Odstředivé síly – první zkušenosti

Ing. Ladislav Kopecký, 10.5. 2025

Za sebou mám první zkušenosti se stavbou prototypu a jak už to bývá, člověk míní a pánbůh mění. Zakoupil jsem dva malé motorky s převodovkou, dvě vodící tyče, dvě lineární ložiska a ruční pístové čerpadlo značky Arnold. Ostatní materiál, jako jsou ložiska a konstrukční díly, jsem měl v zásobě. Použil jsem konstrukci, kterou jsem popsal ve 3. části. Bez zátěže se závažím 100 gramů zařízení chodilo krásně. Když jsem však připojil pumpu, ukázalo se, že motorek je příliš slabý a není schopen překonat tření čerpadla ani naprázdno. Zvyšoval jsem tedy napětí zdroje nad jmenovitou hodnotu a čerpadlo si přece jen dalo říct. Vibrace však motorku s převodovkou vůbec nesvědčily a převodovka se „rozbila“. Naštěstí se ukázalo, že se jen uvolnily šrouby, které drží převodovku a motor pohromadě, takže nebyl velký problém (až na vysypaná kolečka) motor opravit.

Čeká mě tedy další kolo se silnějším motorem, který umístím mimo vozík a rameno se závažím na vozíku budu pohánět pomocí ozubeného řemenu. Tím dosáhnu dvou výhod: za prvé, odstraní se nežádoucí vibrace motoru a za druhé, sníží se hmotnost vozíku, čímž se zvýší účinnost celého zařízení. Podmínkou správné funkce bude dostatečně dlouhý řemen v porovnání s rozsahem pohybu vozíku po tyčích s lineárními ložisky.

Nyní se ještě podíváme na praktické výpočty, abyste viděli, že stavět takové zařízení skutečně dává smysl. Doporučuji znovu si přečíst druhou část článku, kde se zabývám fyzikálně-matematickými základy. Ve zmíněném článku jste se dozvěděli, že normálové zrychlení $\underline{a_n}$ roste s kvadrátem úhlové rychlosti $\underline{\omega}$ a lineárně s poloměrem rotace $\underline{r}$:

$$a_n = \omega^2.r$$

Mělo by být proto naší snahou použít motor s vysokými otáčkami, čímž bychom dosáhli vyššího výkonu vzhledem k velikosti zařízení. Zde však narážíme na fyzická omezení: se zvyšujícími se otáčkami poroste hluk, vibrace a dojde k rychlejšímu opotřebení pohyblivých součástek, zejména lineárních a rotačních ložisek. Musíme proto zvolit vhodný kompromis. Abyste viděli, že skutečně s otáčkami dramaticky roste výkon, spočítáme si příklad s o trochu větším motorkem (na obrázku níže).

Komutátorový motorek s převodovkou na 12V, 240 ot./min

Předpokládejme, že jsme vybrali motorek s převodovkou s dostatečně velkým výkonem (viz obrázek výše), který má jmenovité otáčky 240 ot./min. Proto zvolíme větší rameno o délce r = 25 cm a na jeho konec pověsíme závaží o hmotnosti 250 g. Vozík s ramenem a závažím se bude pohybovat po lineárním vedení na dráze l = 10 cm. Otáčky ramene se budou pohybovat v rozsahu od 60 až 360 ot/min, protože jsme zvolili řemenový převod do rychla 2: 3.

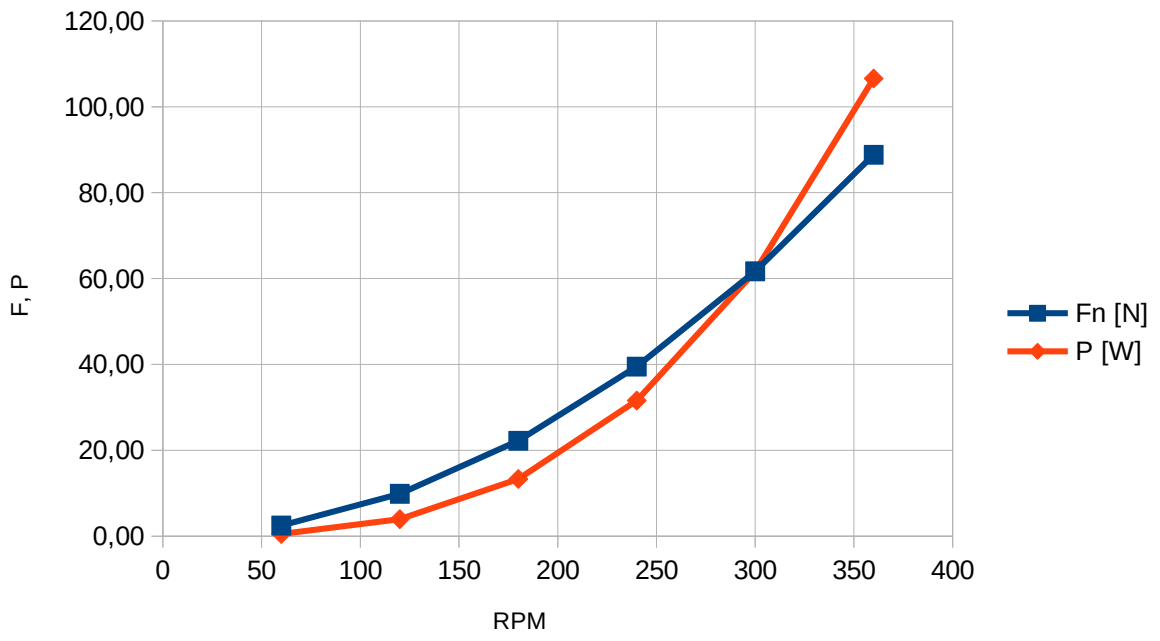
Jak budeme postupovat s výpočtem? Nejdříve převedeme otáčky na úhlovou rychlost. Dále vypočítáme normálové zrychlení a_n, odstředivou sílu F_n, práci po dráze l a nakonec výkon P. Při výpočtu výkonu musíme vzít v úvahu, že během jedné otáčky ramene se závažím vozík urazí dráhu 2.l (tam a zpátky). Úmyslně zde neuvádím příslušné vzorce – ty najdete ve druhé části. Níže najdete excelovskou tabulku a graf závislosti F_n a P na RPM (=Rotations Per Minute). Protože nás zajímá především síla, která bude působit na píst čerpadla, vypočítáme ještě kroutící moment M ramene se závažím. Ten vypočítáme úpravou vzorce

$$P = F.v = F.r.\omega = M.\omega$$

RPM	f [Hz]	r [m]	omega	m [kg]	an	Fn [N]	l [m]	A [J]	P [W]	M [Nm]
60	1	0,25	6,28	0,25	9,87	2,47	0,1	0,25	0,49	0,08
120	2	0,25	12,57	0,25	39,48	9,87	0,1	0,99	3,95	0,31
180	3	0,25	18,85	0,25	88,83	22,21	0,1	2,22	13,32	0,71
240	4	0,25	25,13	0,25	157,91	39,48	0,1	3,95	31,58	1,26
300	5	0,25	31,42	0,25	246,74	61,69	0,1	6,17	61,69	1,96
360	6	0,25	37,70	0,25	355,31	88,83	0,1	8,88	106,59	2,83

Závěr

Na grafu níže můžete vidět klasickou parabolu závislosti výstupního teoretického výkonu na otáčkách ramene se závažím. Zisk výkonu je slušný, když si uvědomíme, že k pohonu ramene o délce čtvrt metru se závažím o hmotnosti čtvrt kilogramu a 360 RPM nám stačí motor o výkonu necelých 20W (můj odhad). Toto jsou však jen teoretické předpoklady a teprve praxe ukáže, do jaké míry se naplní. Mohou se vyskytnout nečekané technické problémy, které řešení mohou velmi zkomplikovat, jak jsem měl již možnost se přesvědčit v minulosti.



Graf závislosti výstupního výkonu a odstředivé síly na otáčkách za minutu

Aktualizace 13.5. 2025:

Včera mi došly řemenice, řemen a další součástky, takže jsem mohl vyzkoušet novou koncepci s motorem mimo vozík. Zde je několik technických podrobností:

Závaží na rameni má 50 gramů. Napětí zdroje bylo 4,2 V a proud cca 1,5 ampér (motorek je na 6V, jmenovité otáčky 210 RPM).

https://www.laskakit.cz/motor-jgy-370-6v-s-prevodovkou/

Velikost výchylky je závislá na hmotnosti závaží: bez závaží vozík kmitá s amplitudou asi 1cm, ale při 50 g skoro od jednoho dorazu k druhému. Vzadu na fotkách níže můžete vidět improvizovaný napínák s pružinou, aby se vyrovnávalo napínání řemenu v krajních polohách.

Vypadá to, že tudy cesta vede! Budu postupně zvyšovat výkon a uvidím, kam mě cesta zavede... Chodí to celkem tiše, jen lineární kuličková ložiska jsou slyšet. Kdybych použil ložiska kluzná, tak bych to vůbec neslyšel.

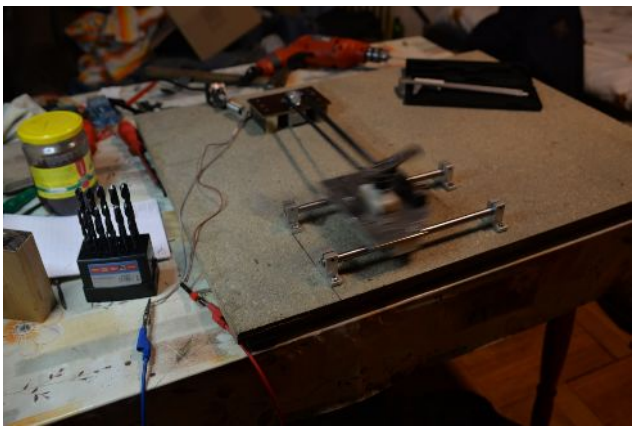
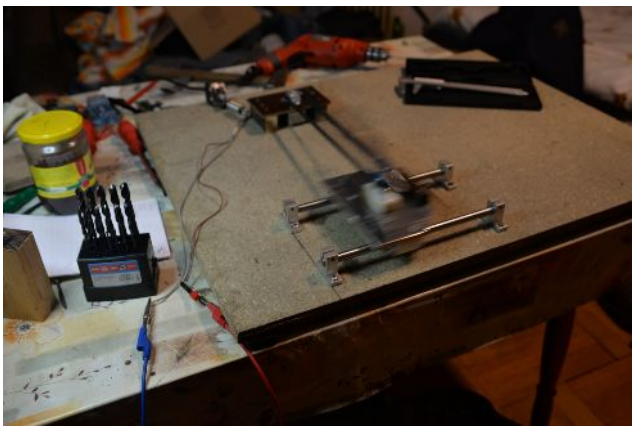
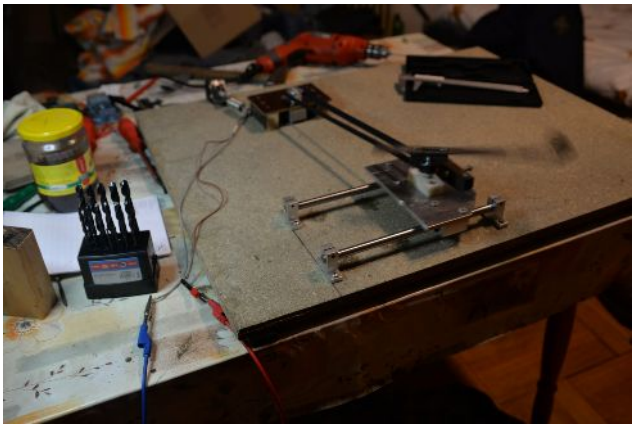
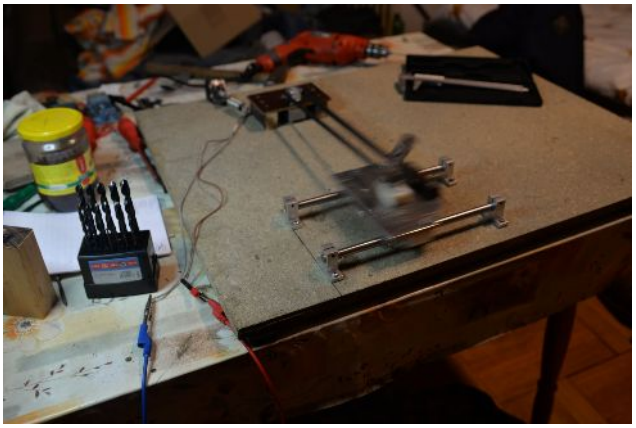
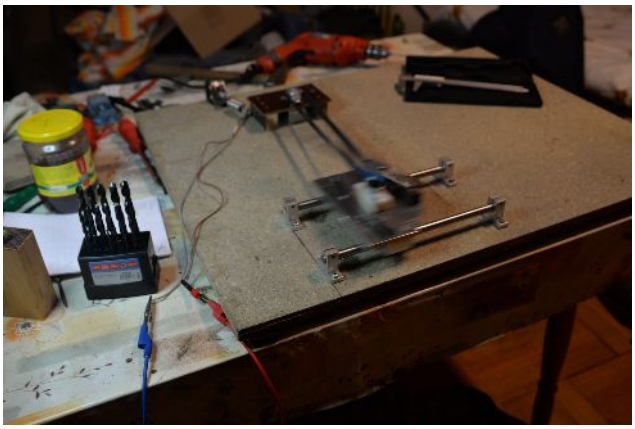
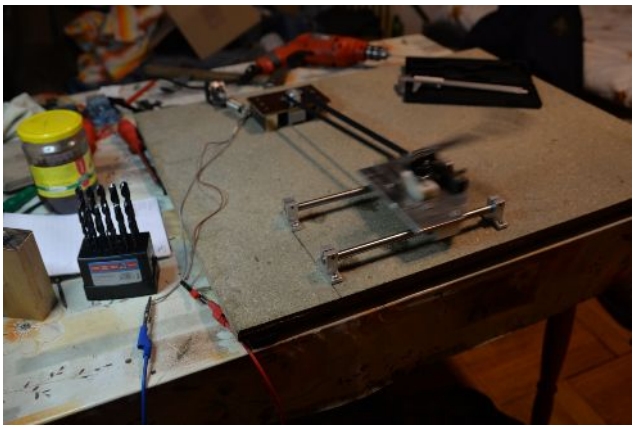
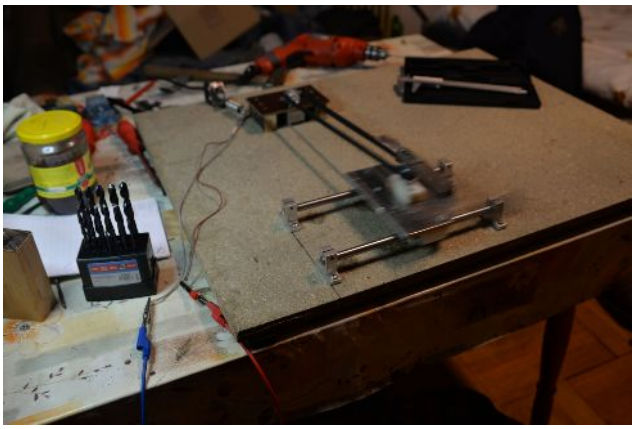
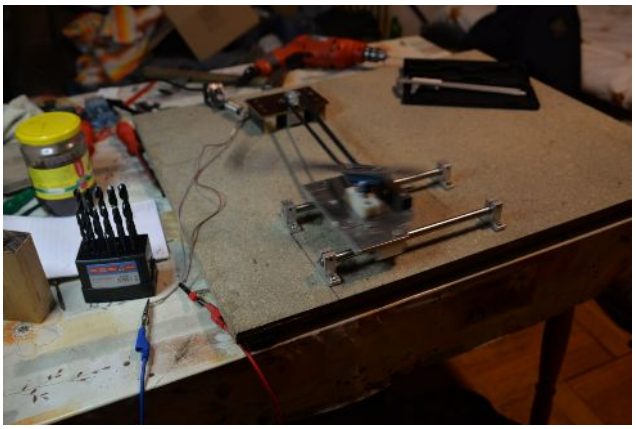
Fotil jsem to Nikonem D610 ze stativu. Udělal jsem sérii snímků rychlostí 6 snímků za sekundu.

https://www.megapixel.cz/nikon-d610-telo (mám ho asi rok z bazaru)

Týral jsem to až do 8 voltů, ale to jsem nemohl fotit, protože rychlost byla taková, že by nebylo nic vidět, jen rozmazaný flek. Stůl se celý klepal.

Mohu potvrdit poznatek pana Nemeše, že při zatížení klesá odběr proudu motorem: zkusil jsem vozík zastavit rukou a odběr proudu klesl asi na polovinu.

(Fotky najdete na další straně)

(Pokračování příště)