

# E xperimentální A nalýza N apětí

## 2004

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF MEASURE EQUIPMENT OF F-COMB NÁVRH A KONSTRUKCE MĚŘÍCIHO PŘÍSTROJE F-COMB

Antonín Potěšil<sup>1</sup>, Aleš Lufinka<sup>2</sup>, František Borůvka<sup>3</sup>, Tomáš Zúbek<sup>4</sup>, Vladimír Humen<sup>5</sup>

*The paper presents an original solution of the measurement device F-COMB developed in order to monitor and adjust air heads which are designed for clamping vehicle wheels within the fully automatic wheel balancing process on the manufacturing line (assembling the tyre valve and the tyre on the disc – clamping the wheel – determining the dynamic balance level with the mass identification and placing the counterbalance including its installation and the dynamic balance ex post control). The device makes use of strain-gauge bridges built up from semiconductor strain gauges and independently identifies 11 (eleven) force effects between the closer and the wheel disc. The device function is fully automatized by means of originally designed hardware and software equipment connected to the common PC, where the necessary data from measurements are saved. The device implementation significantly contributed to the elimination of number of operational problems when clamping the wheels and it also removed laboriousness of processes of the closers checking and adjustment.*

**Keywords:** Strain Gauge. Measure Equipment. Finite Element Method. Virtual Prototyping.

## 1. Úvod

Přístroj byl navržen pro identifikaci sil v maximálně deseti radiálních upínacích segmentech a jedné axiální síly, které jsou vyvozovány na upínací hlavě vyvažovacího stroje (obr. 1). Těleso přístroje obsahuje 10 radiálních siloměrných členů a 4 axiální členy. Uspořádání je patrné z obr. 2. Velikosti a tvar jednotlivých objektů byly voleny z ohledem na rozměry upínací hlavy a upínaného objektu (disku kola osobního vozidla s pneumatikou) a optimalizovány z hlediska dostatečné tuhosti a pevnosti.

---

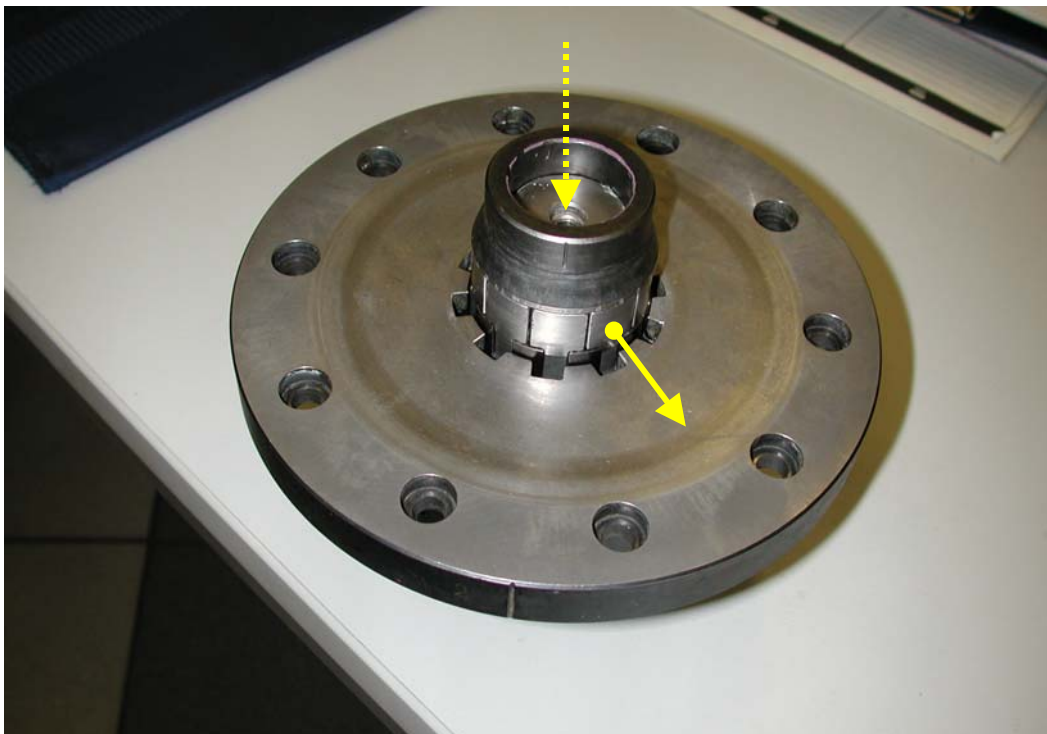
<sup>1</sup> Doc. Ing. Antonín Potěšil, CSc.: LENAM, s.r.o.; Klostermannova 690/15, 460 01 Liberec, Česká republika, tel.: +420485222369, e-mail: antonin.potesil@lenam.cz

<sup>2</sup> Ing. Aleš Lufinka: LENAM, s.r.o.; Klostermannova 690/15, 460 01 Liberec, Česká republika, tel.: +420485222369, e-mail: ales.lufinka@lenam.cz

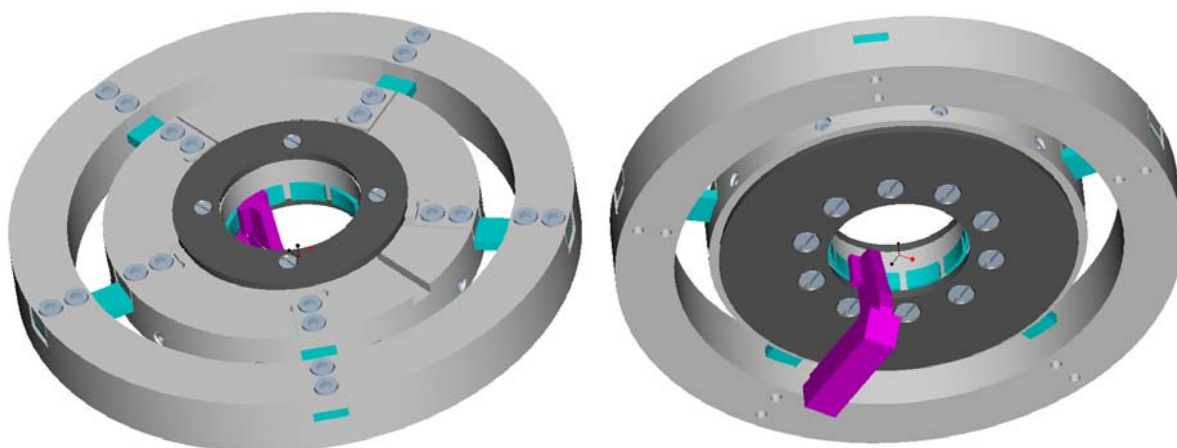
<sup>3</sup> Doc. Ing. František Borůvka: LENAM, s.r.o.; Klostermannova 690/15, 460 01 Liberec, Česká republika, tel.: +420485222369, e-mail: frantisek.boruvka@lenam.cz

<sup>4</sup> Ing. Tomáš Zúbek: LENAM, s.r.o.; Klostermannova 690/15, 460 01 Liberec, Česká republika, tel.: +420485222369, e-mail: tzub@email.cz

<sup>5</sup> Doc. Ing. Vladimír Humen: LENAM, s.r.o.; Klostermannova 690/15, 460 01 Liberec, Česká republika, tel.: +420485222369, e-mail: vladimir.humen@lenam.cz



Obr. 1 – Upínací hlava s radiálně rozpínanými 10-ti segmenty a osovým posuvem



Obr. 2 – Uspořádání měřicího přípravku F-COMB (3D-CAD model vytvořený v ProE)

## 2. Návrh a konstrukce přístroje

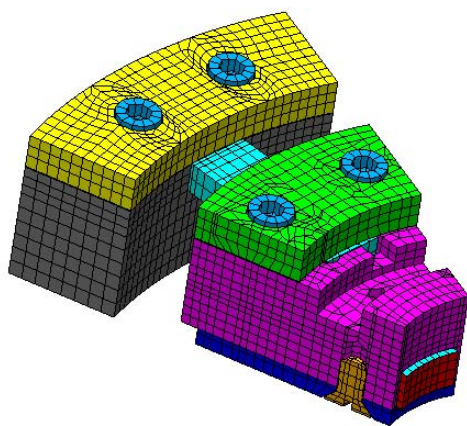
Při návrhu a konstrukci mechanických částí přístroje bylo využito moderních metod virtuálního prototypingu, viz. dále. Vlastní konstrukci předcházely numerické simulace namáhání plechového disku kola v procesu jeho fixace upínacími mechanizmy hlavy a tenzometrická měření přetvoření centrálního otvoru disku kola. Výsledkem těchto experimentů byla identifikace charakteru a silových poměrů vyvozovaných v procesu upínání. Rovněž byla provedena citlivostní analýza na podstatné parametry upínacího procesu, která pomohla objasnit, které z těchto parametrů ovládají a řídí proces upínání kol.

Současně byly realizovány práce a aktivity, které měly za cíl najít vhodnou volbu materiálů přístroje, měřících metod, konstrukci a výrobu odpovídajícího hardwaru a sestavení potřebného softwaru tak, aby použití přístroje bylo uživatelsky příjemné a provozně jednoduché. Poznamenejme, že konečným řešením je komunikace a kompatibilita přístroje F-COMB s běžným PC.

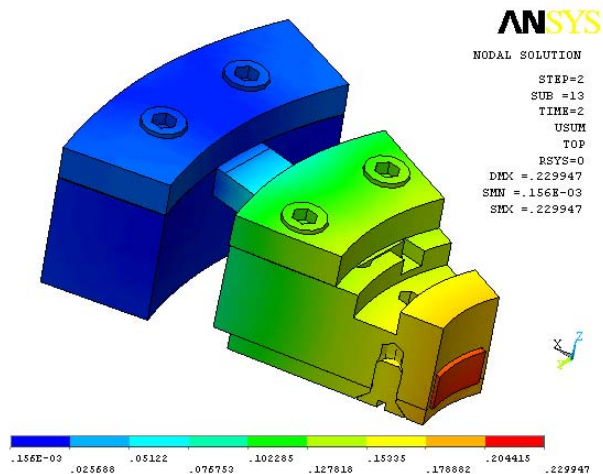
### 2.1 Simulace a modelování jevů v procesech upínání

Pro pneumaticko-mechanické systémy upínací hlavy byly sestaveny jak analytický model (rovnice mechaniky), tak numerický model (v prostředí multibody systému MSC.ADAMS). Obě úrovně modelování si vzájemně ve výsledcích odpovídaly a byly v relaci s dříve realizovanými fyzikálními experimenty, což bylo důkazem korektnosti přístupu.

Tuhostní a pevnostní analýza jednotlivých objektů mechanické části přístroje byla provedena metodou konečných prvků (FEM), a to prostřednictvím systému ANSYS. Cílem těchto analýz bylo optimalizovat jak únosnost pasivních nosných členů, tak deformační přiměřenost aktivních siloměrných prvků, na které byly posléze instalovány polovodičové tenzometrické snímače. Úloha byla řešena jako kontaktní geometricky nelineární problém přičemž bylo využito prvků symetrie v uspořádání přístroje. Geometrie části FEM modelu a ilustrativní ukázka výsledku simulace (USUM=vektor posuvů) jsou patrné z následujících obrázků 3a, b.



Obr. 3a – FEM model snímače sil



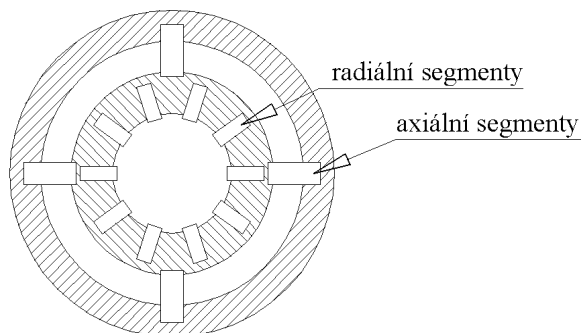
Obr. 3b – Izoplochy vektoru posuvů USUM



## 2.3. Konstrukce hardwarového vybavení

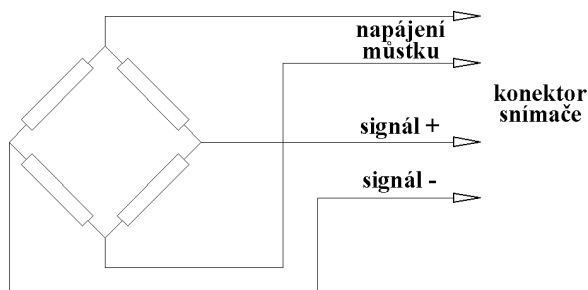
### 2.3.1. Elektrické zapojení snímače

Snímač obsahuje celkem deset segmentů pro měření radiálních sil a čtyři segmenty pro měření axiální síly, viz schéma na obr. 6.



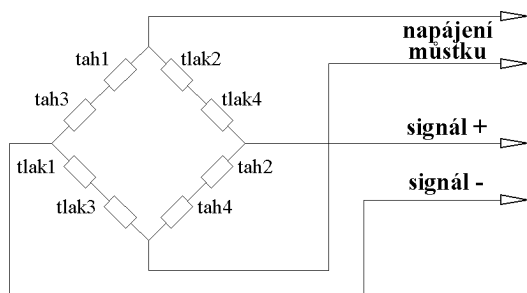
Obr. 6

Radiální segmenty jsou zatěžovány tlakovou silou. Každý radiální segment je osazen čtyřmi tenzometry (dvěma měřícími a dvěma kompenzačními), které jsou přímo na segmentu propojeny do úplného můstku (obr. 7). Napájecí a měřící vývody můstku jsou ze segmentu vyvedeny napevno připojeným čtyřžilovým plochým kablíkem, který je veden kanálkem v tělese snímače do konektoru snímače. Každý radiální segment tedy tvoří nezávislý obvod, který je propojen přímo se vstupem elektroniky.



Obr. 7

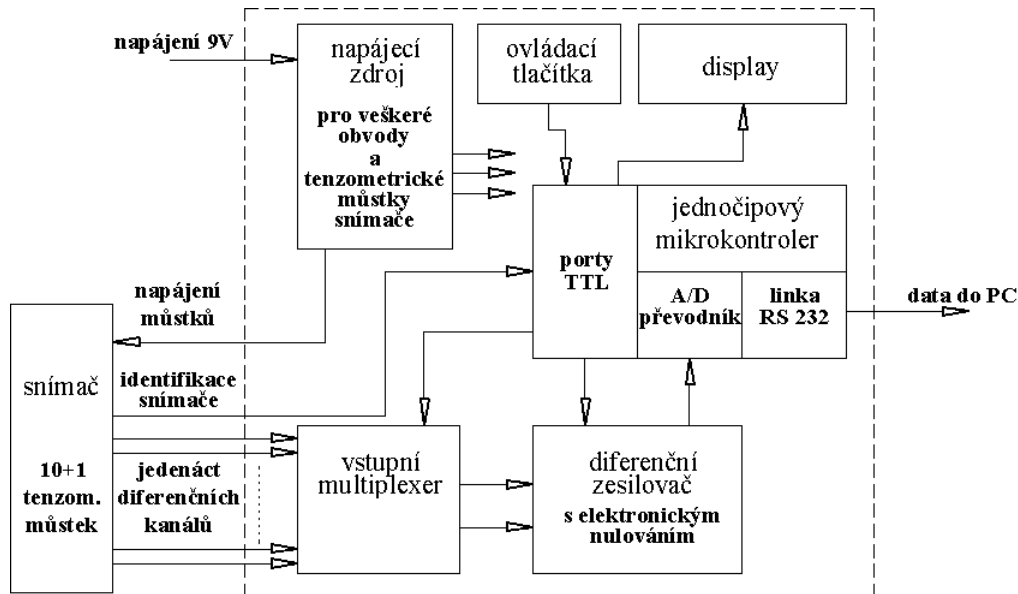
Axiální segmenty jsou namáhány ohybem. Každý je osazen dvěma tenzometry, jedním na tahové a jedním na tlakové straně segmentu. Protože ze všech čtyř axiálních segmentů se vyhodnocuje společně jedna axiální síla, nejsou tenzometry na segmentu nijak propojeny a každý tenzometr je vyveden samostatně plochým kablíkem. Kablíky vedou opět do konektoru snímače a teprve zde je realizováno jejich propojení do můstku tak, že v každé větvi jsou sériově vždy dva tenzometry z protilehlých segmentů. Celkově tedy axiální segmenty tvoří dohromady jeden úplný můstek (obr. 8).



Obr. 8

### 2.3.2. Vyhodnocovací elektronika

Celá koncepce přístroje byla zvolena tak, aby zařízení bylo jednoduše přenosné a mohlo pro jednoduchá provozní měření pracovat zcela samostatně. Přitom byl kladen důraz na maximálně jednoduchou obsluhu a zcela jednoznačné zobrazení naměřených hodnot přímo v kN. Pro náročnější měření pak bylo potřeba umožnit přenos naměřených dat k dalšímu zpracování do PC. Z těchto požadavků vyplynulo následující řešení, jehož schéma je na obr. 9.



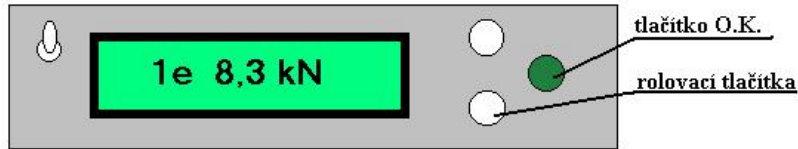
Obr. 9

Jádrem celého přístroje je jednočipový šestnáctibitový mikrokontrolér Triangel Digital. Tento mikrokontrolér obsahuje desetibitový A/D převodník pro zpracování analogového signálu, množství TTL vstupů/výstupů a obvody pro komunikaci po standardní sériové lince RS232. Mikrokontrolér byl doplněn o textový jednořádkový display s velkými znaky a tlačítka pro ovládání. Dalšími důležitými doplňujícími obvody jsou obvody pro zpracování diferenčního signálu z tenzometru. Z tohoto hlediska bylo nutné zpracovat vlastně celkem jedenáct (10 radiálních a jeden axiální) diferenčních signálů. Vzhledem k tomu, že nároky na rychlost měření nejsou nijak extrémní, byl použit vstupní jedenácti-kanálový multiplexer, který postupně připíná signály z jednotlivých můsteků na přesný diferenční zesilovač. Protože se připouštěla možnost nevyvážených tenzometrických můsteků, je zesilovač vybaven obvodem pro elektronické nulování offsetu. Činnost multiplexeru i nulování zesilovače je řízeno programově z mikrokontroléru pomocí digitálních linek. Neméně důležitou součástí je i přesný a stabilní napájecí zdroj pro napájení můsteků a všech analogových obvodů. Pracuje na principu DC/DC měničů a využívá referenční zdroj napětí z mikrokontroléru. Z vnějšku se celý přístroj napájí jediným napětím 9V z jednoduchého síťového adaptéru. Protože se připouští i možnost používat více snímačů (např. pro různé průměry upínacích hlav) je snímač ve svém konektoru vybaven elektronickým štítkem pro jeho jednoznačnou identifikaci mikrokontrolérem. Ten pak automaticky použije pro konkrétní snímač odpovídající přepočtení parametry. Ty jsou uloženy pro všechny snímače v paměti EEPROM mikrokontroléru a lze je kdykoliv pomocí sériové linky z nadřazeného počítače změnit nebo doplnit.

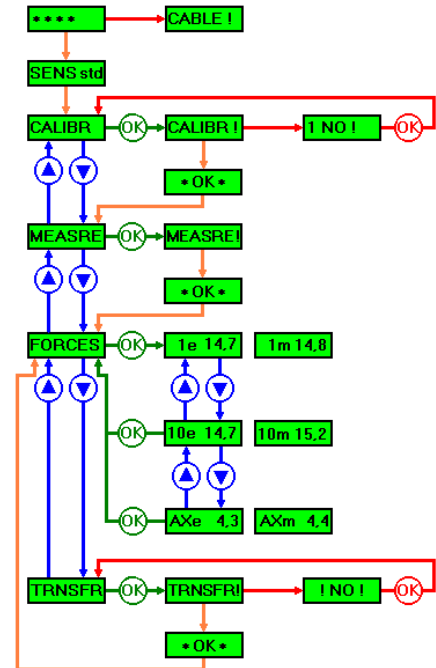
## 2.4 Programové vybavení

### 2.4.1. Programové vybavení přístroje F-COMB

Při vývoji celého zařízení byl velký důraz kladen na maximální jednoduchost obsluhy. Před měřením se propojí snímač se skříňkou elektroniky jediným kabelem a připojí se napájecí napětí. Tím je přístroj připraven k měření.



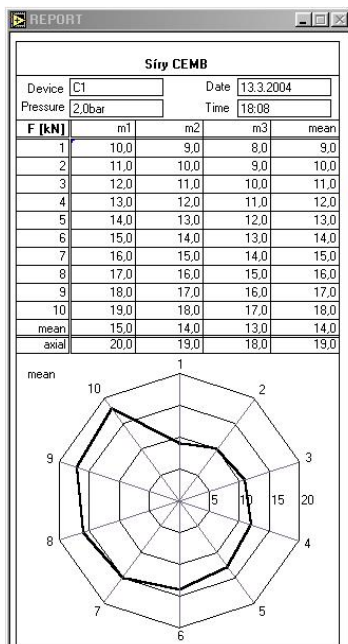
Celý přístroj se ovládá pomocí pouhých třech tlačítek, kterými se volí a potvrzují povely z interaktivního menu na displeji přístroje (obr. 10). Mikrokontrolér nabízí nejvhodnější postup a znemožňuje provedení chybných povelů. Po spuštění měření automaticky detekuje počátek nárůstu sil a automaticky ukončí měření po jejich ustálení. Na displeji pak umožní zobrazit maximální dosaženou a koncovou (ustálenou) hodnotu síly pro každý segment. Je-li třeba, lze přístroj kdykoliv propojit sériovou linkou s počítačem a přenést naměřená data k dalšímu zpracování.



Obr. 10

### 2.4.2. Programové vybavení PC

Součástí přístroje je i doplňující programové vybavení na PC, které umožňuje přijmout a zpracovat data z měření. Přenos dat se vyvolá povelům z interaktivního menu přístroje, správnost přenesených dat je zabezpečena kontrolními funkcemi přenosového protokolu.



Obr. 11

Program na PC běží ve dvou samostatných oknech. Jedno je okno protokolu měření, kde jsou zobrazována přijatá data v tabulce a grafu. Toto okno lze přímo vytisknout na tiskárnu a získat tak protokol o měření. Druhé okno je ovládací (obr. 11). Pomocí něho lze nastavovat parametry zobrazované v okně protokolu a dále data ukládat do ASCII souboru, takže jsou použitelná pro další software (např. Excel). Uložená data lze kdykoliv znovu načíst a zobrazit je opět v okně protokolu.



### 3. Závěr

Společným úsilím celého týmu řešitelů byl navržen, zkonstruován, vyroben a uveden do provozu speciální měřicí přístroj (obr. 12), který významným způsobem zjednodušil a zefektivnil často prováděné procesy kontroly správné funkce a seřízení upínacích hlav automobilových kol pro nová vozidla. Nasazení přístroje napomohlo k odstranění některých závažných problémů, což přispělo ke zvýšení kvality a stability automatizovaného provozu vyvažovací linky.



Obr. 12 – Transportní uspořádání přístroje F-COMB

### Poděkování

Autoři konstrukčního řešení děkují podnětným připomínkám a cenným radám, kterými přispěl k řešení specialista z oblasti instalace polovodičových tenzometrů a výrobu přesných sensorových systémů pan Zdeněk Havlíček, fy HAVLÍČEK - měřicí technika, Střelecká 70/1, 408 01 Rumburk, E-mail: zdhavlicek@cmail.cz.