



Experimenty s interaktivní stavebnicí
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

7A. Točivý moment, výkon

M. Jílek & T. Feltl



EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ
BUDOUCNOSTI

Tyto materiály vznikly v rámci projektu OPPA č. CZ.2.17/3.1.00/36080,
Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu.

- **A. Točivý moment** **7A-A-01**
 - Úvod 7A-A-02
 - Co budeme potřebovat? 7A-A-03
 - Příprava a sestavení experimentu 7A-A-04
 - Provedení experimentu – záznam dat 7A-A-05
 - Analýza naměřené závislosti – teorie 7A-A-06
 - Analýza naměřené závislosti – úkoly 7A-A-07
- **B. Výkon motoru** **7A-B-01**
 - Úvod 7A-B-02
 - Co budeme potřebovat? 7A-B-03
 - Příprava a sestavení experimentu 7A-B-04
 - Postup práce – záznam dat 7A-B-05
 - Analýza naměřené závislosti – teorie 7A-B-06
 - Analýza naměřené závislosti – úkoly 7A-B-07
- **Závěr** **7A-Z-01**
- **Použité materiály a zdroje informací** **7A-I-01**
- **Metodické komentáře** **7A-M-01**



A. Točivý moment



Úvod

Jednou ze základních a nejdůležitějších charakteristik jakéhokoli motoru automobilu je **vedle výkonu** jeho **točivý moment**. Velikost točivého momentu se mění s rychlostí otáčení motoru a většinou se uvádí pouze jeho maximální hodnota spolu s otáčkami (frekvencí otáčení motoru), při kterých této hodnoty dosahuje.

Točivý moment určuje **sílu**, kterou při daném převodu a rozměru pneumatik **přenášejí kola na vozovku**. Z toho důvodu může vozidlo **při maximálním točivém momentu působit největší tahovou silou** a také dosahovat **největšího zrychlení**. Různé konstrukce spalovacích motorů umožňují dosažení maximálního točivého momentu při různých otáčkách, což výrazně ovlivňuje dynamiku a potřebný styl jízdy s daným motorem.

V následujícím experimentu si pro vytvoření jasnější představy prakticky **vyzkoušíme určit točivý moment** malého **elektrického motorku**.



Foto: morgueFile free photo archive (morguefile.com)

V následujícím experimentu si pro vytvoření jasnější představy prakticky **vyzkoušíme určit točivý moment** malého **elektrického motorku**.

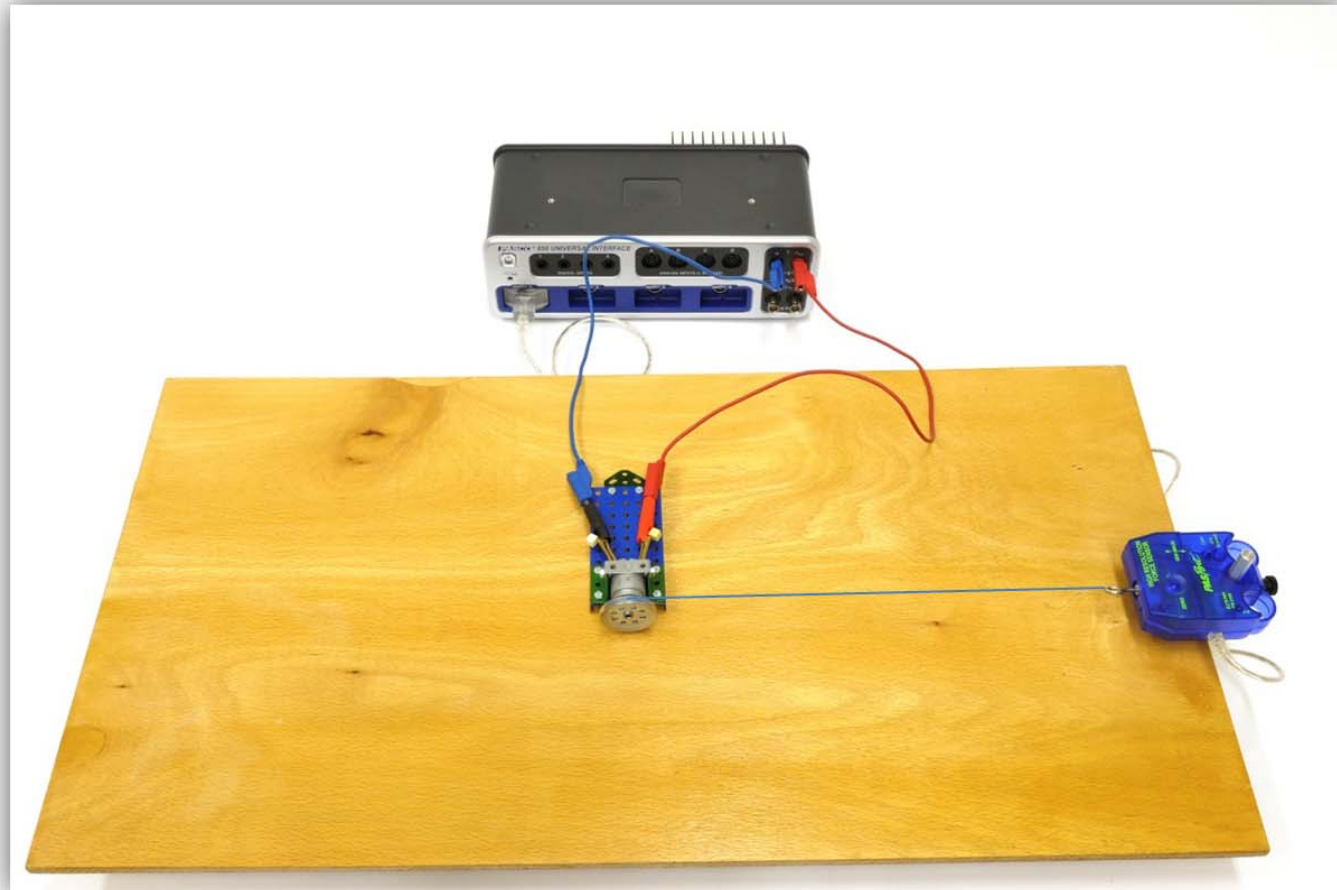
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- senzor síly
- malý stejnosměrný elektromotor (například 5 V)
- uchycení motorku (například z konstrukční stavebnice Merkur)
- kladky několika průměrů z konstrukční stavebnice na osu motorku
- nit
- propojovací vodiče s krokosvorkami
- svorku k uchycení senzoru síly ke stolu
- posuvné měřítko



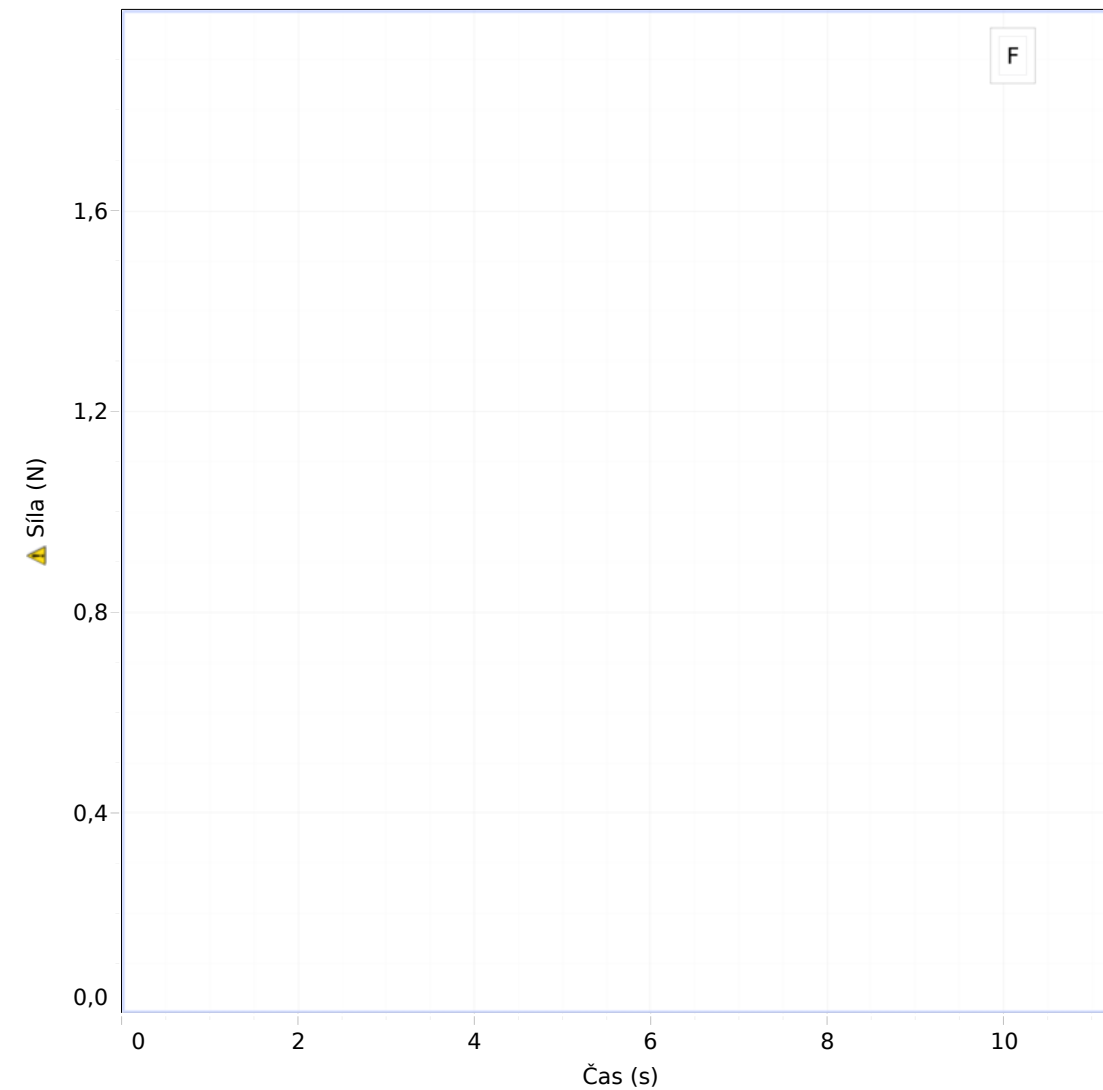
Příprava a sestavení experimentu

1. Z konstrukční stavebnice vyrobíme jednoduché uchycení motorku na destičku.
2. Na osu motorku uchytíme kladku a zajistíme šroubkem (průměr osičky v případě potřeby zvětšíme navinutím několika vrstev lepicí pásky).
3. Ke kladce přivážeme jeden konec nitě a několikrát ji ovineme okolo kladky.
4. Senzor síly připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem, k jeho háčku přivážeme druhý konec nitě a pomocí svorky ho upevníme vodorovně k okraji stolu.
5. Pomocí vodičů s krokosvorkami připojíme elektromotorek k výstupu generátoru měřicího rozhraní.



Provedení experimentu – záznam dat

1. Motorek pevně přidržíme na stole v takové vzdálenosti od senzoru síly, aby byla nit vedoucí od kladky k senzoru síly téměř napnutá.
2. Odpojíme jeden vodič od zdroje napětí (vývodu generátoru měřicího rozhraní) a spustíme měření.
3. Vynulujeme senzor síly stiskem tlačítka na senzoru.
4. Krátce (asi na 1–2 s) připojíme volný vodič od motorku ke zdroji tak, aby se napnula nit vedoucí k senzoru síly, a vodič opět odpojíme. (Pokud se motorek otáčí na opačnou stranu, změníme polaritu připojení).
5. V grafu se během měření zobrazuje průběh síly, kterou působí nit na siloměr.
6. Jakmile odpojíme vodič od zdroje, ukončíme měření.



Časový průběh síly

Analýza naměřené závislosti – teorie

Točivý moment nebo **krouťivý moment** jsou různé názvy pro **vektorovou fyzikální veličinu moment síly**. Tato veličina má obdobný význam pro **rotační pohyb tělesa**, jako má síla pro jeho pohyb posuvný. Velikost momentu síly určuje, s jakým zrychlením se bude těleso roztáčet, nebo jak rychle se jeho rotace naopak zmenšuje.

Působí-li například na okraj kola o poloměru r síla o velikosti F v tečném směru k obvodu kola (viz obrázek 1), lze **velikost momentu** této síly vůči ose otáčení vypočítat jednoduše jako **součin velikosti této síly a její vzdálenosti od osy otáčení**

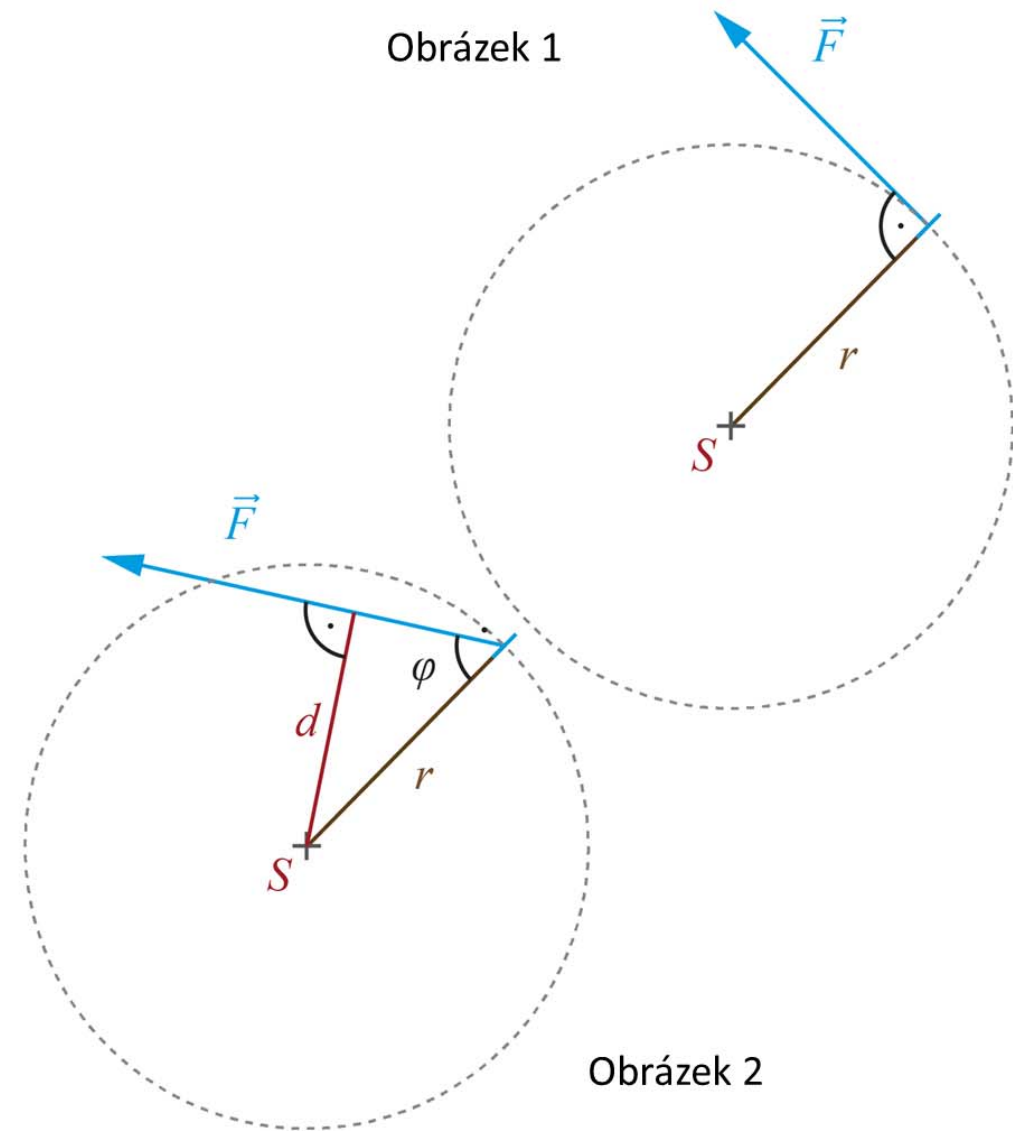
$$M = F r.$$

Z uvedeného vztahu můžeme určit jednotku momentu síly, kterou je Nm (newtonmetr).

Pokud působí síla na otočné těleso jiným směrem než kolmo k poloměru (obrázek 2), určíme jako vzdálenost síly od osy otáčení nejmenší vzdálenost d mezi osou otáčení a přímkou, na které leží vektor dané síly. Podle **velikosti úhlu** φ , který spolu svírá vektor síly a poloměr v místě působení síly, potom můžeme určit velikost příslušného momentu síly jako

$$M = F r \sin \varphi.$$

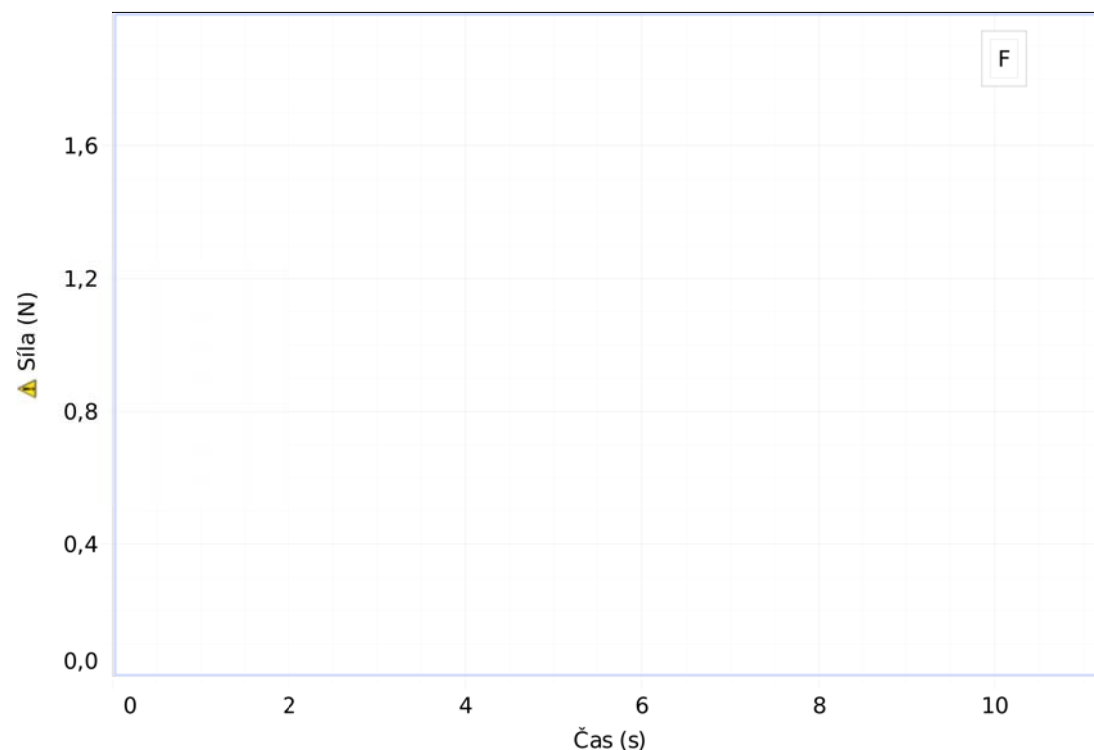
Obrázek 1



Obrázek 2

Analýza naměřené závislosti – úkoly

1. Změřte posuvným měřítkem vnitřní průměr kladky na motorku, určete poloměr r v metrech a запиšte ho do tabulky spolu s velikostí napětí, ke kterému je připojen elektromotor (hodnota napětí je vidět v nastavení generátoru měřicího rozhraní).
2. Z naměřeného grafu průběhu síly odečtěte přibližnou průměrnou hodnotu síly F , kterou působí zapnutý motorek na senzor síly a запиšte ji také do tabulky. V posledním sloupci se automaticky dopočítá velikost momentu působící síly.
3. Zopakujte měření pro dvě další různé hodnoty napětí elektromotorku (například větší a menší), které nastavíte v ovládání generátoru měřicího rozhraní. Zjištěné hodnoty запиšte do dalších řádků tabulky.
4. Celé měření při různých napětích potom zopakujte s dvěma dalšími kladkami o různých poloměrech a naměřené hodnoty запиšte do tabulky.
5. Porovnejte výsledné hodnoty momentu síly v posledním sloupci tabulky a diskutujte, co z výsledků vyplývá.



Velikosti momentů působících sil

velikost momentu síly=[velikost působící síly (N)]*[poloměr kladky (m)]

	✂ Řada	▼ Řada	✂ Řada	▲ Řada
	napětí (V)	poloměr kladky (m)	velikost působící síly (N)	velikost momentu síly (Nm)
1				
2				
3				
4				
5				



B. Výkon motoru



Úvod

Automobilový **závodník** se snaží projet určenou trať v co **nejkratším čase**, tedy dosáhnout co **největší průměrné rychlosti**. Kromě práce na urychlování vozidla vynakládá energii na překonávání odporových sil. Protože **výkon** je definován jako **práce vykonaná za daný čas**, potřebuje k co nejrychlejšímu projetí tratě **co největší možný výkon**.

Je-li tedy vykonaná práce určena překonáváním odporových sil, zdálo by se, že **největší výkon** bude mít motor při **maximálním točivém momentu**, kdy působí automobil na vozovku největší silou. Výkon však **neovlivňuje pouze velikost působící síly**, ale také doba, po kterou tato síla koná práci, a výsledná rychlost automobilu, která je touto dobou určena, **závisí na frekvenci otáčení motoru**.

Z toho důvodu dosahují spalovací motory obvykle maximálního výkonu při vyšších otáčkách než maximálního točivého momentu.

V následujícím experimentu se pokusíme podrobněji prozkoumat, **jak souvisí výkon síly s rychlostí pohybu tělesa**, na něž tato síla působí. Místo spalovacího motoru přitom použijeme elektromotorek, u kterého je možné dobře určit jeho elektrický příkon.

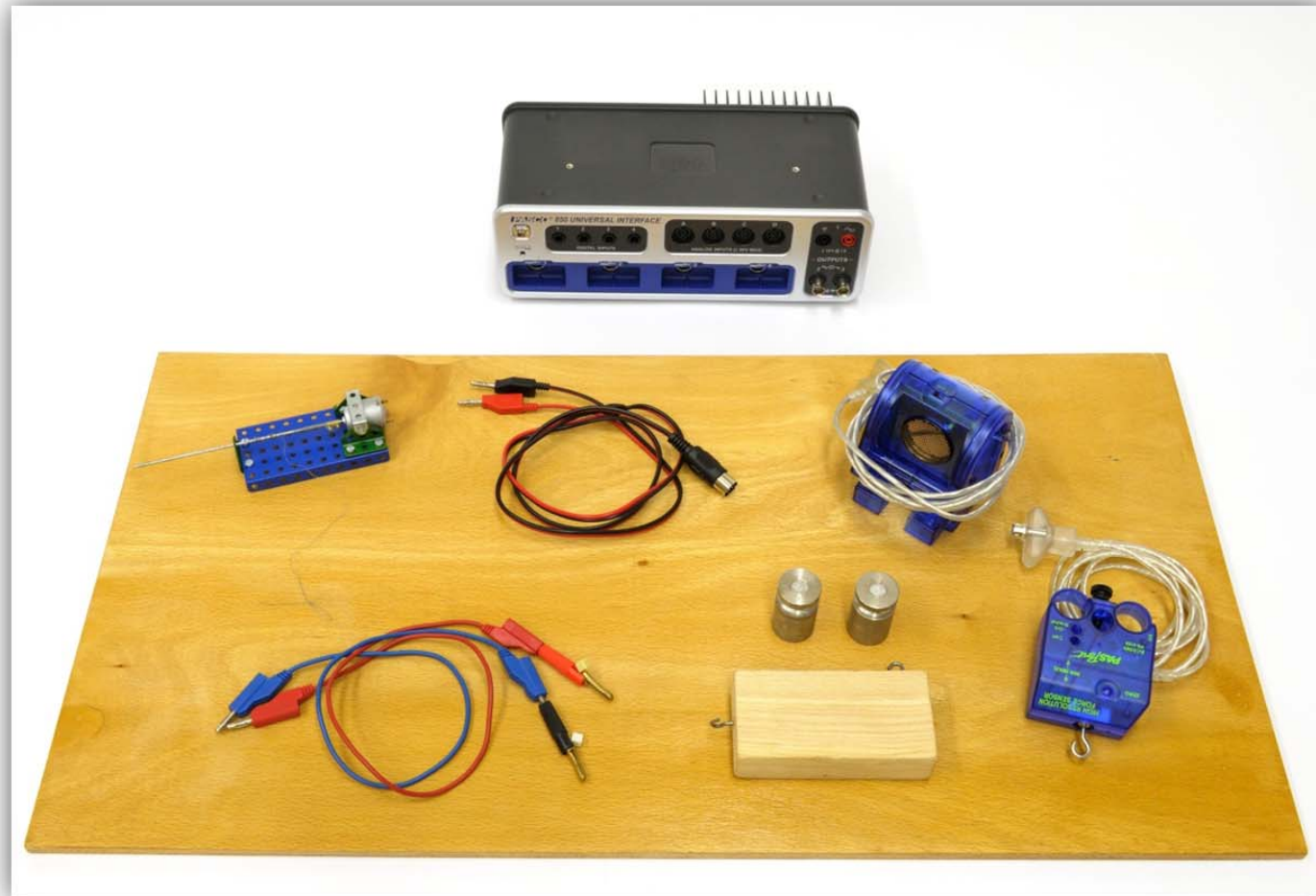


Foto: [Wikipedia \(wikipedia.org\)](https://www.wikipedia.org)

V následujícím experimentu se pokusíme podrobněji prozkoumat, **jak souvisí výkon síly s rychlostí pohybu tělesa**, na něž tato síla působí. Místo spalovacího motoru přitom použijeme elektromotorek, u kterého je možné dobře určit jeho elektrický příkon.

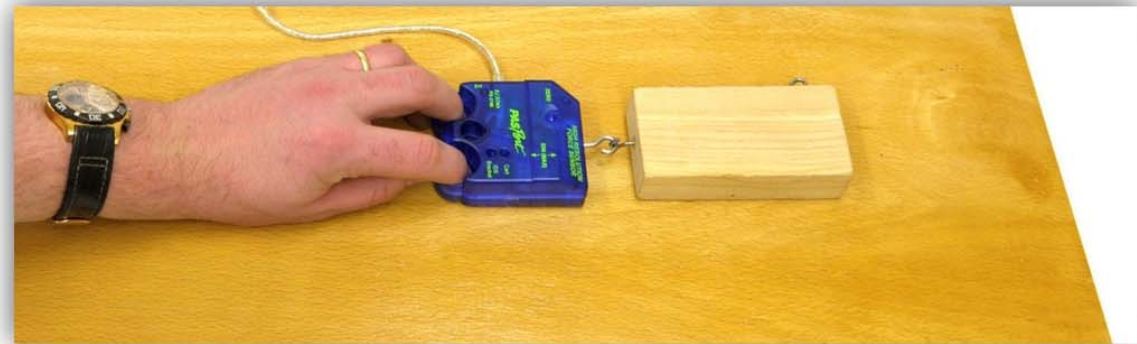
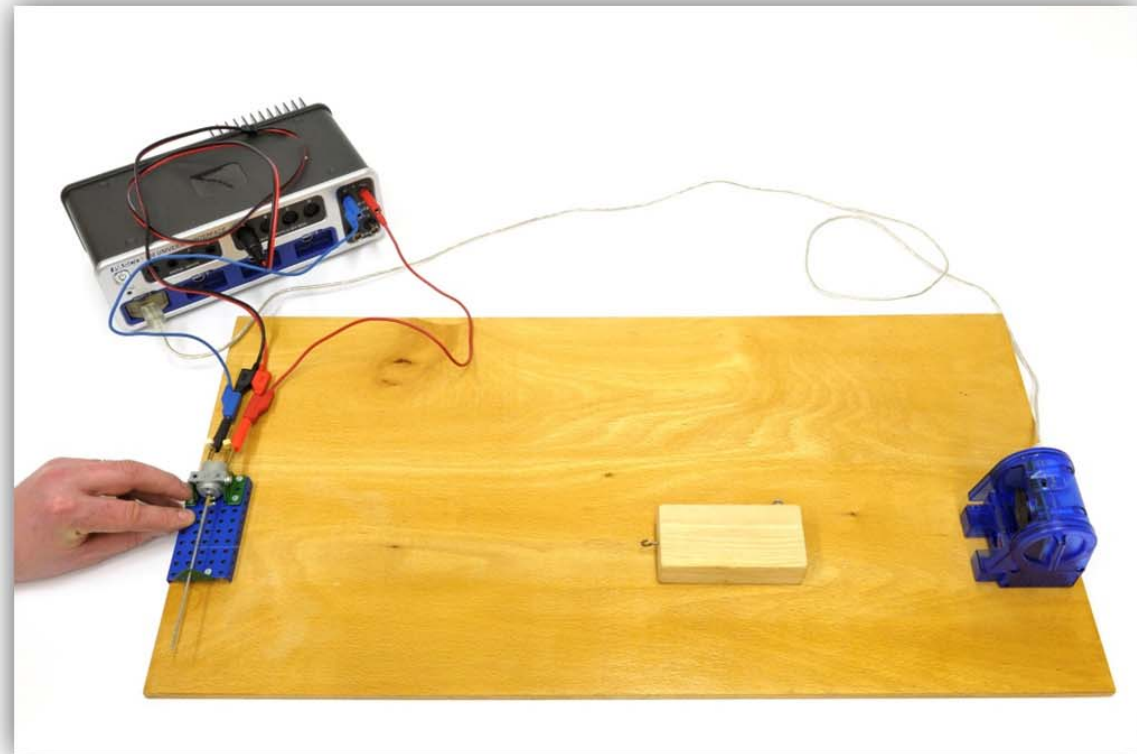
Co budeme potřebovat?

- univerzální měřicí rozhraní 850
- senzor polohy a pohybu
- senzor síly
- senzor napětí
- malý stejnosměrný elektromotor (například 5 V)
- uchycení motorku (například z konstrukční stavebnice Merkur)
- ocelový drát na prodloužení osy motorku
- šroubovací elektroinstalační svorku – „lustrsvorku“
- nit
- dřevěný kvádřík se závažími
- propojovací vodiče s krokosvorkami



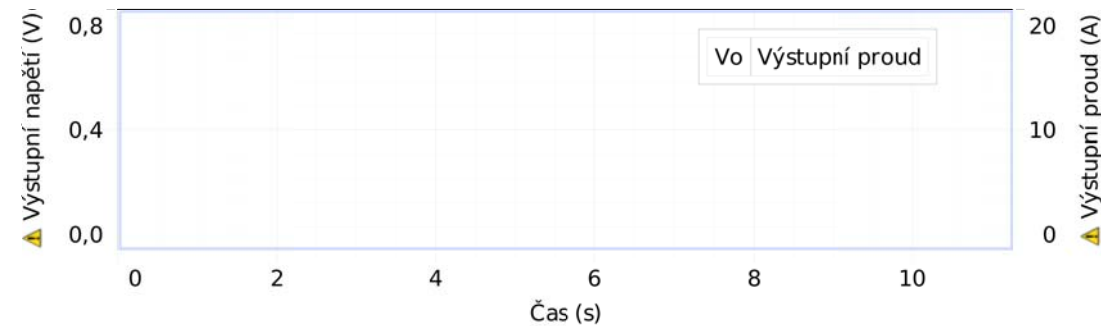
Příprava a sestavení experimentu

1. Osu motorku prodloužíme pomocí „lustrsvorky“ přibližně 10 cm dlouhým ocelovým drátem.
2. Z konstrukční stavebnice vyrobíme jednoduché uchycení motorku s prodlouženou osou na destičku.
3. K prodloužené ose přivážeme jeden konec asi 0,5 m dlouhé nitě, druhý konec připevníme například malým hřebíčkem k dřevěnému kvádříku.
4. K měřicímu rozhraní propojenému s počítačem připojíme senzor polohy a pohybu, senzor síly a senzor napětí.
5. Pomocí vodičů s krokosvorkami připojíme elektromotorek k výstupu generátoru měřicího rozhraní.
6. Kvádřík umístíme na desku stolu přibližně 15 cm před senzor polohy a pohybu a motorek přidržíme na desce stolu asi 0,5 m před kvádříkem tak, aby se při navíjení nitě pohyboval kvádřík přímočaře od senzoru polohy a pohybu k motorku.

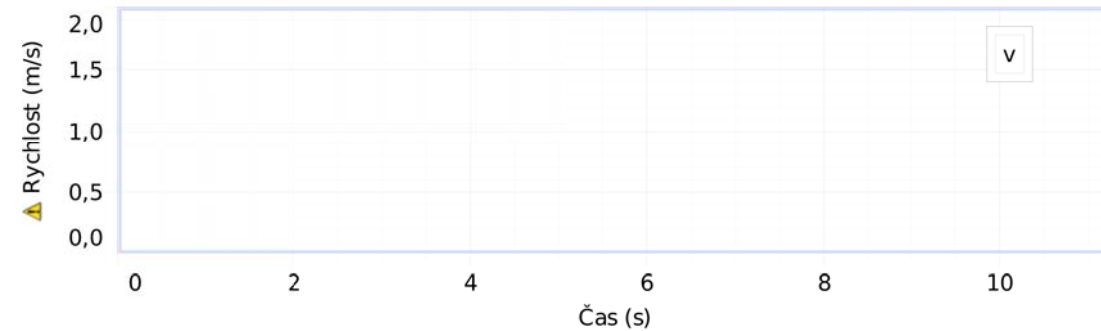


Postup práce – záznam dat

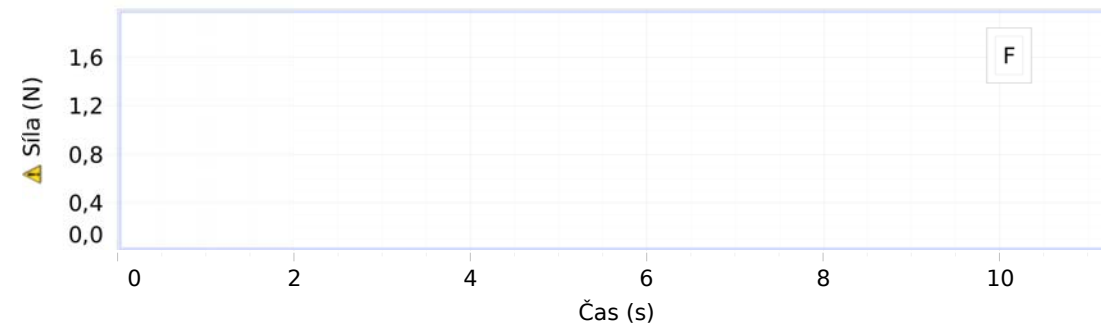
1. Motorek držíme na stole, spustíme měření a pozorujeme pohyb kvádříku. Pokud kvádřík příliš zrychluje, zopakujeme měření s tím, že zmenšíme napětí v nastavení výstupu generátoru měřicího rozhraní tak, aby se kvádřík pohyboval pomalým rovnoměrným pohybem, pokud motorek kvádřík neutáhne, napětí mírně zvětšíme.
2. V prvním grafu se během měření zobrazuje průběh napětí na motorku a elektrického proudu procházejícího motorkem. Druhý graf zobrazuje časový průběh rychlosti kvádříku.
3. Následně zahákneme kvádřík za senzor síly, spustíme měření, vynulujeme senzor síly stiskem tlačítka na senzoru (senzor nesmí být při nulování zatížen v tahu) a pomalým rovnoměrným táhnutím za senzor síly měříme velikost síly k překonání tření mezi kvádříkem a podložkou. Průběh síly se zobrazuje ve třetím grafu.



Časový průběh napětí a proudu tekoucího elektromotorkem



Časový průběh rychlosti kvádříku



Časový průběh třecí síly mezi kvádříkem a podložkou

Analýza naměřených závislostí – teorie

Elektrický příkon P_0 elektromotoru se vypočítá jako součin napětí U , ke kterému je připojen, a velikosti elektrického proudu I , který elektromotorem prochází

$$P_0 = UI .$$

Pokud se těleso v odporovém prostředí pohybuje rovnoměrným pohybem, musí na něj ve směru pohybu působit síla, jejíž velikost F je přesně rovna velikosti odporových sil. (Pokud by působící síla byla větší, těleso by zrychlovalo, pokud by byla menší, postupně by zpomalovalo.) Práce W vykonaná touto silou za dobu t se vypočítá jako

$$W = Fs ,$$

kde s je dráha uražená za danou dobu tělesem.

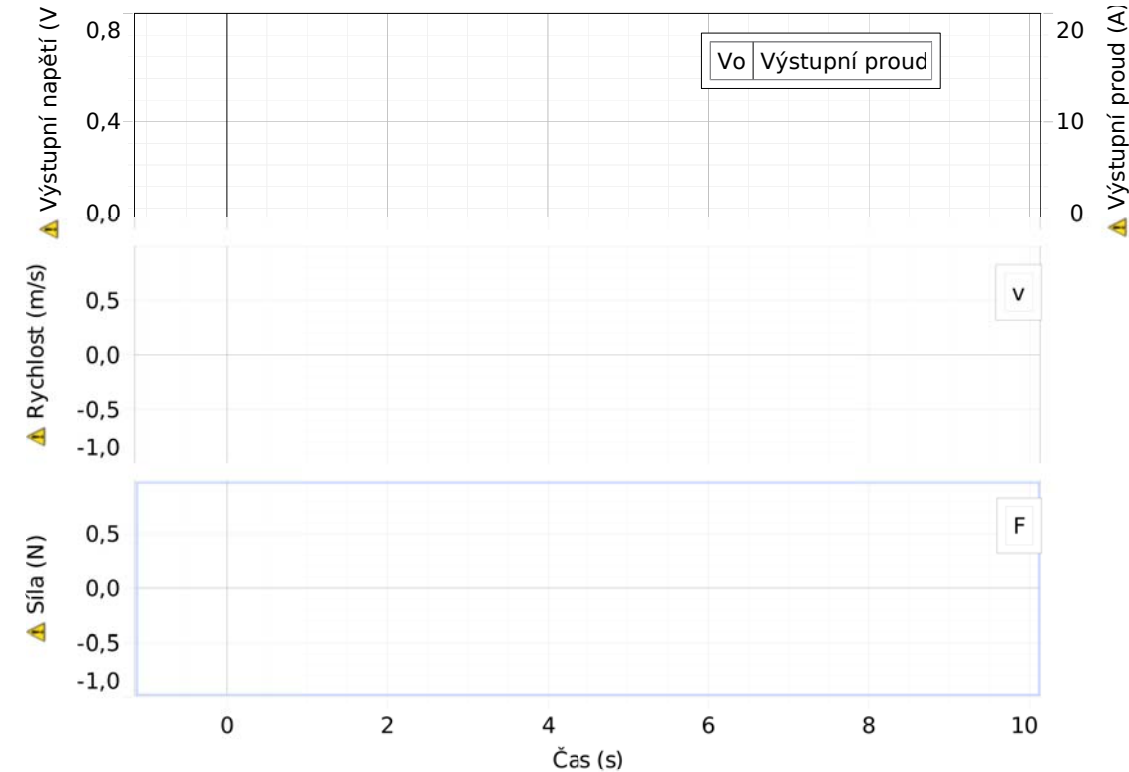
Výkon definovaný jako podíl práce a doby, za kterou byla tato práce vykonána, lze potom vyjádřit ze vztahu

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv ,$$

kde v (podíl uražené dráhy a příslušné doby) je rychlost rovnoměrného pohybu tělesa.

Analýza naměřených závislostí – úkoly

- Odečtete z grafů naměřených závislostí průměrné napětí a proud tekoucí elektromotorkem a запиšte je do tabulky, v dalším sloupečku se dopočítá elektrický příkon motorku.
- Dále z grafů odečtete hodnotu průměrné rychlosti kvádříku a velikost tahové síly a také je запиšte do tabulky, v posledním sloupci se přitom dopočítá výkon síly, kterou působí motorek prostřednictvím nitě na kvádřík.
- Zopakujte obě měření pro různě zatížené kvádříky (upravte vždy vhodně napětí na motorku) a výsledky запиšte do tabulky.
- Porovnejte výsledné hodnoty příkonu elektromotorku a výkonu působící síly a objasněte případné rozdíly.



Příkon elektromotorku a výkon působící síly

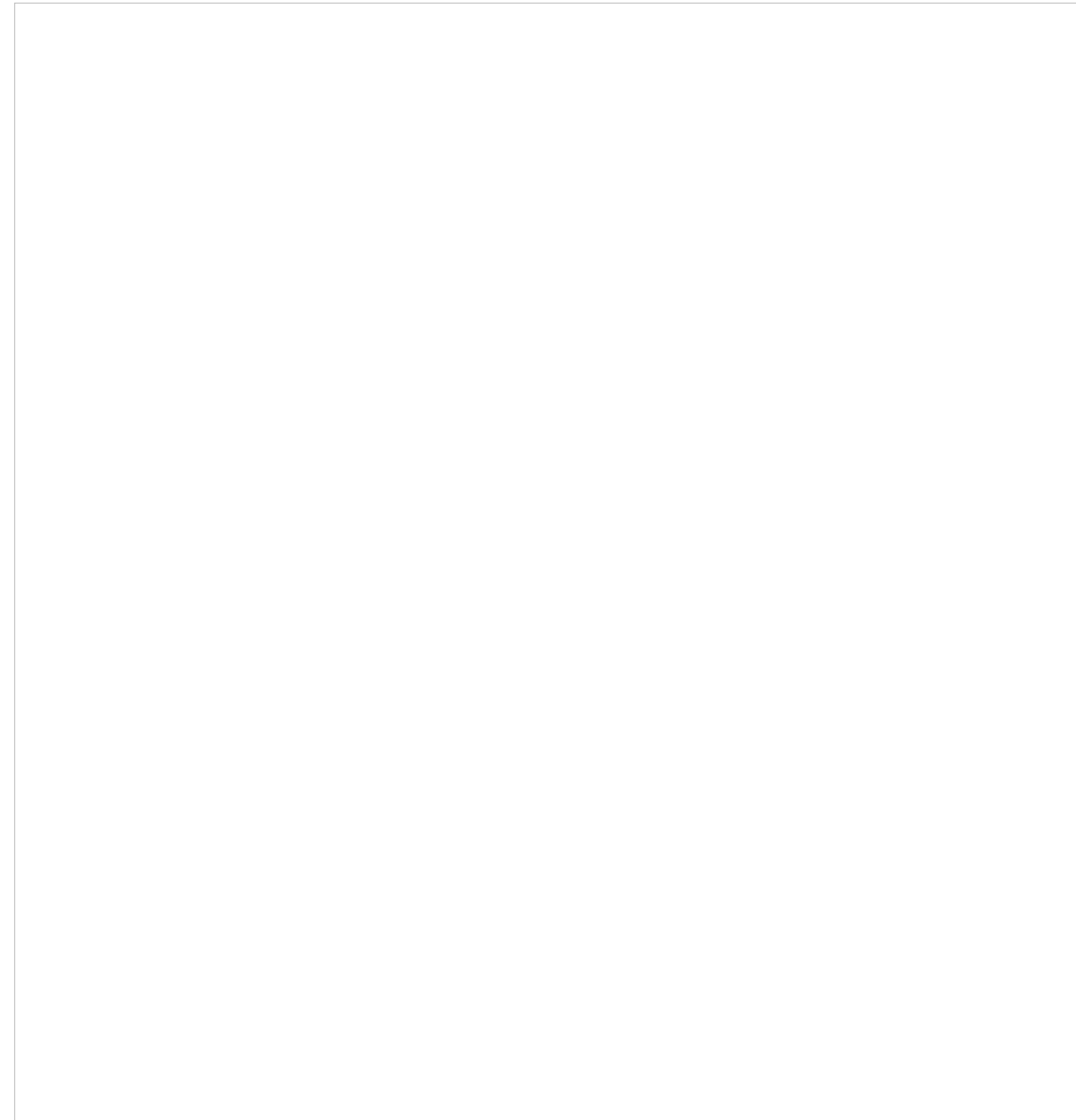
výkon působící síly=[rychlost kvádříku (m/s)]*[tahová síla (N)]

	■ Řada	● Řada	◆ Řada	✧ Řada	▼ Řada	⊠ Řada
	velikost napětí (V)	velikost proudu (A)	příkon (W)	tahová síla (N)	rychlost kvádříku (m/s)	výkon působící síly (W)
1						
2						
3						
4						

Závěr

Objasněte, v kterých situacích se nejvíce projeví velikost točivého momentu motoru automobilu a v kterých situacích výkon jeho motoru.

Pokuste se vysvětlit, proč se v prvním experimentu při měření momentu síly elektromotorku postupně mírně zmenšovala velikost působící síly. (Uvažujte, co způsobuje dlouhodobější průchod proudu vinutím elektromotorku.)



Použité materiály a další informační zdroje

SVOBODA, Emanuel a kol. *Přehled středoškolské fyziky*.

Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-22435-0.

Použité fotografie z externích zdrojů:

morgueFile free photo archive (morguefile.com)

Wikipedia (wikipedia.org)

Metodické poznámky

- Uchytení elektromotorku je možné místo konstrukční stavebnice vytvořit například páskem plechu a šroubky na prkénku.
- Při měření točivého momentu motorku je možné místo kladky navinout nit také přímo na osu, případně na osu omotanou lepicí páskou pro zvětšení jejího poloměru (při malém poloměru se ve výsledcích pochopitelně bude projevovat větší relativní odchylka určení průměru). Měření točivého momentu motorku můžeme na jedné kladce provést několikrát za sebou, abychom lépe určili průměrnou sílu, kterou působí zablokovaný motorek na nit.
- Při uvedení prvního experimentu je vhodné poukázat na to, že měříme točivý moment elektromotorku v zablokovaném stavu na rozdíl od reálného měření točivého momentu spalovacího motoru, které se provádí při různých rychlostech otáčení například pomocí třecí brzdy.
- V druhém experimentu je potřeba vyzkoušet vhodné nastavení velikosti napětí elektromotorku tak, aby bylo jen o málo větší než minimum potřebné k pohybu kvádříku a motorek tak byl dostatečně zatížen.
- Porovnání točivého momentu a výkonu spalovacího motoru si (pokud je to možné) zaslouží podrobnější diskuzi s ohledem na typ motoru, převodovou soustavu, hmotnost vozidla, aerodynamický odpor a další aspekty, které ovlivňují výslednou dynamiku jízdy.