



## Protokol o zkoušce

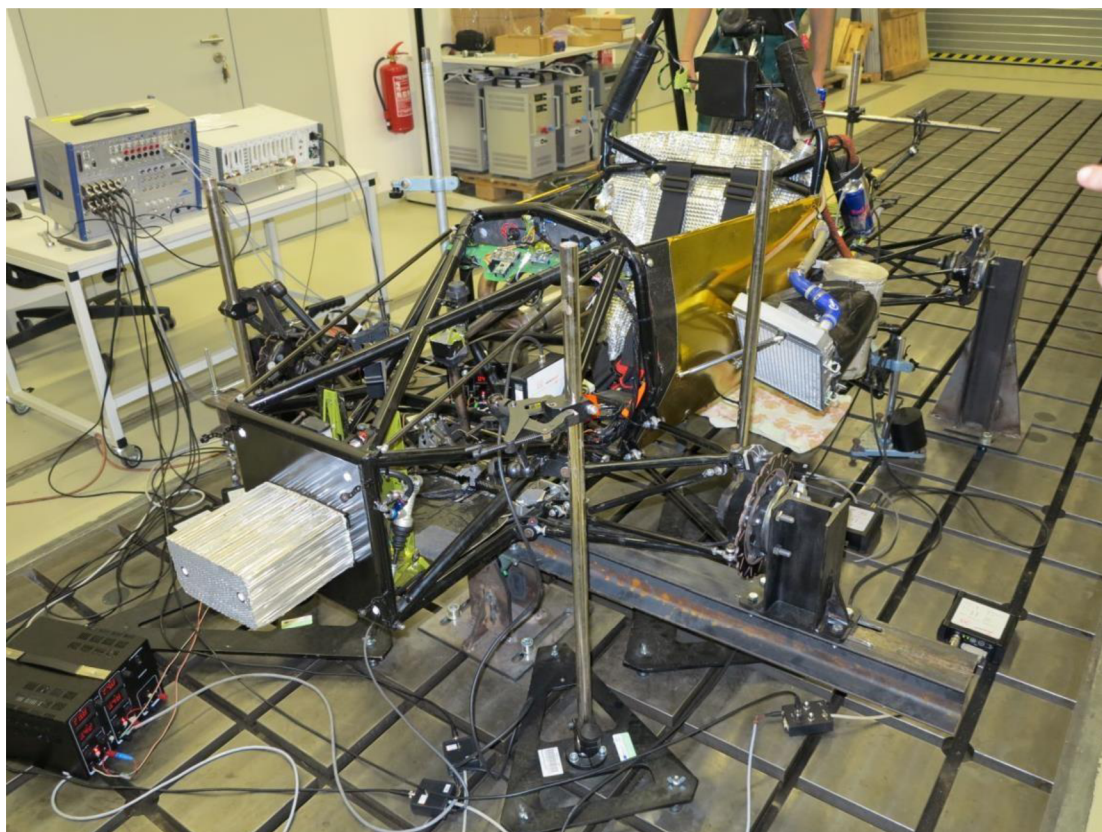
### Měření torzní tuhosti rámu

Místo měření:	VÚTS, a.s.	Zákazník:	CULS Prague formula racing
Číslo protokolu:	MER-V-58/2022	Datum vydání:	7. 12. 2022
Počet výtisků:	2	Datum měření:	29. 11. 2022
Výtisk č.:	1	Měření provedl:	Ing. J. Bělík Ing. P. Klouček, Ph.D. Ing. N. Palsovics
Číslo zakázky:	9754	Vedoucí útvaru:	Ing. P. Klouček, Ph.D.

Digitálně podepsal  
Pavel Klouček  
Datum: 2022.12.08  
10:07:04 +01'00'

#### 1. Měřené zařízení

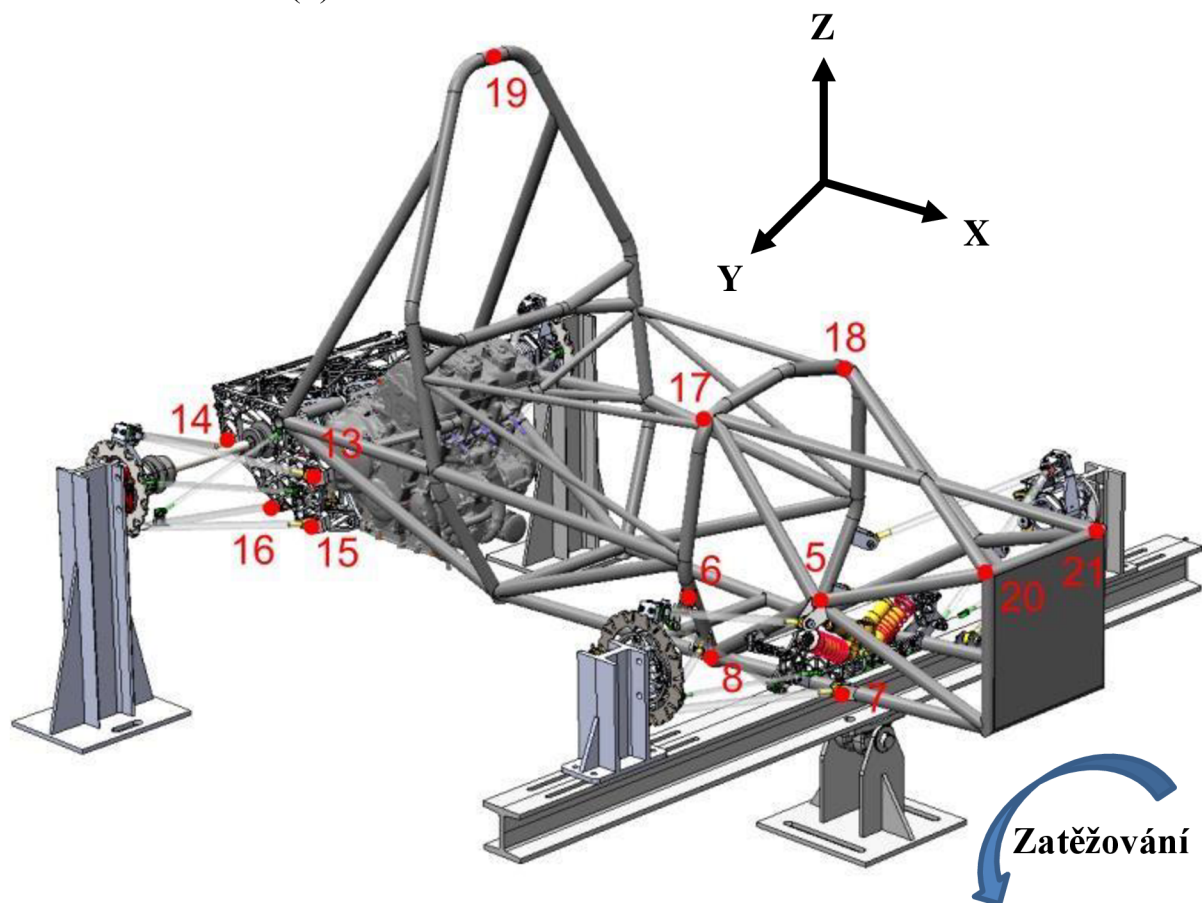
Měřen byl rám studentské formule Fighter-FS-07 týmu CULS Prague formula racing. Formule byla kompletní kromě karoserie. V rámu byla namontována pohonná jednotka, která má významný vliv na tuhost rámu. Tlumiče byly nahrazeny tuhou vzpěrou.

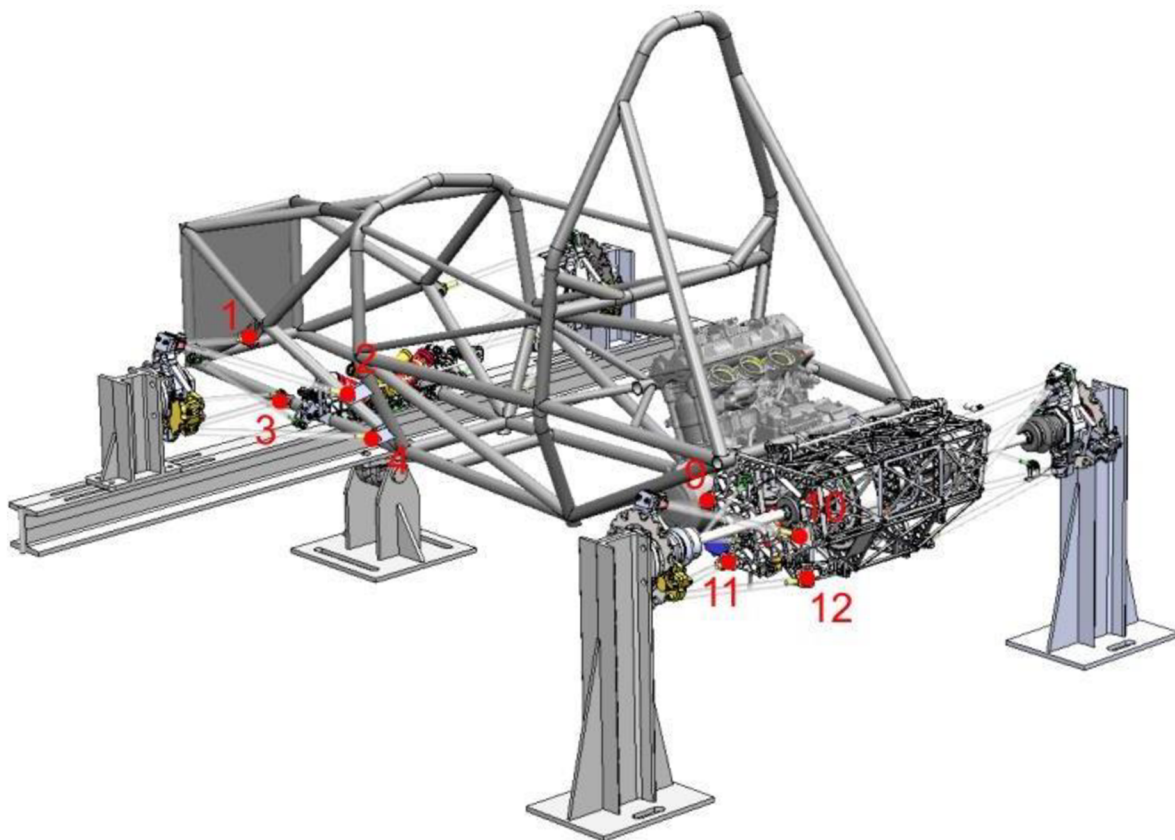


Obrázek 1 Upevnění rámu k drážkovému roštu

## 2. Popis měření

Rám byl upevněn k drážkovému roštu pomocí přípravků ve formě tuhých svařenců. Přípravky byly navrženy tak, aby jejich tuhost byla řádově vyšší oproti rámu formule. Upevněny k rámu byly pomocí čtveřic matic přímo na náboje kol. Zadní náprava byla k podlaze fixována napřímo, přední náboje byly propojeny tuhým nosníkem, který byl ve svém středu otočně upevněn na základně pomocí dvojice ložisek a na jednom konci byl zatěžován silou. Bezkontaktní laserové snímače zdvihu a kontaktní indukčnostní snímače byly na samostatných stojanech rozmístěny k jednotlivým měřicím bodům rámu. Rozmístění měřicích bodů je vidět na obrázku 2. Pohyb bodu č. 19 byl měřen v horizontálním směru (Y), ostatní body byly měřeny ve směru vertikálním (Z).





Obrázek 2 Měřicí body na rámu

### 3. Měřicí přístroje a snímače

#### První měření

Bod č.1: Microepsilon ILD2220-100 S. N. 0512539

Bod č.2: Microepsilon ILD2220-50 S. N. 0512537

Bod č.3: Microepsilon ILD2220-200 S. N. 0512540

Bod č.4: Microepsilon ILD2220-20 S. N. 0512534

Bod č.5: Microepsilon ILD2220-100 S. N. 0512538

Bod č.6: Microepsilon ILD2220-50 S. N. 0512536

Bod č.7: Microepsilon ILD2220-200 S. N. 1114708

Bod č.8: Microepsilon ILD2220-20 S. N. 0512535

Bod č.12: HBM WA/10mm-T S. N. 162610138

Bod č.16: HBM WA/10mm-T S. N. 162610137

Zatěžovací síla: tenzometrický snímač síly HBM U9B/10kN, S. N. 095110294, zesilovač  
HBM MGCplus, S. N. 801104966

#### Druhé měření

Bod č.3: Microepsilon ILD2220-200 S. N. 0512540

Bod č.7: Microepsilon ILD2220-200 S. N. 1114708

Bod č.9: Microepsilon ILD2220-100 S. N. 0512539

Bod č.10: Microepsilon ILD2220-50 S. N. 0512537

Bod č.11: Microepsilon ILD2220-20 S. N. 0512534

Bod č.12: HBM WA/10mm-T S. N. 162610138

Bod č.13: Microepsilon ILD2220-100 S. N. 0512538

Bod č.14: Microepsilon ILD2220-50 S. N. 0512536

Bod č.15: Microepsilon ILD2220-20 S. N. 0512535

Bod č.16: HBM WA/10mm-T S. N. 162610137

Zatěžovací síla: tenzometrický snímač síly HBM U9B/10kN, S. N. 095110294, zesilovač HBM MGCplus, S. N. 801104966

#### Třetí měření

Bod č.3: Microepsilon ILD2220-200 S. N. 0512540

Bod č.7: Microepsilon ILD2220-200 S. N. 1114708

Bod č.12: HBM WA/10mm-T S. N. 162610138

Bod č.16: HBM WA/10mm-T S. N. 162610137

Bod č.17: Microepsilon ILD2220-20 S. N. 0512535

Bod č.18: Microepsilon ILD2220-20 S. N. 0512534

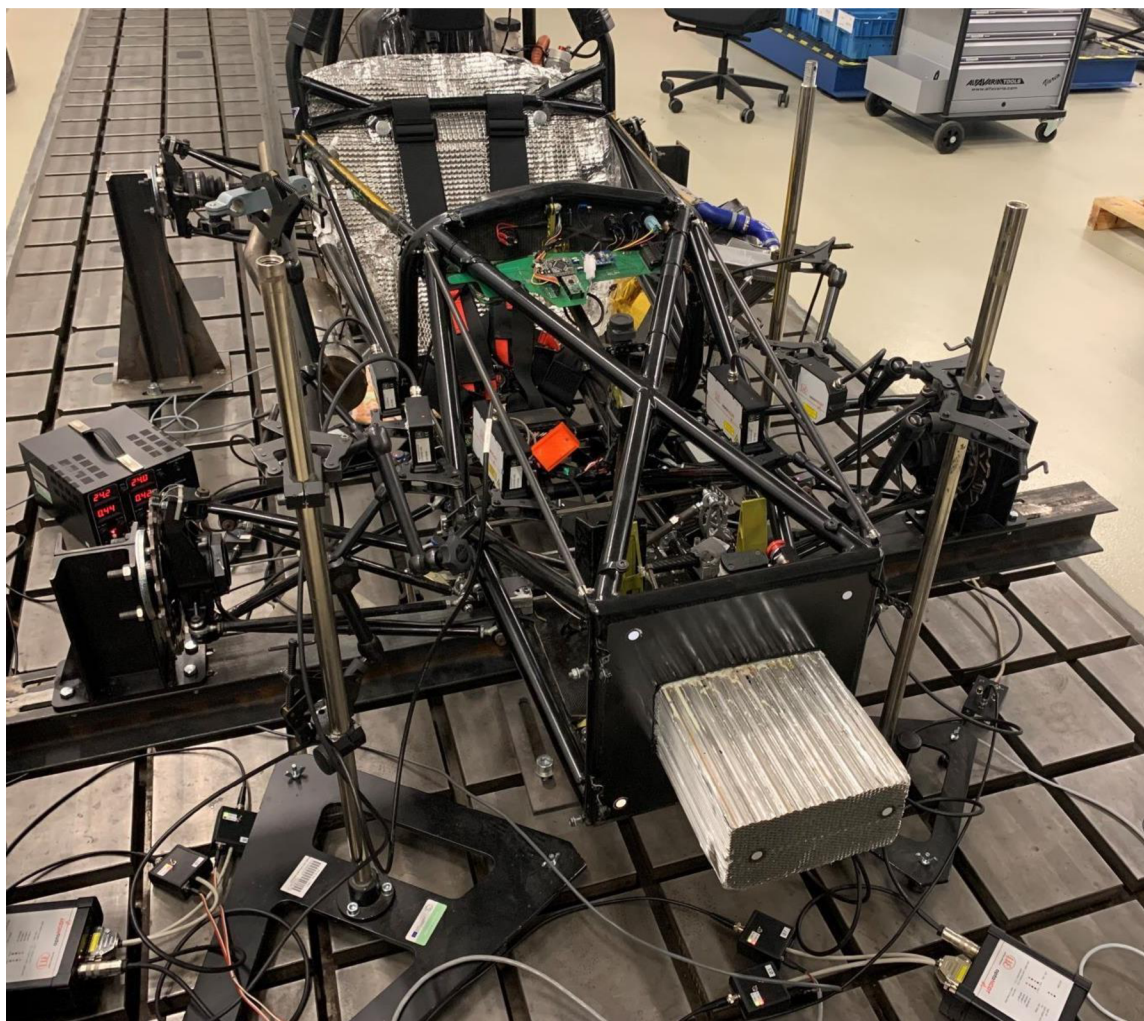
Bod č.19: Microepsilon ILD2220-100 S. N. 0512539

Bod č.20: Microepsilon ILD2220-50 S. N. 0512536

Bod č.21: Microepsilon ILD2220-50 S. N. 0512537

Zatěžovací síla: tenzometrický snímač síly HBM U9B/10kN, S. N. 095110294, zesilovač HBM MGCplus, S. N. 801104966

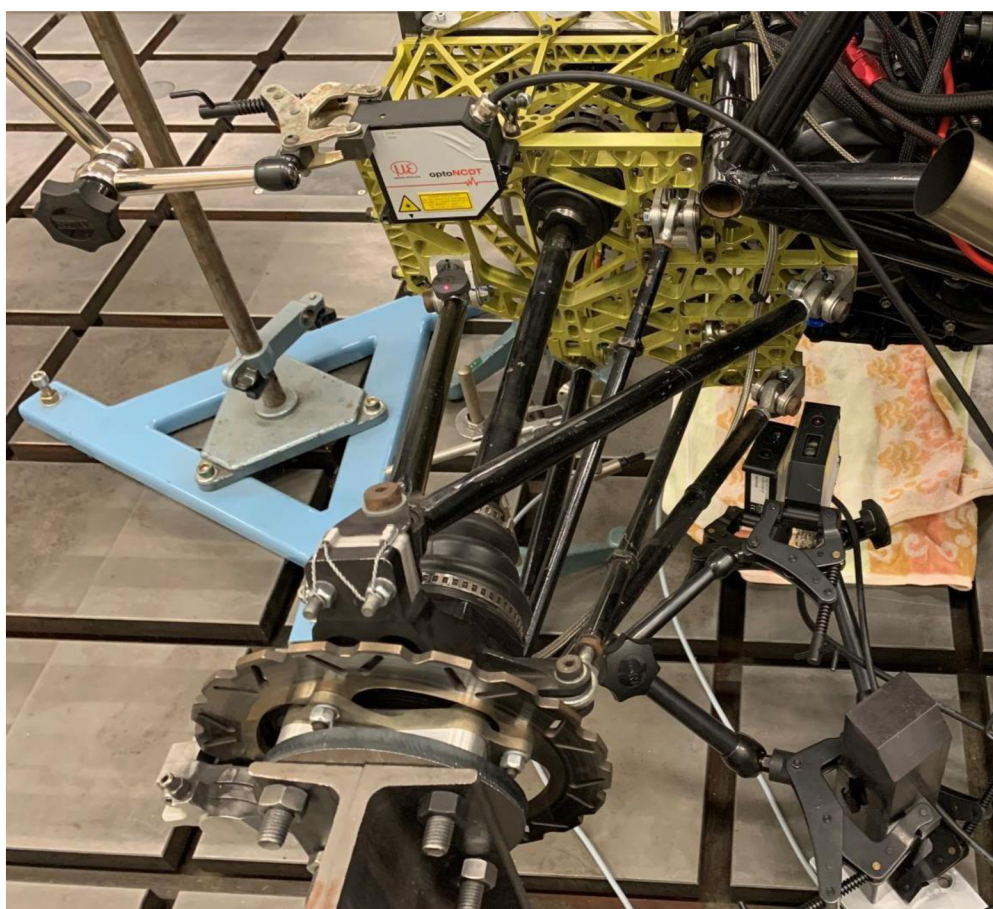
Měřená data byla zaznamenávána 34-kanálovým měřicím analyzátozem Dewetron DEWE-2602, v.č. 28120330 se vstupními moduly DAQP-STG a DAQP-CFB. Výsledky byly zpracovány v programu FlexPro 9.1 firmy Weisang.



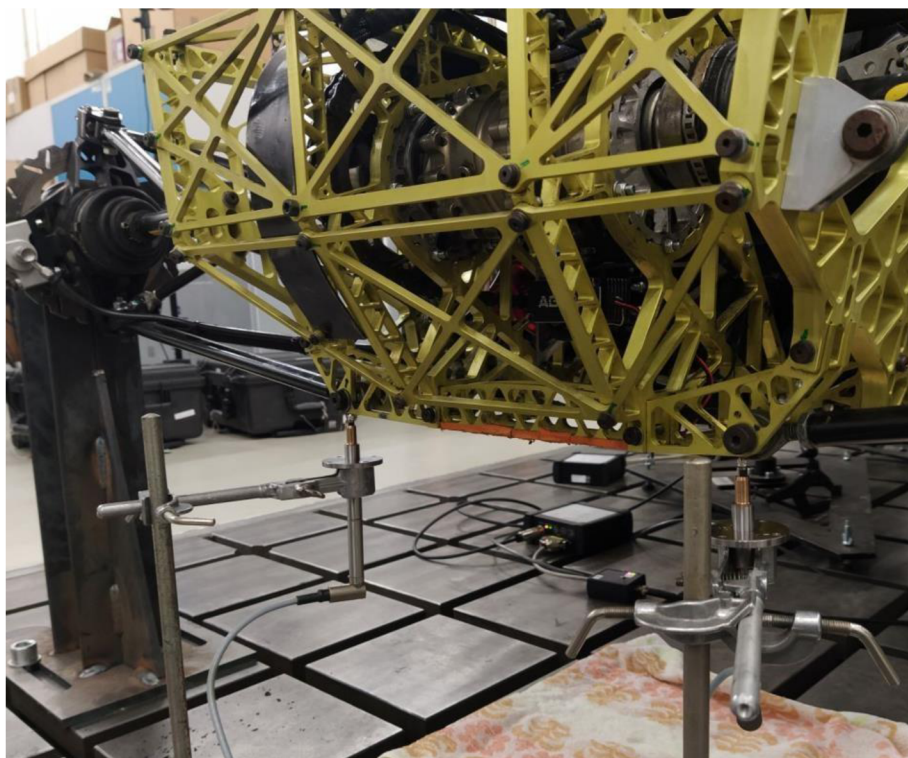
*Obr. 3 Snímače zdvihu instalovány v prvním měření*



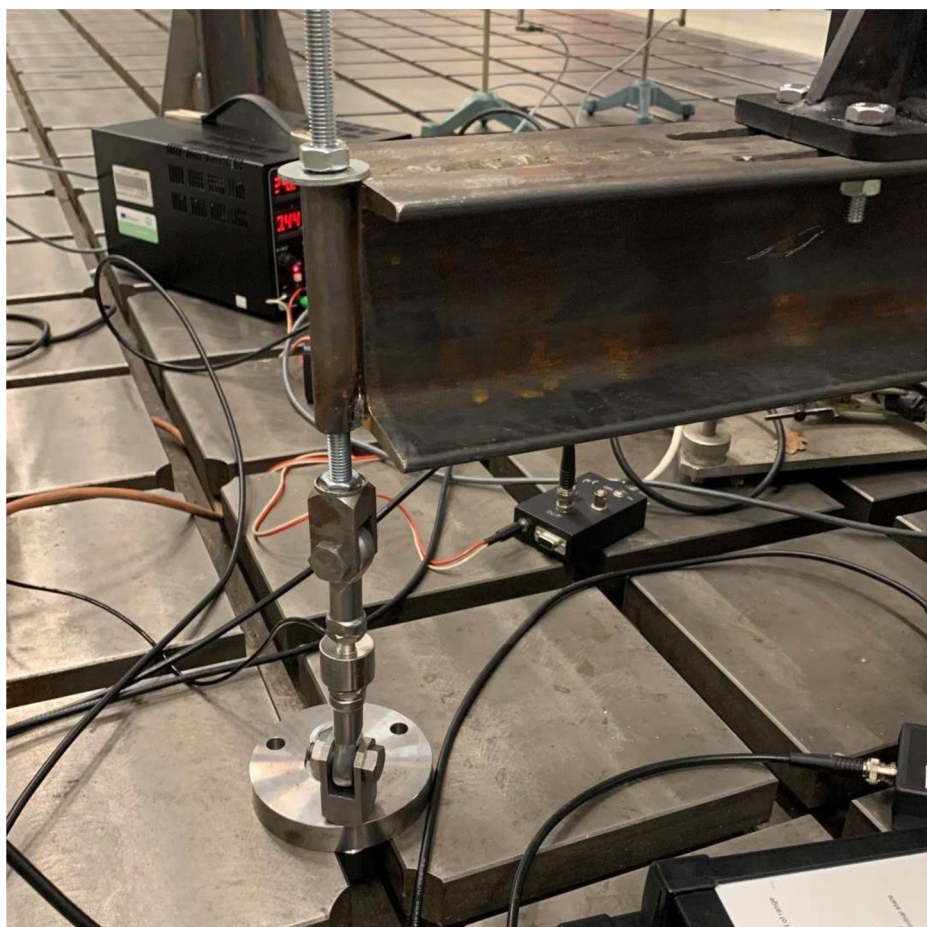
*Obr. 4 Snímače zdvihu instalovány v druhém měření na levé straně*



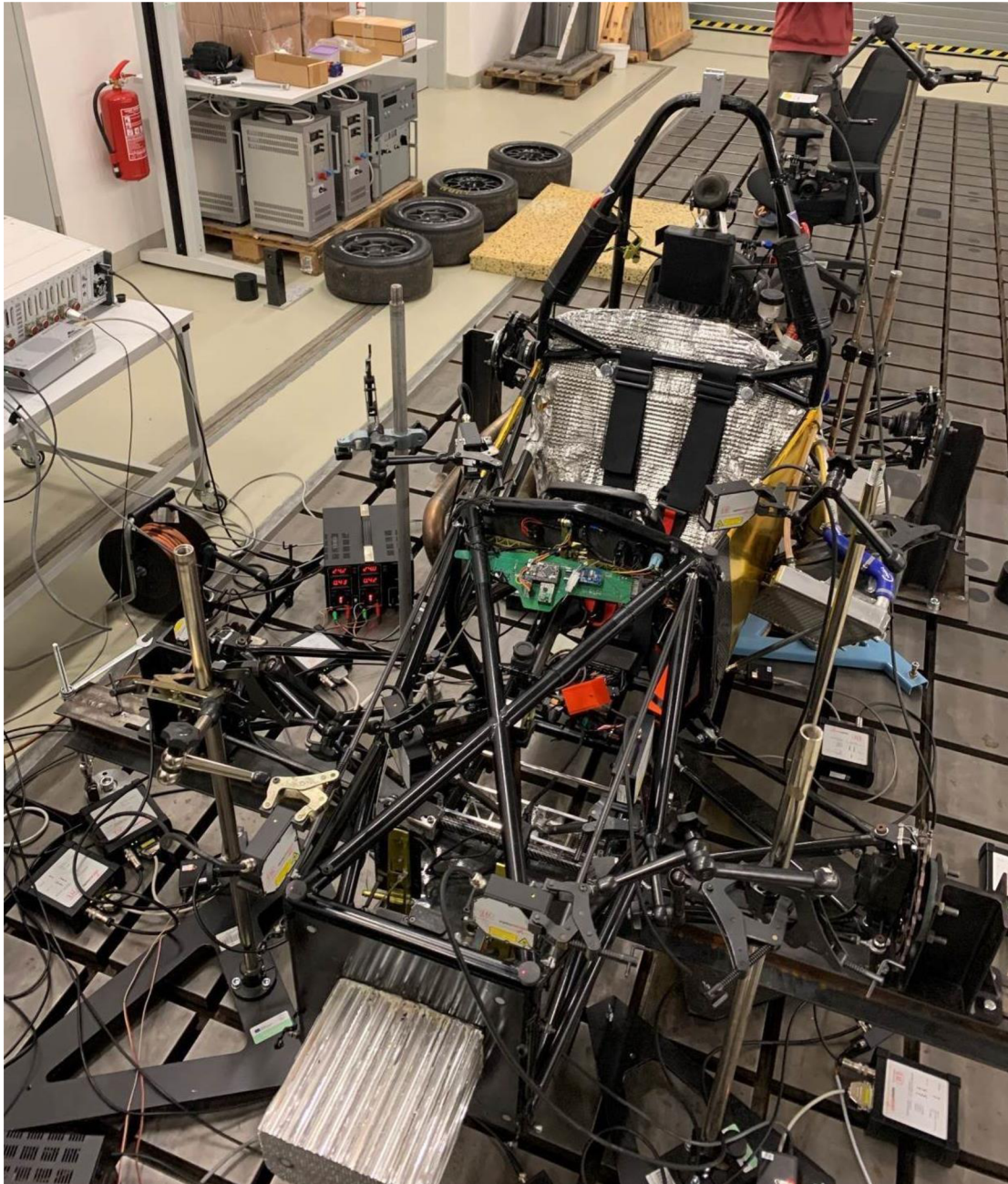
*Obr. 5 Snímače zdvihu instalovány v druhém měření na pravé straně*



*Obr. 6 Dvojice indukčních snímačů s odpruženým hrotem v bodech 12 a 16*



*Obr. 7 Detail mechanismu zatěžování se snímačem síly*



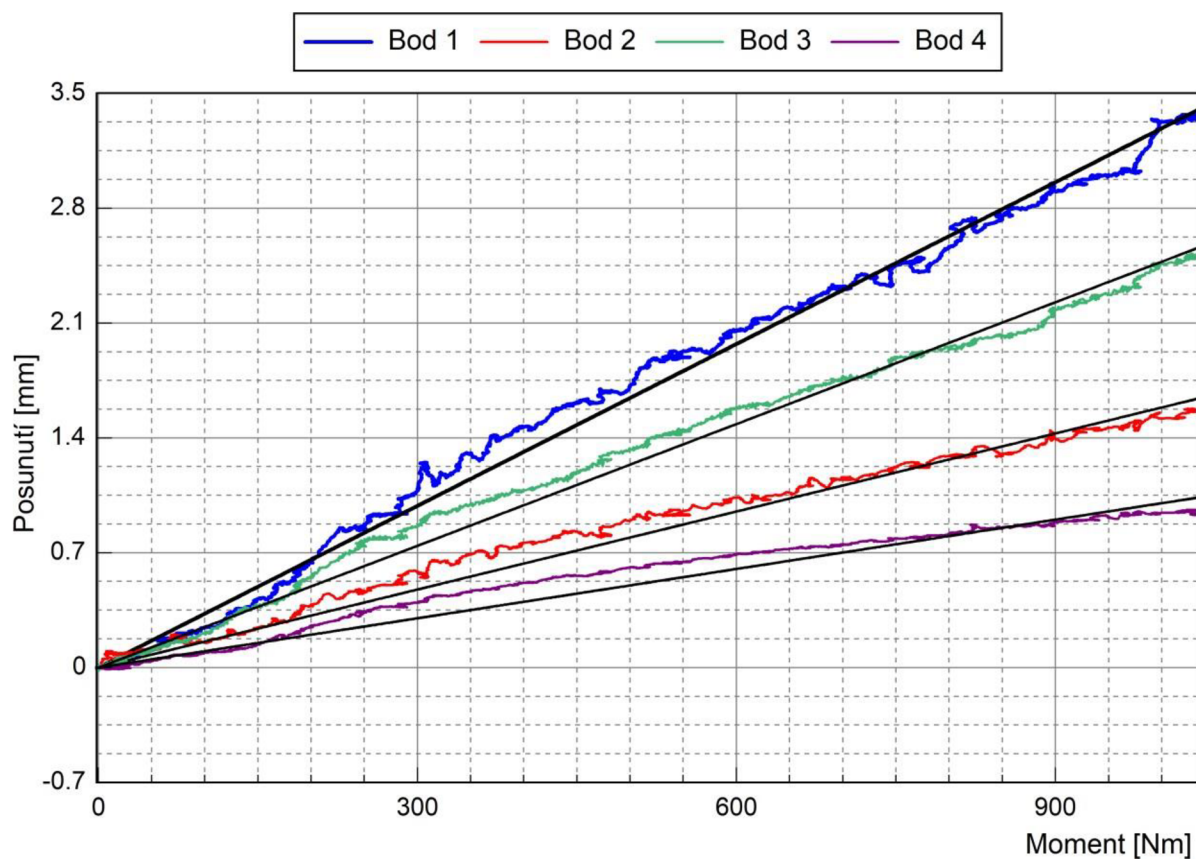
*Obr. 8 Snímače zdvihu instalovány ve třetím měření*

#### **4. Způsob měření a vyhodnocení**

Měření bylo rozděleno na tři měření kvůli omezenému portfoliu snímačů zdvihu k pokrytí tak velkého počtu měřených bodů. Pro ověření opakovatelnosti jednotlivých měření byly snímače v bodech 3, 7, 12 a 16 zaznamenávány ve všech sériích měření. Zatěžování probíhalo ručně pomocí utahování matice na závitové tyči připojené přes snímač síly. Synchronně byly zaznamenávány časové průběhy zatěžovací síly a posunu jednotlivých bodů se vzorkovací frekvencí 1 kHz. Zatěžování silou probíhalo na rameni délky 1010 mm a ve vyhodnocení bylo přepočteno na kroučící moment. Vyhodnocovány byly závislosti deformace rámu v jednotlivých bodech na zatěžovacím momentu rámu.

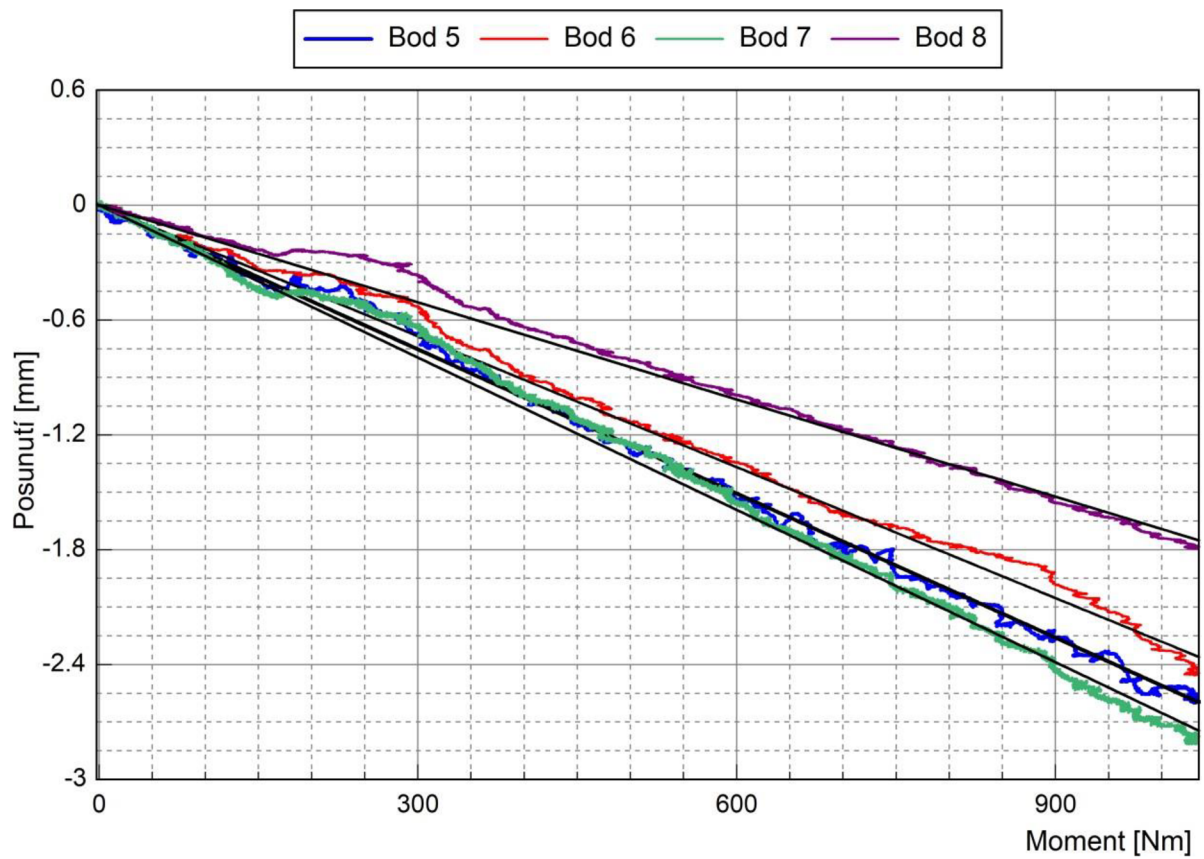
## 5. Výsledky měření

V grafech uvedených níže jsou zobrazeny výsledky posunutí jednotlivých bodů v závislosti na zatěžovacím momentu. Pro lepší přehlednost byla data rozdělena do více grafů. Naměřené deformace mají v celém rozsahu zatěžování téměř lineární charakter (s výjimkou bodů 12 až 16, kde lze chování považovat za lineární do zatěžovacího momentu cca 250 Nm). Proto byly reálně naměřené průběhy vždy proloženy přímkou, která je v grafech také vykreslována a z jejího sklonu byla pro každý bod určena konstanta tuhosti.

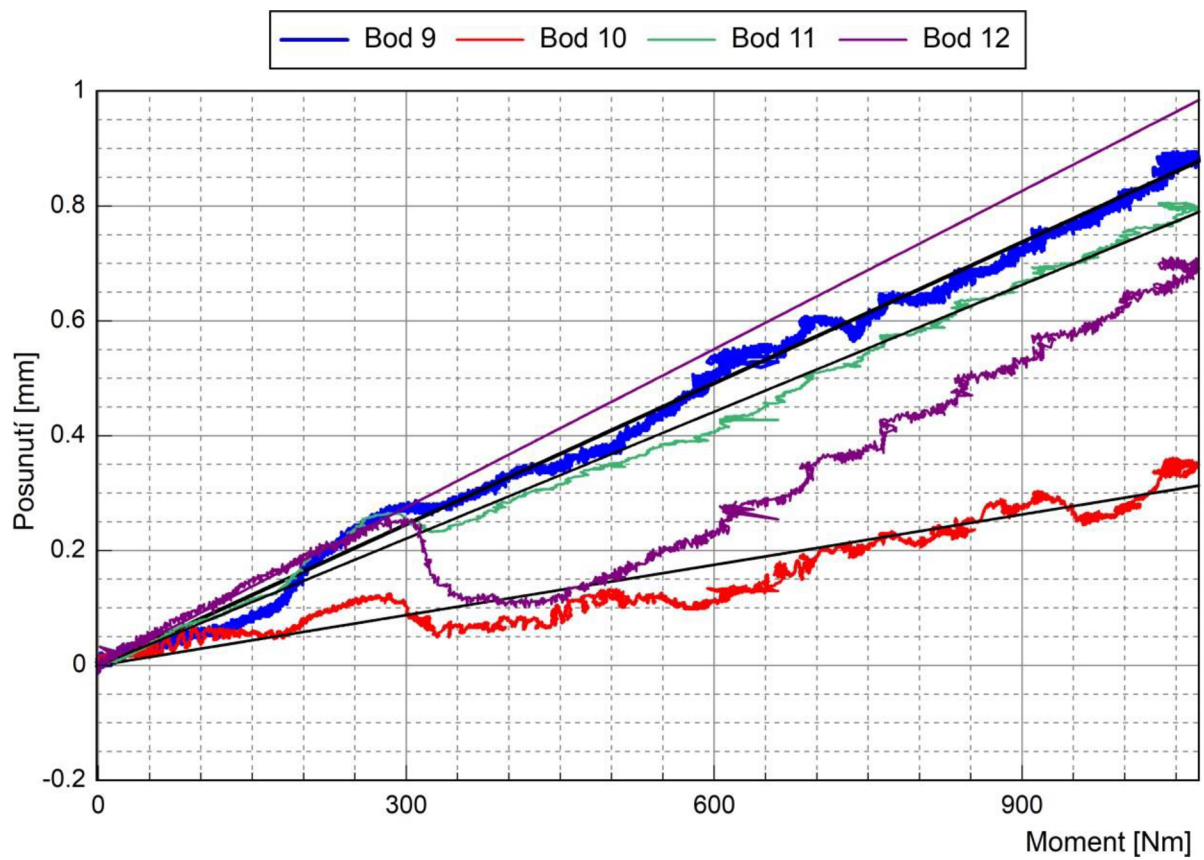


Obrázek 9 Posunutí bodů upevnění přední levé nápravy

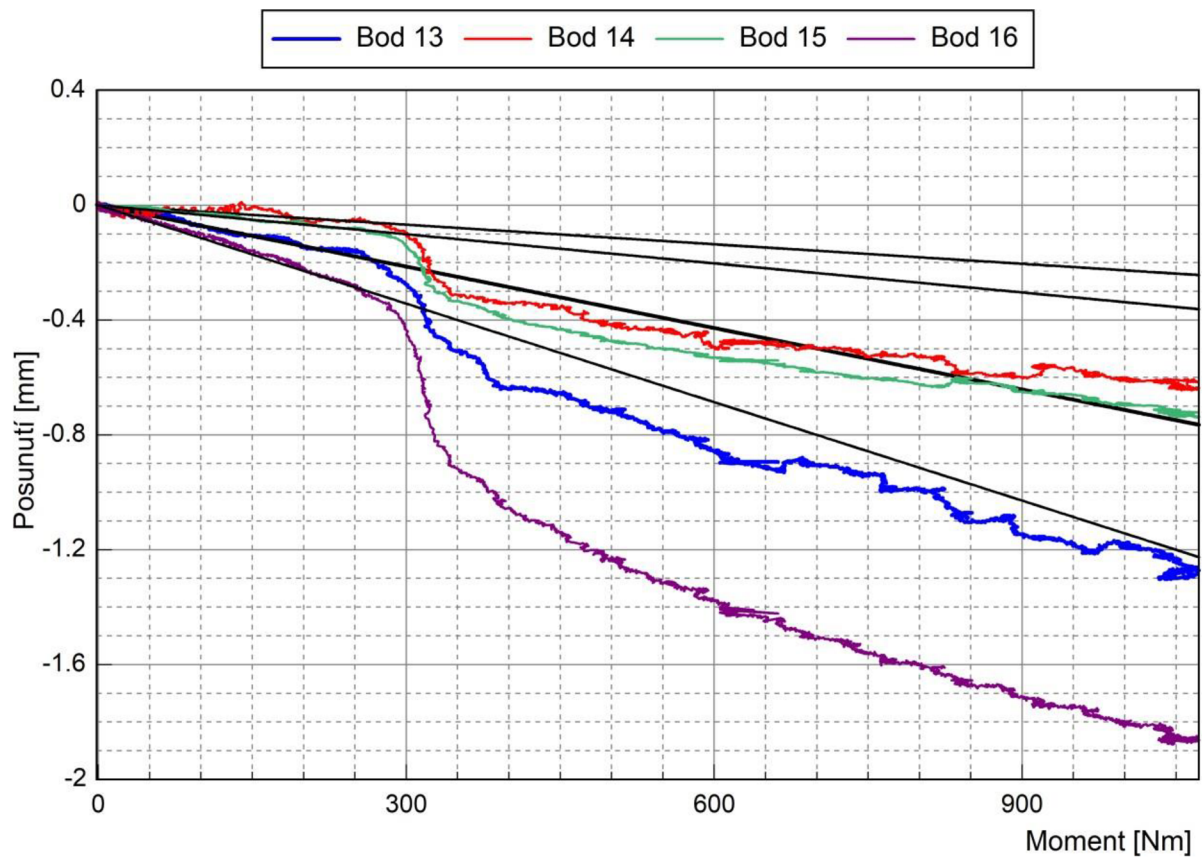




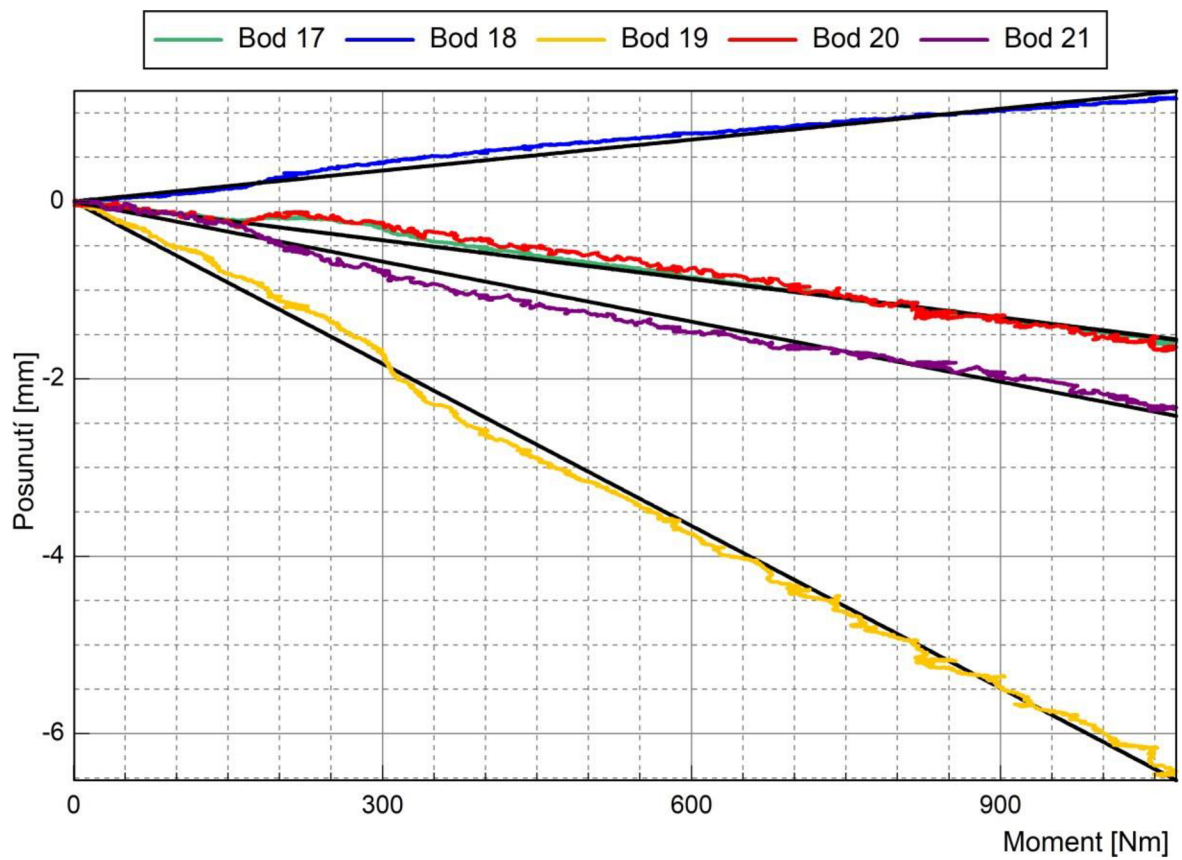
Obrázek 10 Posunutí bodů upevnění přední pravé nápravy



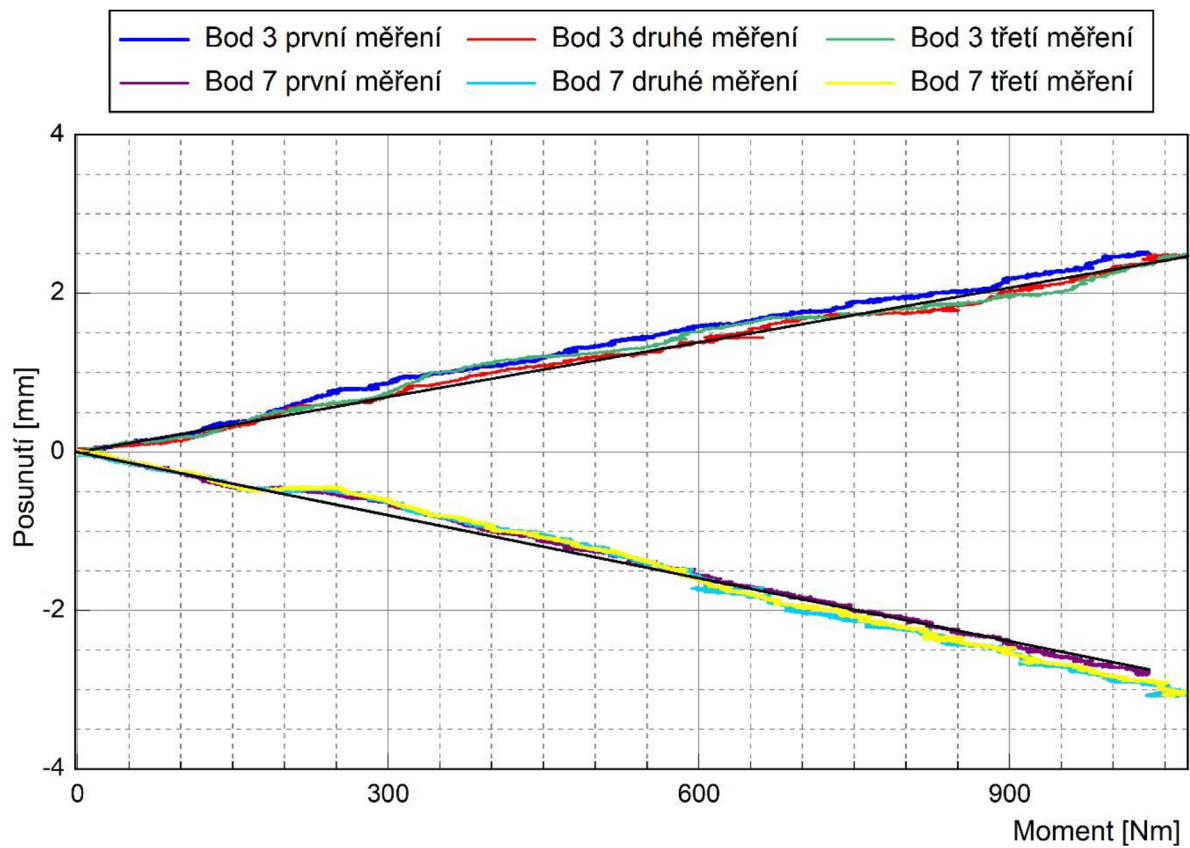
Obrázek 11 Posunutí bodů upevnění zadní levé nápravy



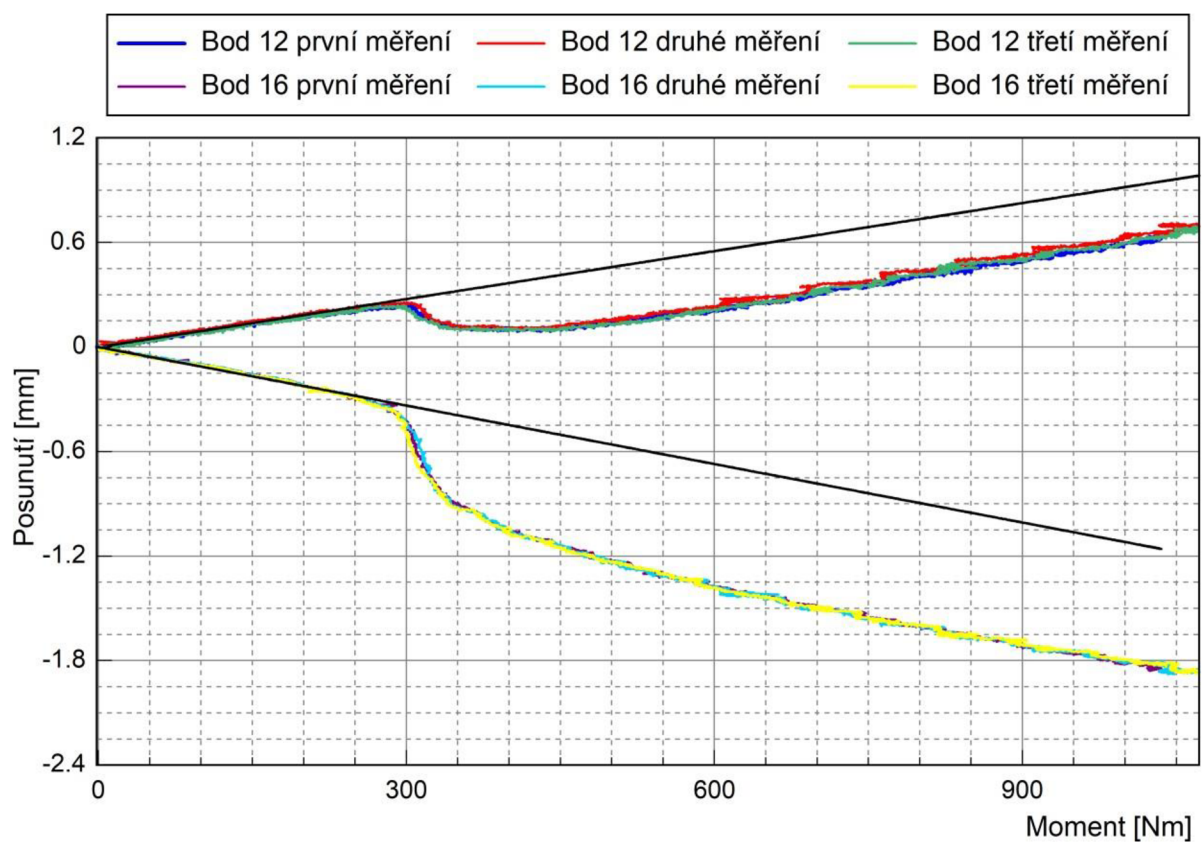
Obrázek 12 Posunutí bodů upevnění zadní pravé nápravy



Obrázek 13 Posunutí bodů rámu



Obrázek 14 Porovnání posunutí bodů 3 a 7 na přední nápravě



Obrázek 15 Porovnání posunutí bodů 12 a 16 na zadní nápravě

V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty tuhostí z aproximačních přímek naměřených dat.

*Tabulka 1 Torzní tuhost rámu*

Bod	Tuhost [ $\mu\text{m}/\text{Nm}$ ]
1	3,25
2	1,50
3	2,31
4	0,93
5	2,53
6	2,34
7	2,79
8	1,76
9	0,83
10	0,30
11	0,74
12	0,90
13	0,73
14	0,19
15	0,36
16	1,11
17	1,56
18	1,08
19	6,12
20	1,61
21	2,15