TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Technická zpráva o provedeném měření

Laboratoře 1

Krut (momentový klíč)

Bc. Jiří Budasz

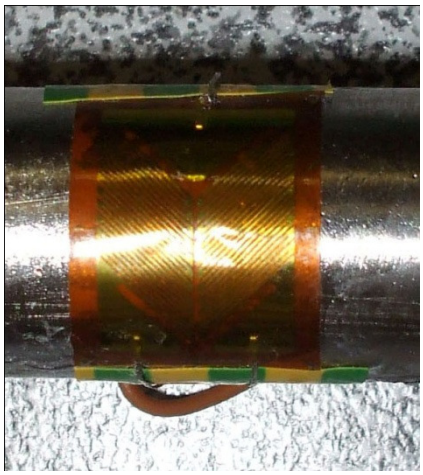
Bc. Jakub Rosický

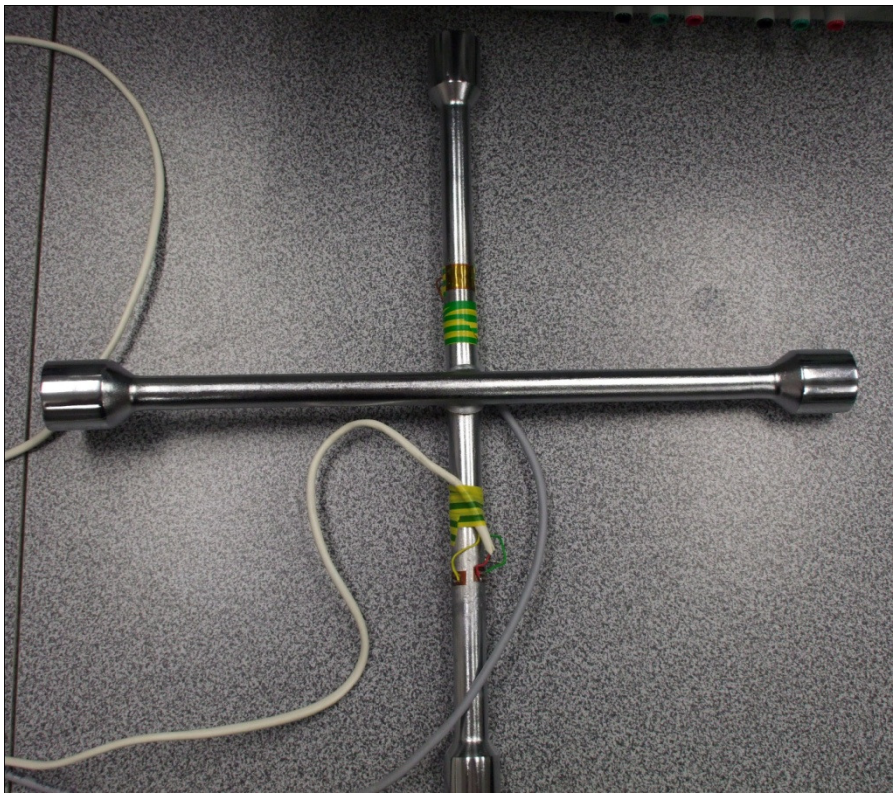
Datum: 15.12.2011 *Počet stran: 7*

Úvod

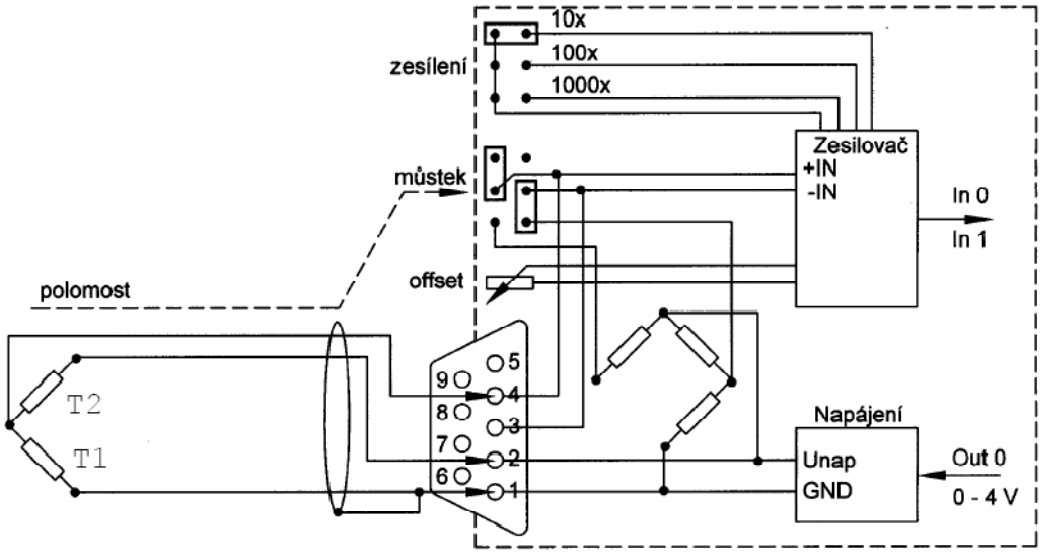
Cílem laboratorní úlohy bylo změření utahovacích momentů na šroubech kol. Pro měření byl vyroben momentový klíč z obyčejného klíče pomocí dvouosého tenzometru, který je určený pro měření krutu na hřídeli.

Fotografie aparatury





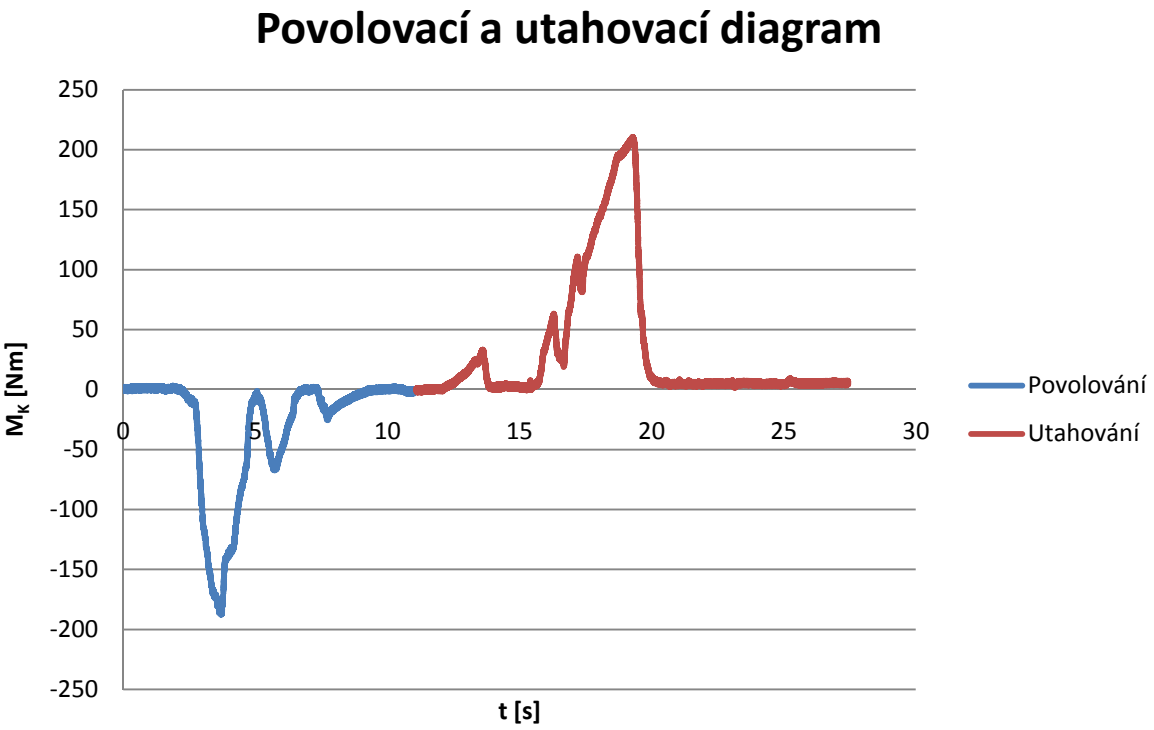
Elektrické schéma zapojení



Postup měření

Na klíč jsme přilepili dvouosý tenzometr a zapojili ho do polomostu. Následně jsme provedli kalibraci křížového klíče pomocí známého závaží o známém rameni. Z naměřené změny napětí ΔU_M tenzometrického můstku a vypočteného momentu M_k jsme určili kalibrační koeficient C. Do připravené aplikace vytvořené v programu LabView jsme zadali hodnotu C a poté jsme provedli měření povolovacího a utahovacího momentu na šroubu kola. Nakonec jsme porovnali naměřený kalibrační koeficient s kalibračním koeficientem, který byl vypočten pomocí teoretických vztahů.

Naměřený průběh



Teoretické odvození převodního koeficientu

Pro odvození teoretického koeficientu převodu mezi změnou napětí diagonály můstku $\Delta U_M\ [V]$ a zatěžujícím momentem $M_k\ [N \cdot m]$ vyjdeme ze vztahu pro napětí $\tau\ [Pa]$, kterým je namáhán hřídel s kruhovým průřezem zatížený zmíněným momentem na krut.

$$\tau(r) = \frac{M_k}{J_P} \cdot r$$

Kde $r\ [m]$ je vzdálenost od osy hřídele. V našem případě uvažujeme vzdálenost rovnu $R\ [m]$, což je poloměr hřídele.

$$\tau = \frac{M_k}{J_P} \cdot R$$

$J_P\ [m^4]$ představuje polární moment, který je roven:

$$J_P = \frac{\pi \cdot R^4}{2}$$

Po dosazení a úpravě:

$$M_k = \frac{\tau \cdot \pi \cdot R^3}{2}$$

Pro určení velikosti τ z měřené deformace ε [1] vyjdeme ze souvislostí těchto veličin pro rovinnou napjatost, kdy zároveň obě deformace $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ a napětí τ_1, τ_2 působí v hlavních směrech, což je náš případ vzhledem k volbě orientace tenzometru.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\tau_1 - \mu\tau_2)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\tau_2 - \mu\tau_1)$$

E $[Pa]$ je Youngův modul pružnosti a μ [1] je Poissonovo číslo.

Vzhledem k tomu, že platí:

$$\tau = \tau_1 = -\tau_2$$

A zároveň:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = -\varepsilon_2$$

Je napětí τ rovno:

$$\tau = 2 \cdot G \cdot \varepsilon$$

Přičemž G $[Pa]$ je modul ve smyku a je roven:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

Vztah mezi zatěžujícím momentem M_k a deformací ε tedy je:

$$M_k = \pi \cdot R^3 \cdot G \cdot \varepsilon$$

Zbývá vyjádřit deformaci ε z měřené veličiny, tedy změny napětí na diagonále můstku ΔU_M na základě tenzometrického vztahu pro polomost:

$$\frac{\Delta U_M}{U_M} = \frac{k}{4}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

Kde U_M $[V]$ je napájecí napětí polomostu a k [1] je konstanta tenzometru. Uvažujeme-li:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = -\varepsilon_2$$

Dostaneme po úpravě:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \Delta U_M}{U_M \cdot k}$$

Výsledný vztah tedy je:

$$\boldsymbol{M_k = \frac{2 \cdot G \cdot \pi \cdot R^3}{k \cdot U_M} \cdot \Delta U_M}$$

Teoretický koeficient převodu C $[N \cdot m \cdot V^{-1}]$ je tedy roven:

$$\boldsymbol{C = \frac{2 \cdot G \cdot \pi \cdot R^3}{k \cdot U_M}}$$

Naměřené hodnoty a výpočty

Velikost změřeného koeficientu:

$$d = 0{,}15\ m$$
$$m = 3\ kg$$
$$\Delta U_M = 0{,}12\ mV$$
$$F = m \cdot g = 3 \cdot 9{,}81 = 29{,}43\ N$$
$$M_k = F \cdot d = 29{,}43 \cdot 0{,}15 = 4{,}4145\ N \cdot m$$
$$C = \frac{M_k}{\Delta U_M} = \frac{4{,}4145}{0{,}12 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{36800\ N \cdot m \cdot V^{-1}}$$

Velikost koeficientu určená teoretickým výpočtem:

$$R = 7{,}85 \cdot 10^{-3}\ m$$
$$G = 81{,}4\ GPa$$
$$k = 2{,}04$$
$$U_M = 4\ V$$
$$C = \frac{2 \cdot G \cdot \pi \cdot R^3}{k \cdot U_M} = \frac{2 \cdot 81{,}4 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot (7{,}85 \cdot 10^{-3})^3}{2{,}04 \cdot 4} \doteq \mathbf{30300\ N \cdot m \cdot V^{-1}}$$

Závěr

Sestavili jsme momentový klíč z obyčejného klíče na povolování šroubů kol. Klíč jsme zkalibrovali a vyzkoušeli povolit a utáhnout šroub na automobilu Fiat Punto 55s. Z porovnání změřeného koeficientu a teoreticky vypočteného je patrná odchylka. Ta může být způsobena jednak tím, že na rameni klíče je vyražena velikost hlavy šroubu. Díky tomu je rameno lehce deformováno a mohly tak být změněny jeho vlastnosti. Jako další příčina se jeví velikost použitého napájecího napětí můstku – 4 V. Vzhledem k tomu, že měřící zařízení je napájeno z USB, tedy napětím o velikosti 5 V, mohlo dojít k tomu, že na můstku bylo napětí menší. Do měření samotného tato skutečnost chybu nevnesla, neboť kalibrace proběhla za stejných podmínek jako měření. Ovšem v teoretickém výpočtu se již projevit mohla. V dalším experimentu by bylo vhodné použít nižší napájecí napětí, případně jej ověřit měřením. Bylo by také vhodné sehnat klíč, který není deformován vyráženou velikostí hlavy šroubu.

Výsledky:

Koeficient převodu	**C [N·m·V^{-1}]**
změřený	**36800**
teoreticky vypočtený	**30300**