

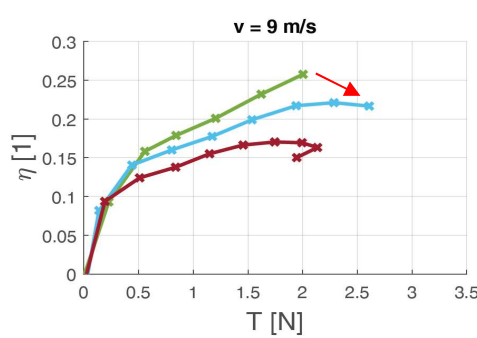
I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Automatické řízení tahu vrtule s proměnným úhlem nastavení
Jméno autora:	Jakub Lorenc
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Aleš Kratochvíl, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Ústav letadlové techniky, Fakulta Strojní, ČVUT v Praze

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	mimořádně náročné
Zadání, které kombinuje experimentální měření, a matematické simulace považuji v rámci bakalářské práce za náročné. Zde navíc bylo potřeba ještě sestavit experimentální platformu, vytvořit matematický model a provést měření nejen v aerodynamickém tunelu pro získání vstupní data, před tím než bylo možné přistoupit k vlastnímu návrhu zákonu řízení.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
Všechny body zadání byly zcela splněny, kromě posledního bodu zadání: „Vytvořené algoritmy ověřit pomocí simulace a experimentu na vyvinuté platformě“. Tento bod byl splněn pouze simulací, na experimentální ověření již studentovi nezbyl čas. Vzhledem k náročnosti zadání jde o logický důsledek, a nemyslím si, že by za to měl být student penalizován. Částečné nesplnění tohoto bodu zadání nemá dopad na kvalitu práce, protože se jedná o poslední bod zadání, který nemá následné návaznosti.	

Zvolený postup řešení	správný s menšími výhradami																																								
<p>Oponent nedokáže posoudit správnost kapitol popisující měření vstupních veličin, konstrukci mikrokontroléru, komunikaci platformy a matematický model pohonu, z laického pohledu se zdají být tyto kapitoly v pořádku. Použitý matematický model vrtule není obvyklý, ale použitý postup je správný. Nejsem si zcela jistý správností zvoleného postupu při identifikaci momentu setrvačnosti vrtule a rotoru motoru, který byl naladěn tak aby simulovaná dynamická odezva na skoky v příjmuti odpovídala změřené odezvě. Vzhledem k použitým zjednodušením v rámci sestavení modelu není jisté, že se tímto způsobem došlo ke skutečné hodnotě. Případné chyby v definici modelu se tímto postupem těžko odhalí. Dle názoru oponenta by bylo korektnější moment setrvačnosti určit analyticky (pomocí aproximace geometrie vrtulového listu i rotoru na základní tělesa tj. deska, válec, a ze znalosti hmotnosti a objemu daných těles určit celkový moment setrvačnosti). Ze závislosti účinnosti pohonu na tahu pro různé rychlosti letu byl vyhodnocen úhel nastavení s maximální účinností pro danou rychlost letu, který byl dále použit pro návrh řízení. Tento přístup, ale nebere v potaz skutečnost, že neúčinnější úhel nastavení listu pro danou rychlost není schopen dosáhnout maximálního využitelného tahu.</p>																																									
 <table border="1"> <caption>Data points estimated from the graph (v = 9 m/s)</caption> <thead> <tr> <th>T [N]</th> <th>η [°] (Green)</th> <th>η [°] (Blue)</th> <th>η [°] (Red)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.15</td><td>0.12</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.18</td><td>0.15</td><td>0.13</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.21</td><td>0.18</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.24</td><td>0.21</td><td>0.16</td></tr> <tr><td>2.2</td><td>0.26</td><td>0.22</td><td>0.16</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.25</td><td>0.22</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>0.24</td><td>0.22</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>0.23</td><td>0.22</td><td>0.15</td></tr> </tbody> </table>		T [N]	η [°] (Green)	η [°] (Blue)	η [°] (Red)	0	0	0	0	0.5	0.15	0.12	0.10	1.0	0.18	0.15	0.13	1.5	0.21	0.18	0.15	2.0	0.24	0.21	0.16	2.2	0.26	0.22	0.16	2.5	0.25	0.22	0.15	3.0	0.24	0.22	0.15	3.5	0.23	0.22	0.15
T [N]	η [°] (Green)	η [°] (Blue)	η [°] (Red)																																						
0	0	0	0																																						
0.5	0.15	0.12	0.10																																						
1.0	0.18	0.15	0.13																																						
1.5	0.21	0.18	0.15																																						
2.0	0.24	0.21	0.16																																						
2.2	0.26	0.22	0.16																																						
2.5	0.25	0.22	0.15																																						
3.0	0.24	0.22	0.15																																						
3.5	0.23	0.22	0.15																																						
Pro návrh řízení byl model platformy linearizován v pracovním bodě s otáčkami vrtule 4500 ot/min, což jsou otáčky blízké rezonanční frekvenci snímače síly (≈ 4000 ot/min) při kterých byla naměřená tahová složka od vrtule zatížena výrazným šumem.																																									

Odborná úroveň	C - dobře
Odborná úroveň je dobrá. V práci pouze chybí stručný teoretický úvod do aerodynamiky (resp. silový rozboru) stavitelného vrtulového listu, který by demonstroval, jakým způsobem ovlivňuje úhlu nastavení vrtulového listu a rychlost letu výsledný tah pohonné jednotky. Z textu práce si nejsem jistý, zdali je to studentovi zřejmé.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	D - uspokojivě
Po formální stránce by práci prospělo pokud by student uváděl matematické formulace na místo pouhého konstatování v textu (např. posouzení kroutícího momentu serva stavěcího mechanismu, frekvence otáčení BLDC motoru). Párkrát je v práci použita nesprávná terminologie (hloubka/tloušťka profilu), odkaz na špatný obrázek/tabulku (tab. 2.2, obr 3.5, 3.6) nebo nedokončená věta (str.20.). Chybí seznam použitých symbolů. Symbol „J“ byl použit jak pro rychlostní poměr vrtule, tak i pro moment setrvačnosti vrtule a rotoru. Občas jsou v práci použity symboly, jejichž význam je popsán až o několik stránek dále (např. „τ“ přípustř motoru). Po formální stránce za nedostatek považuji absenci číselného vyjádření použitých konstant modelu, konkrétně se jedná o naladěný momentu setrvačnosti a funkční předpisy pro aerodynamické součinitele C_T , C_Q . Mimo to, v práci také není popsán způsob naladění konstant funkce pro výpočet C_T , C_Q . Pouhé konstatování že to bylo provedeno není postačující. Výsledky nebo zhodnocení kalibrace reflexního optočlenu také není uvedeno. V práci chybí typové označení a výrobce zkoušeného BLDC motoru.	

Výběr zdrojů, korektnost citací	A - výborně
-	

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Otázky k obhajobě:

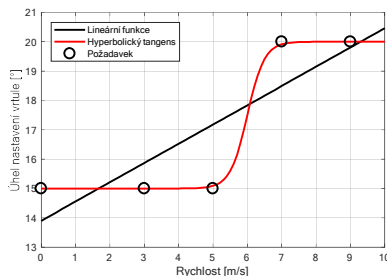
1. Proč bylo použito druhé zjednodušení modelu, které spočívá v redukcí rovnice (3.14) na (3.16), simulační program by si nedokázal poradit s rovnicí (3.14)?

$$i_s = \frac{\tau (u_s - e)}{R} + \frac{L u_s \left(e^{\frac{RT}{L}} - e^{\frac{R\tau T}{L}} \right) \left(e^{-\frac{R\tau T}{L}} - 1 \right)}{R^2 T \left(e^{\frac{RT}{L}} - 1 \right)} \quad (3.14)$$

$$i_s \approx \tau i_e \quad (3.16)$$

2. Proč bylo měření v aerodynamickém tunelu provedeno pouze do 9m/s. RC Modely s těmito motory mohou dosahovat rychlostí i 24 m/s ?
3. Nebylo by výhodnější použít pro popis závislosti optimálního úhlu nastavení vrtule funkci hyperbolický tangens místo lineární funkce?

$$\beta = 17,5 + \frac{5}{2} \tanh(2v - 12)$$



Datum: 9.6.2023

Podpis: