0,93656
17	27,353	7,598055556	-304	-1,54736
18	28,962	8,045	-294	-1,49646
19	30,571	8,491944444	-248	-1,26232
20	32,18	8,938888889	-194	-0,98746
21	33,789	9,385833333	-190	-0,9671
22	35,398	9,832777778	-204	-1,03836
23	37,007	10,27972222	-208	-1,05872
24	38,616	10,72666667	-210	-1,0689
25	40,225	11,17361111	-200	-1,018
26	41,834	11,62055556	-216	-1,09944
27	43,443	12,0675	-246	-1,25214
28	45,052	12,51444444	-256	-1,30304
29	46,661	12,96138889	-248	-1,26232
30	48,27	13,40833333	-268	-1,36412
31	49,879	13,85527778	-292	-1,48628
32	51,488	14,30222222	-320	-1,6288
33	53,097	14,74916667	-330	-1,6797
34	54,706	15,19611111	-356	-1,81204
35	56,315	15,64305556	-366	-1,86294
36	57,924	16,09	-306	-1,55754
37	59,533	16,53694444	-434	-2,20906
38	61,142	16,98388889	-476	-2,42284
39	62,751	17,43083333	-430	-2,1887
40	64,36	17,87777778	-642	-3,26778
41	65,969	18,32472222	-508	-2,58572
42	67,578	18,77166667	-584	-2,97256
43	69,187	19,21861111	-528	-2,68752
44	70,796	19,66555556	-912	-4,64208
45	72,405	20,1125	-684	-3,48156
46	74,014	20,55944444	-768	-3,90912
47	75,623	21,00638889	-628	-3,19652
48	77,232	21,45333333	-598	-3,04382
49	78,841	21,90027778	-856	-4,35704
50	80,45	22,34722222	-760	-3,8684
51	82,059	22,79416667	-892	-4,54028
52	83,668	23,24111111	-878	-4,46902
53	85,277	23,68805556	-1010	-5,1409
54	86,886	24,135	-1056	-5,37504
55	88,495	24,58194444	-1038	-5,28342

56	90,104	25,02888889	-1486	-7,56374
57	91,713	25,47583333	-1008	-5,13072
58	93,322	25,92277778	-1008	-5,13072
59	94,931	26,36972222	-1448	-7,37032
60	96,54	26,81666667	-1448	-7,37032
61	98,149	27,26361111	-1342	-6,83078
62	99,758	27,71055556	-1586	-8,07274
63	101,367	28,1575	-1534	-7,80806

Příloha 6 Program pro aproximaci naměřených hodnot kluzáku Laminar

```
subsetA = xlsread('laminar.xlsx', 1, 'E4:E51') % načte hodnoty Vx
z Přílohy 5
subsetB = xlsread('laminar.xlsx', 1, 'F4:F51') % načte hodnoty Vy
z Přílohy 5
x=[subsetA]; % nezávislé proměnné
y=[subsetB]; % závislé proměnné
p=polyfit(x,y,2) % koeficienty polynomu 2. stupne pro 'x' a 'y'
u=0:0.1:25; %proměná u udávající vodorovnou rychlost Vx

f=p(1).*u.^2+p(2).*u.^1+p(3); % výsledný polynom 2. stupně

plot(x,y,'r+') %vykreslí naměřené hodnoty
hold on
plot(u,f) %vykreslí graf
ylabel('rychlost opadání [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost [m/s]')
```

Příloha 7 Program pro aproximaci naměřených hodnot kluzáku Litespeed S4

```
% Moyes litespeed S
a1=40/3.6; % vodorovné rychlosti
a2=80/3.6;
a3=70/3.6;
a4=47/3.6;

b1=-0.9; % rychlosti opadání
b2=-2.5;
b3=-70/36;
b4=-(47/3.6)/14.5;

x1=[a1 a2 a3 a4]; % nezávislé proměnné
y1=[b1 b2 b3 b4]; % závislé proměnné
p1=polyfit(x1,y1,2) % aproximuje hodnoty polynomem 2. stupně
u= 0:.1:25;
v1=p1(1)*u.^2+p1(2)*u+p1(3); % výsledný polynom druhého stupně

hold on %vykresleny čtyři naměřené body
plot(a1,b1, 'r+' )
hold on
plot(a2,b2, 'r+' )
hold on
plot(a3,b3, 'r+' )
hold on
plot(a4,b4, 'r+' )
hold on

plot(u,v1) %vykreslí graf
ylabel('rychlost opadání [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost [m/s]')
```

Příloha 8 Program pro aproximaci naměřených hodnot pomocí metody nejmenších čtverců kluzáku Litespeed S4

```
x1=40/3.6; % vodorovné rychlosti
x2=47/3.6;
x3=70/3.6;
x4=80/3.6;

y1=-0.9; % rychlosti opadání
y2=-x2/14.5;
y3=-x3/10;
y4=-2.5;

sumaxi=x1+x2+x3+x4; % výpočet pomocí metody nejmenších čtverců
sumaxi2=x1^2+x2^2+x3^2+x4^2;
sumaxi3=x1^3+x2^3+x3^3+x4^3;
sumaxi4=x1^4+x2^4+x3^4+x4^4;
sumayi=y1+y2+y3+y4;
sumaxiyi=x1*y1+x2*y2+x3*y3+x4*y4;
sumaxi2yi=x1^2*y1+x2^2*y2+x3^2*y3+x4^2*y4;
r1=[sumayi;sumaxiyi];

A_mat=[4          sumaxi*(-80/3.6)+sumaxi2;
        sumaxi    sumaxi2*(-80/3.6)+sumaxi3];
Vysl1=A_mat\r1;
a0=Vysl1(1) % koeficienty a0,a1,a2 výsledného polynomu
a2=Vysl1(2)
a1=a2*-80/3.6
u= 0:.1:25;
y=a2*u.^2+a1*u+a0; % výsledný polynom druhého stupně
plot(u,y)

ylabel('rychlost opadání [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost [m/s]')

hold on %vykresleny čtyři naměřené body
plot(x1,y1, 'r+' )
hold on
plot(x2,y2, 'r+' )
hold on
plot(x3,y3, 'r+' )
hold on
plot(x4,y4, 'r+' )
```


Příloha 9 Program pro aproximaci naměřených hodnot kluzáku Talon

```
%wills wing Talon
g1=(25*1.6)/3.6; % vodorovné rychlosti
g2=(31.4*1.6)/3.6;
g3=(38.2*1.6)/3.6;
g4=(42.5*1.6)/3.6;
g5=(46*1.6)/3.6;

h1=(-167.5*0.3048)/60; % rychlosti opadání
h2=(-200*0.3048)/60;
h3=(-300*0.3048)/60;
h4=(-400*0.3048)/60;
h5=(-500*0.3048)/60;

x4=[g1 g2 g3 g4 g5]; % nezávislé proměnné
y4=[h1 h2 h3 h4 h5]; % závislé proměnné
p4=polyfit(x4,y4,2) % aproximuje hodnoty polynomem 2. stupně

v4=p4(1)*u.^2+p4(2)*u+p4(3); % výsledný polynom druhého stupně
plot(u,v4) %vykreslí graf
ylabel('rychlost opadání [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost [m/s]')
```

Příloha 10 Naměřené hodnoty pro kluzák Exxtacy

Davis, April 24th, 1998, 8:30 AM

vodorovná vx mph	vodorovná vx km/h	vodorovná V _x m/s	opadání vy fpm	opadání V _y m/s
20	32,18	8,93888889	-138	-0,70242
21	33,789	9,38583333	-138	-0,70242
22	35,398	9,83277778	-180	-0,9162
23	37,007	10,2797222	-170	-0,8653
24	38,616	10,7266667	-166	-0,84494
25	40,225	11,1736111	-174	-0,88566
26	41,834	11,6205556	-118	-0,60062
27	43,443	12,0675	-128	-0,65152
28	45,052	12,5144444	-154	-0,78386
29	46,661	12,9613889	-116	-0,59044
30	48,27	13,4083333	-136	-0,69224
31	49,879	13,8552778	-138	-0,70242
32	51,488	14,3022222	-156	-0,79404
33	53,097	14,7491667	-184	-0,93656
34	54,706	15,1961111	-184	-0,93656
35	56,315	15,6430556	-184	-0,93656
36	57,924	16,09	-246	-1,25214
37	59,533	16,5369444	-226	-1,15034
38	61,142	16,9838889	-230	-1,1707
39	62,751	17,4308333	-270	-1,3743
40	64,36	17,8777778	-302	-1,53718
41	65,969	18,3247222	-290	-1,4761
42	67,578	18,7716667	-318	-1,61862
43	69,187	19,2186111	-330	-1,6797
44	70,796	19,6655556	-352	-1,79168
45	72,405	20,1125	-462	-2,35158
46	74,014	20,5594444	-416	-2,11744
47	75,623	21,0063889	-474	-2,41266
48	77,232	21,4533333	-504	-2,56536
49	78,841	21,9002778	-558	-2,84022
50	80,45	22,3472222	-558	-2,84022
51	82,059	22,7941667	-572	-2,91148
52	83,668	23,2411111	-414	-2,10726
53	85,277	23,6880556	-456	-2,32104
54	86,886	24,135	-590	-3,0031
55	88,495	24,5819444	-766	-3,89894
56	90,104	25,0288889	-744	-3,78696
57	91,713	25,4758333	-938	-4,77442
58	93,322	25,9227778	-942	-4,79478
59	94,931	26,3697222	-776	-3,94984
60	96,54	26,8166667	-858	-4,36722

Příloha 11 Program pro aproximaci naměřených hodnot kluzáku Exxtacy

```
subsetA = xlsread('Exxtacy2.xlsx', 1, 'C6:C46') %načte hodnoty
Vx z Přílohy 10
subsetB = xlsread('Exxtacy2.xlsx', 1, 'E6:E46') %načte hodnoty
Vy z Přílohy 10
x=[subsetA]; % nezávislé proměnné
y=[subsetB]; % závislé proměnné
p=polyfit(x,y,2) % koeficienty polynomu 2. stupně pro 'x' a 'y'
u=0:0.1:35; %proměnná u udávající vodorovnou rychlost Vx

a2=p(1) %konstanty polynomu 2. stupně a0, a1, a2
a1=p(2)
a0=p(3)
f=p(1).*u.^2+p(2).*u.^1+p(3); % výsledný polynom 2. stupně
plot(x,y,'r+') % vypíše jednotlivé naměřené hodnoty
hold on
plot(u,f) % vykreslí polynom 2. stupně
ylabel('rychlost opadání [m/s]')
xlabel('vodorovná rychlost [m/s]')
```

Příloha 12 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Falcon

m= 149,2 [kg] vs= 1,5 [m/s]

v_x [m/s]	v_y [m/s]	V_∞ [m/s]	γ [rad]	γ [deg]	T[N]	ω [rad]	ω [deg]	Tg[N]	Tc[N]	P[W]
10	1,10	10,06	0,1099	6,2943	160,50	0,1497	8,5745	218,27	378,77	3810,70
11	1,25	11,07	0,1136	6,5067	165,90	0,1359	7,7867	198,35	364,24	4032,64
12	1,51	12,09	0,1252	7,1711	182,75	0,1243	7,1243	181,56	364,31	4406,24
13	1,87	13,13	0,1428	8,1796	208,29	0,1145	6,5581	167,20	375,49	4931,51
14	2,33	14,19	0,1650	9,4530	240,44	0,1059	6,0668	154,72	395,16	5608,45
15	2,90	15,28	0,1908	10,9311	277,61	0,0983	5,6347	143,74	421,35	6437,05
16	3,57	16,39	0,2193	12,5665	318,52	0,0916	5,2501	133,96	452,48	7417,32
17	4,34	17,55	0,2499	14,3207	362,11	0,0856	4,9044	125,16	487,27	8549,26
18	5,22	18,74	0,2821	16,1622	407,51	0,0801	4,5909	117,18	524,68	9832,87
19	6,20	19,99	0,3153	18,0641	453,95	0,0751	4,3044	109,88	563,83	11268,14
20	7,28	21,28	0,3491	20,0040	500,80	0,0705	4,0413	103,17	603,98	12855,08

Příloha 13 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Sport 175

$m = 176,9\text{kg}$

$v_s = 1,5\text{m/s}$

v_x [m/s]	v_y [m/s]	v_∞ [m/s]	γ [rad]	γ [deg]	T[N]	ω [rad]	ω deg]	Tg	Tc	P
10	0,92	10,04	0,0918	5,2604	159,11	0,1499	8,5903	259,21	418,32	4200,88
11	0,90	11,04	0,0819	4,6935	142,00	0,1363	7,8110	235,85	377,85	4170,34
12	0,94	12,04	0,0782	4,4795	135,54	0,1249	7,1587	216,26	351,80	4234,55
13	1,03	13,04	0,0792	4,5376	137,29	0,1153	6,6049	199,61	336,90	4393,51
14	1,18	14,05	0,0839	4,8093	145,49	0,1070	6,1289	185,28	330,78	4647,23
15	1,38	15,06	0,0917	5,2515	158,84	0,0997	5,7150	172,81	331,65	4995,69
16	1,63	16,08	0,1018	5,8315	176,32	0,0934	5,3515	161,85	338,17	5438,91
17	1,94	17,11	0,1139	6,5239	197,17	0,0878	5,0292	152,13	349,30	5976,89
18	2,31	18,15	0,1276	7,3089	220,78	0,0828	4,7413	143,44	364,22	6609,61
19	2,73	19,19	0,1426	8,1703	246,63	0,0782	4,4820	135,61	382,24	7337,09
20	3,20	20,25	0,1587	9,0950	274,32	0,0741	4,2470	128,52	402,84	8159,33

Příloha 14 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Sport 135

$m = 115,2\text{kg}$

$v_s = 1,5\text{m/s}$

$v_x[\text{m/s}]$	$v_y[\text{m/s}]$	$v_\infty[\text{m/s}]$	$\gamma [\text{rad}]$	$\gamma [\text{deg}]$	$T[\text{N}]$	$\omega [\text{rad}]$	$\omega[\text{deg}]$	$T_g[\text{N}]$	$T_c[\text{N}]$	$P[\text{W}]$
10	0,92	10,04	0,0918	5,2604	103,62	0,1499	8,5903	168,82	272,44	2735,96
11	0,90	11,04	0,0819	4,6935	92,48	0,1363	7,8110	153,61	246,09	2716,07
12	0,94	12,04	0,0782	4,4795	88,27	0,1249	7,1587	140,85	229,12	2757,88
13	1,03	13,04	0,0792	4,5376	89,42	0,1153	6,6049	130,00	219,42	2861,41
14	1,18	14,05	0,0839	4,8093	94,76	0,1070	6,1289	120,67	215,43	3026,65
15	1,38	15,06	0,0917	5,2515	103,45	0,0997	5,7150	112,55	216,00	3253,61
16	1,63	16,08	0,1018	5,8315	114,83	0,0934	5,3515	105,41	220,25	3542,27
17	1,94	17,11	0,1139	6,5239	128,42	0,0878	5,0292	99,08	227,50	3892,64
18	2,31	18,15	0,1276	7,3089	143,79	0,0828	4,7413	93,42	237,21	4304,72
19	2,73	19,19	0,1426	8,1703	160,62	0,0782	4,4820	88,32	248,95	4778,52
20	3,20	20,25	0,1587	9,0950	178,66	0,0741	4,2470	83,70	262,36	5314,02

Příloha 15 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Laminar

$m = 140\text{kg}$

$v_s = 1,5\text{m/s}$

$v_x[\text{m/s}]$	$v_y[\text{m/s}]$	$v_\infty[\text{m/s}]$	γ [rad]	γ [deg]	$T[\text{N}]$	ω [rad]	ω [deg]	$T_g[\text{N}]$	$T_c[\text{N}]$	$P[\text{W}]$
10	1,12	10,06	0,1116	6,3939	152,95	0,1496	8,5729	204,73	357,67	3599,13
11	1,17	11,06	0,1056	6,0528	144,82	0,1360	7,7935	186,24	331,06	3662,03
12	1,25	12,06	0,1038	5,9478	142,32	0,1246	7,1419	170,75	313,07	3777,12
13	1,37	13,07	0,1051	6,0246	144,15	0,1150	6,5891	157,59	301,74	3944,40
14	1,53	14,08	0,1090	6,2441	149,38	0,1067	6,1140	146,28	295,66	4163,87
15	1,73	15,10	0,1148	6,5775	157,32	0,0995	5,7013	136,44	293,76	4435,53
16	1,97	16,12	0,1222	7,0030	167,45	0,0932	5,3391	127,80	295,24	4759,38
17	2,24	17,15	0,1310	7,5037	179,35	0,0876	5,0186	120,14	299,50	5135,42
18	2,55	18,18	0,1408	8,0664	192,72	0,0826	4,7328	113,32	306,03	5563,64
19	2,90	19,22	0,1515	8,6805	207,28	0,0781	4,4761	107,18	314,46	6044,06
20	3,29	20,27	0,1630	9,3376	222,84	0,0741	4,2441	101,64	324,48	6576,66

Příloha 16 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Litespeed S

$m = 146,5\text{kg}$

$v_s = 1,5\text{m/s}$

$v_x[\text{m/s}]$	$v_y[\text{m/s}]$	$v_\infty[\text{m/s}]$	γ [rad]	γ [deg]	$T[\text{N}]$	ω [rad]	ω [deg]	$T_g[\text{N}]$	$T_c[\text{N}]$	$P[\text{W}]$
10	0,9069	10,041	0,0904	5,182	129,8	0,1499	8,5914	214,69	344,5	3459,1
11	0,8899	11,036	0,0807	4,6252	115,89	0,1363	7,8118	195,34	311,23	3434,7
12	0,9001	12,034	0,0749	4,2896	107,5	0,125	7,1605	179,14	286,64	3449,3
13	0,9375	13,034	0,072	4,1248	103,37	0,1153	6,6086	165,4	268,77	3503,1
14	1,0021	14,036	0,0715	4,0942	102,61	0,1071	6,1349	153,59	256,2	3595,9
15	1,0939	15,04	0,0728	4,171	104,53	0,0999	5,7239	143,34	247,87	3727,9
16	1,2129	16,046	0,0757	4,3351	108,63	0,0936	5,3639	134,35	242,98	3898,9
17	1,3591	17,054	0,0798	4,5709	114,53	0,0881	5,046	126,41	240,94	4109
18	1,5325	18,065	0,0849	4,8664	121,92	0,0831	4,7629	119,33	241,25	4358,2
19	1,7331	19,079	0,091	5,2119	130,55	0,0787	4,5093	112,99	243,54	4646,5
20	1,9609	20,096	0,0977	5,5997	140,23	0,0747	4,2807	107,27	247,51	4973,9

Příloha 17 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Talon

$m = 162,39\text{kg}$

$v_s = 1,5\text{m/s}$

$v_x[\text{m/s}]$	$v_y[\text{m/s}]$	$v_\infty[\text{m/s}]$	$\gamma [\text{rad}]$	$\gamma [\text{deg}]$	$T[\text{N}]$	$\omega[\text{rad}]$	$\omega[\text{deg}]$	$T_g[\text{N}]$	$T_c[\text{N}]$	$P[\text{W}]$
10	0,8689	10,038	0,0867	4,966	137,9	0,15	8,5943	238,05	375,95	3773,7
11	0,8488	11,033	0,077	4,4124	122,56	0,1364	7,8141	216,58	339,14	3741,7
12	0,8667	12,031	0,0721	4,131	114,76	0,125	7,162	198,61	313,36	3770,2
13	0,9226	13,033	0,0709	4,0594	112,77	0,1154	6,6091	183,35	296,12	3859,2
14	1,0165	14,037	0,0725	4,1528	115,36	0,1071	6,1344	170,23	285,59	4008,8
15	1,1484	15,044	0,0764	4,378	121,6	0,0999	5,7224	158,84	280,44	4218,9
16	1,3183	16,054	0,0822	4,7102	130,81	0,0936	5,3612	148,84	279,65	4489,6
17	1,5262	17,068	0,0895	5,1301	142,44	0,088	5,0418	140	282,44	4820,8
18	1,7721	18,087	0,0981	5,6227	156,08	0,083	4,7571	132,11	288,19	5212,5
19	2,056	19,111	0,1078	6,176	171,38	0,0786	4,5017	125,03	296,41	5664,7
20	2,3779	20,141	0,1183	6,7804	188,08	0,0745	4,2711	118,64	306,72	6177,5

Příloha 18 Výpočet potřebného tahu a výkonu kluzáku Extaccy

$m = 199 \text{ kg}$

$v_s = 1,5 \text{ m/s}$

v_x [m/s]	v_y [m/s]	v_∞ [m/s]	γ [rad]	γ [deg]	T [N]	ω [rad]	ω [deg]	T_g [N]	T_c [N]	P [W]
10	0,74	10,03	0,0742	4,2504	144,69	0,1502	8,6030	292,02	436,71	4379,15
11	0,72	11,02	0,0650	3,7257	126,85	0,1365	7,8208	265,65	392,50	4326,64
12	0,72	12,02	0,0601	3,4412	117,18	0,1251	7,1677	243,58	360,76	4336,99
13	0,76	13,02	0,0583	3,3418	113,80	0,1154	6,6145	224,87	338,67	4410,19
14	0,83	14,02	0,0591	3,3880	115,37	0,1072	6,1398	208,80	324,17	4546,26
15	0,93	15,03	0,0620	3,5505	120,89	0,1000	5,7281	194,84	315,74	4745,19
16	1,06	16,04	0,0665	3,8074	129,63	0,0937	5,3675	182,61	312,25	5006,98
17	1,23	17,04	0,0723	4,1420	141,00	0,0881	5,0488	171,80	312,81	5331,63
18	1,43	18,06	0,0793	4,5410	154,56	0,0832	4,7652	162,17	316,73	5719,14
19	1,66	19,07	0,0872	4,9941	169,94	0,0787	4,5108	153,54	323,48	6169,51
20	1,92	20,09	0,0959	5,4927	186,86	0,0747	4,2814	145,74	332,60	6682,74

8 Zdroje

- [1] Závěsné kluzáky: vymezení kategorie. *LAA ČR* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/stranky/odbornosti/zavesne-kluzaky/vymezeni-kategorie.aspx>
- [2] Motorové závěsné kluzáky: vymezení kategorie. *LAA ČR* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/stranky/odbornosti/motorove-zavesne-kluzaky/vymezeni-kategorie.aspx>
- [3] Alpha. *WillsWing* [online]. 2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <https://www.willswing.com/alpha/>
- [4] Hang glider ATOS VX. *Delta Club 82* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.delta-club-82.com/bible/489-hang-glider-atos-vx.htm>
- [5] Finsterwalder-Charly. *Finsterwalder-Charly* [online]. 2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://finsterwalder-charly.de/en/hanggliders-a-accessories/lightfex.html>
- [6] Polar Data For Wills Wing Hang Gliders. *WillsWing* [online]. 2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <https://www.willswing.com/polar-data-for-wills-wing-hang-gliders/>
- [7] Litespeed S. *Moyes* [online]. 2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://moyes.com.au/products/hang-gliders/litespeed-s/specifications>
- [8] Davisstraub. *Davisstraub* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.davisstraub.com/Glide/polars.htm>
- [9] VYKOUK, Vlastimil. Aerodynamika a mechanika letu pro piloty závěsných kluzáků. *LAA* [online]. [cit. 2015-06-23]. Dostupné z: http://www.laa.sk/wp-content/uploads/2013/03/aerodynamika_a_mechanika_letu.pdf
- [10] Falcon 4. *WillsWing* [online]. 2015 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <https://www.willswing.com/hang-gliders/falcon-4/>
- [11] Sport 2. *WillsWing* [online]. 2015 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <https://www.willswing.com/hang-gliders/sport-2/>
- [12] Hang glider LAMINAR EAZY EZ. *Delta Club 82* [online]. [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://www.delta-club-82.com/bible/109-hang-glider-laminar-eazy-ez.htm>
- [13] T2 / T2C. *WillsWing* [online]. 2015 [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <https://www.willswing.com/hang-gliders/t2c/>
- [14] Hang glider EXXTACY. *Delta Club 82* [online]. [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://www.delta-club-82.com/bible/138-hang-glider-exxtacy.htm>
- [15] Předpisy. *LAA ČR* [online]. [cit. 2015-06-17]. Dostupné z: <http://www.laacr.cz/Stranky/Predpisy/default.aspx>
- [16] STRAUB, Davis. Icaro Laminar. *Davisstraub* [online]. [cit. 2015-06-23]. Dostupné z: <http://www.davisstraub.com/Glide/polars.htm>
- [17] STRAUB, Davis. Exxtacy 160. *Davisstraub* [online]. [cit. 2015-06-23]. Dostupné z: <http://www.davisstraub.com/Glide/polars.htm>
- [18] Dotaz na závislost mezi průměrem vrtule a účinností. *E-magazín Akademie Letectví* [online]. 2011 [cit. 2015-06-19]. Dostupné z: <http://www.airspace.cz/akademie/rocnik/2011/03/vrtule.php>

- [19] Manualer15. In: *Swedishaerosport* [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: www.swedishaerosport.se/uploads/manualer15.pdf
- [20] Motory Raket. *Fillo* [online]. 2009 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.fillo.cz/motory-radne/>
- [21] F-36 2 cycle 15hp. *Recreational Power Engineering* [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.recpower.com/F-36%20%20cycle%2015hp.htm>
- [22] F-33 2 cycle 28hp. *Recreational Power Engineering* [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.recpower.com/F-33%20%20cycle%2028hp.htm>
- [23] The R125. *He-paramotores* [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.he-paramotores.com/index.php?secc=motores&mod=r125>
- [24] The Airmax 220. *He-paramotores* [online]. [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.he-paramotores.com/index.php?secc=motores>
- [25] EOS100 engine. *Eos-engine* [online]. 2013 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.eos-engine.com/index.php?lang=1&hID=29>
- [26] Paramotor DLE200 (laděný výfuk). *Emotors* [online]. [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://emotors.cz/dle-benzinove-motory/10719-paramotor-dle200-standardni-vyfuk.html>
- [27] KT100. *Yamahamotorsports* [online]. 2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.yamahamotorsports.com/sport/models/kt100>