

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2008

Bc. Vlastimil Hybrant

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

MĚŘENÍ VNĚJŠÍ ZATĚŽUJÍCÍ PŘÍČNÉ KOLOVÉ SÍLY NA ZKUŠEBNÍ
STAVU „KOLO – ROTUJÍCÍ KOLEJNICE“

Bc. Vlastimil Hybrant

Diplomová práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Vlastimil HYBRANT
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky-Kolejová vozidla

Název tématu: Měření vnější zatěžující příčné kolové síly na zkušebním stavu „kolo-rotující kolejnice“.

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práci zaměřte na metodiku měření vnější zatěžující příčné síly. Uvažujte s maximální příčnou silou $F_Y = 100 \text{ kN}$. Vypracujte:

1. Analýzu možnosti měření vnější zatěžující příčné síly.
2. Sestavný výkres měrného přípravku.
3. Detailní výkres měrného elementu.
4. Návrh měřicího řetězce.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího DP
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] ŠVEJNOCH, V.: Teorie kolejových vozidel, Praha, ČVUT Praha, 1. vydání, 1991, s. 251, ISBN 80-01-00622-0.
[2] HARTWIG, P.: Konstruktive Anpassung des an der Universität Pardubice vorhandenen Eisenbahnradprüfstand. [Diplomová práce], Doprávní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice, Pardubice, 2006.


Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: 18. února 2008

Termín odevzdání diplomové práce: 26. května 2008


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

dne

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval své rodině. Děkuji rodičům za přísnost v dětství a veškerý Váš čas, který jste do mě investovali. Za celoživotní lásku a pomoc ve všech důležitých situacích v životě.

Velký dík patří mé ženě Janičce, která mě povzbuzovala před každou zkouškou sladkým talismanem a po celou dobu studia se mi snažila vytvářet ty nejlepší podmínky pro studium, moc děkuji.

Poděkování patří i ostatním členům mé rodiny, kteří omlouvali mou věčnou nepřítomnost v kruhu rodinném.

Rád bych poděkoval Jiřímu Klementovi z brněnské pobočky firmy HBM za čas, rady i informace, které mi poskytoval během několika mých návštěv v Brně.

Také bych rád poděkoval ing. Janu Bickovi za tisk výkresů do diplomové práce.

Poděkování patří také prof. Kaločovi a prof. Menčíkovi s DFJP, kteří mi poskytli cenné rady.

České Budějovice, květen 2008

Hybrant Vlastimil

SOUHRN

Diplomová práce se zaměřuje na analýzu možností měření vnější zatěžující síly a vybrání nejvhodnější varianty měřicího zařízení pro zkušební stav „kolo – rotující kolejnice“ v laboratoři na dopravní fakultě Jana Pernera.

KLÍČOVÁ SLOVA

příčná síla; tenzometrie; zkušební zařízení; měrný prvek; kalibrace; měřicí řetězec

TITLE

Measuring external weighting transverse force on testing station „steel – daisyrail“

ABSTRACT

Purpose of graduation theses is analysis of options measuring external weighting transverse force and select the most suitable variation for testing station „wheel – daisyrail“ in laboratory at transport faculty of Jan Perner.

KEYWORDS

transverse force; strain gages; testing equipment; specific item; calibration; measuring network

Obsah

1. Úvod	8
2. Laboratoř testovacího zařízení	9
2.1 Vznik a podstata testovacího zařízení	9
2.2 Možnosti testovacího zařízení	10
2.3 Popis testovacího zařízení	10
2.4 Vize testovacího zařízení	13
3. Síly mezi kolem a kolejnici	14
3.1 Základní rozdělení sil působících mezi kolem a kolejnici	14
3.2 Poloha kola vůči kolejnici	14
3.2.1 Působení pouze svislých sil	14
3.2.2 Nabíhání okolku na bok kolejnice	14
3.2.3 Mez vykolejení	17
4. Analýza vybraných způsobů měření vnější zatěžující příčné síly	19
4.1 Zařízení vytvářející vnější příčnou sílu	19
4.2 Umístění a výběr měřícího zařízení	21
4.3 Snímání síly siloměrným zařízením	22
4.4 Snímač síly firmy HBM	22
4.4.1 Snímač typu U2B	22
4.4.2 Popis snímače	23
4.4.3 Elektroinstalace snímače	24
4.4.4 Kompenzace nežádoucích vlivů	25
4.4.5 Doplnky ke snímači	26
4.5 Použití snímače U2B na stavu „kolo – rotující kolejnice“	28
4.5.1 Umístění U2B na straně páky	28
4.5.2 Snímač U2B na straně vyčnívajícího ložiskového čepu	30
4.6 Měření síly tenzometry	31
4.6.1 Měření sil na dvouramenné páce	31
4.6.2 Experiment měření sil na dvouramenné páce	34
5. Optimální řešení měřícího zařízení	37
5.1 Popis měřícího zařízení	38

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 7</i>
--	------------------------	-----------------

5.2 Výpočet mechanického napětí měrného prvku	39
5.3 Použité materiály a jejich ochrana proti okolnímu prostředí	40
5.4 Umístění tenzometrických snímačů	41
5.5 Návrh měřicího řetězce pro optimální měřicí zařízení	42
5.5.1 Výběr tenzometrických snímačů	42
5.5.2 Navržení elektrického zapojení tenzometrů	43
5.5.3 Pájecí svorkovnice a výběr kabelu	44
5.5.4 Měřicí ústředna se zesilovači	45
5.5.5 Softwarové zpracování dat	46
5.5.5.1 Měřicí karta pro program AD	47
5.5.5.2 Vlastnosti programu AD	47
5.6 Kalibrace měrného prvku	49
5.6.1 Dynamický stand na DFJP	51
5.6.1.1 Elektrohydraulické zatěžovací válce	51
5.6.2 Upevnění nástavců I a II k měřicímu zařízení	52
5.6.3 Měřicí zařízení s nástavci na kalibraci	53
6. Závěr	55
7. Použitá literatura	57
Seznam Příloh	
Příloha 1	Měření č. 1
Příloha 2	Měření č. 2
Příloha 3	Měření č. 3
Výkresové přílohy	
Příloha 4	List 1
Příloha 5	List 2
Příloha 6	List 3

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 8</i>
--	------------------------	-----------------

1. Úvod

Cílem diplomové práce je vypracování několika možností řešení měření příčné síly mezi kolem a rotující kolejnici na testovacím zařízení na DFJP. Práce je rozdělena do pěti základních částí. V první je popsána laboratoř zkušebního stavu. Druhá část je rozбором vzniku sil působících mezi železničním kolem a kolejnici v obecném pojetí. Analýzou vybraných možností měření příčných sil mezi kolem a rotující kolejnici se zabývá třetí část. Nosnou částí diplomové práce je čtvrtá část, která detailně popisuje nejvhodnější způsob řešení. V této části je podrobně rozpracováno měřicí zařízení, návrh měrného prvku se zjednodušujícím výpočtem, návrh typu tenzometrů, způsob zapojení, návrh měřicí řetězce a způsob kalibrace. Pátou a zároveň poslední částí práce je závěr, kde je provedeno shrnutí práce. Součástí diplomové práce jsou přílohy s grafy a výkresy umístěné v zadní části práce.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 9</i>
--	------------------------	-----------------

2. Laboratoř testovacího zařízení

2.1 Vznik a podstata testovacího zařízení

Měřicí prvek, který by měl být instalován pro měření příčné (vodící) síly mezi kolem a rotující kolejničí bude součástí kompletního testovacího zařízení, jež je umístěno v Pardubicích na Dopravní fakultě Jana Pernera (DFJP) Univerzity Pardubice. Testovací zařízení vzniklo spoluprací pracovníků DFJP pod vedením prof. Culka. Testovací zařízení železničních kol slouží zejména k účelu experimentálního výzkumu v oblastech bezpečnosti proti vykolejení a kontaktu kolo – kolejnice (problematika adheze), ale i k dalším účelům. Zařízení umožňuje vnášení vnějších zatěžujících svislých sil obecně označované Q příčných vodících sil označovaných Y . Zařízení dále umožňuje nastavení úhlu náběhu mezi testovaný železničním kolem a rotující kolejničí, čímž se uměle vytvářejí příčné smykové síly.

I v dnešní době patří kontakt železničního kola s kolejničí mezi ne úplně probádanou oblast, která v sobě skrývá řadu nevyřešených problémů. Probíhají zde fyzikální děje související s makro a mikro deformacemi v poměrně malém objemu. Vzniklé deformační odezvy jsou dynamického náhodného charakteru a mimo jiné závisí na stavu povrchu, který vytváří rozhraní mezi kolem a kolejničí. Železniční kolo při svém pohybu vykonává složený pohyb se všemi důsledky vzniku okamžitých orientovaných skluzových rovin v povrchovém objemu po obvodu kola. Veškeré výsledky z měření se do dnešní doby opíraly o informační výpočty a sledování vyhodnocování výsledků, získaných v provozu zaměřených na defekty jízdnicích ploch železničních kol. Nelze řešit veškeré problémy kontaktu kolo – kolejnice pomocí počítačových simulací. Správnost výsledků musí být ověřeny pomocí experimentů na speciálním testovacím zařízení, na kterém je možné simulovat skutečné provozní vlivy. Cílem testovacího zařízení je tedy realizace experimentů, které se budou odehrávat na skutečných površích železničního kola a „rotující kolejnice“. Podstata spočívá v možnosti simulace veškerých provozních stavů, odehrávajících se v kontaktu kolo-kolejnice a zjištění jejich silových a kinematických stavů. Reálná kolejnice je nahrazena rotující kolejničí. Výhody testovacího zařízení železničních kol spočívají v možnostech realizace zkoušek, experimentů a experimentálního výzkumu při aplikaci provozních podmínek v laboratoři, při zajištění vysoké přesnosti nastavovaných parametrů zkoušek a experimentů.

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 10</i></p>
---	---	---

2.2 Možnosti testovacího zařízení

Testovací zařízení železničních kol umožňuje vnášení veškerých silových účinků a nastavení kinematických poloh v kontaktu kolo - rotující kolejnice:

svislých (radiálních) sil Q

- příčných (vodicích) sil Y
- nastavení polohy kontaktního bodu v šířce jízdní plochy testovaného kola
- nastavení úhlu náběhu α k vyvození:
 - smykových sil
 - spinového pohybu kola.

Uvedené funkce Testovacího zařízení železničních kol jsou splněny při:

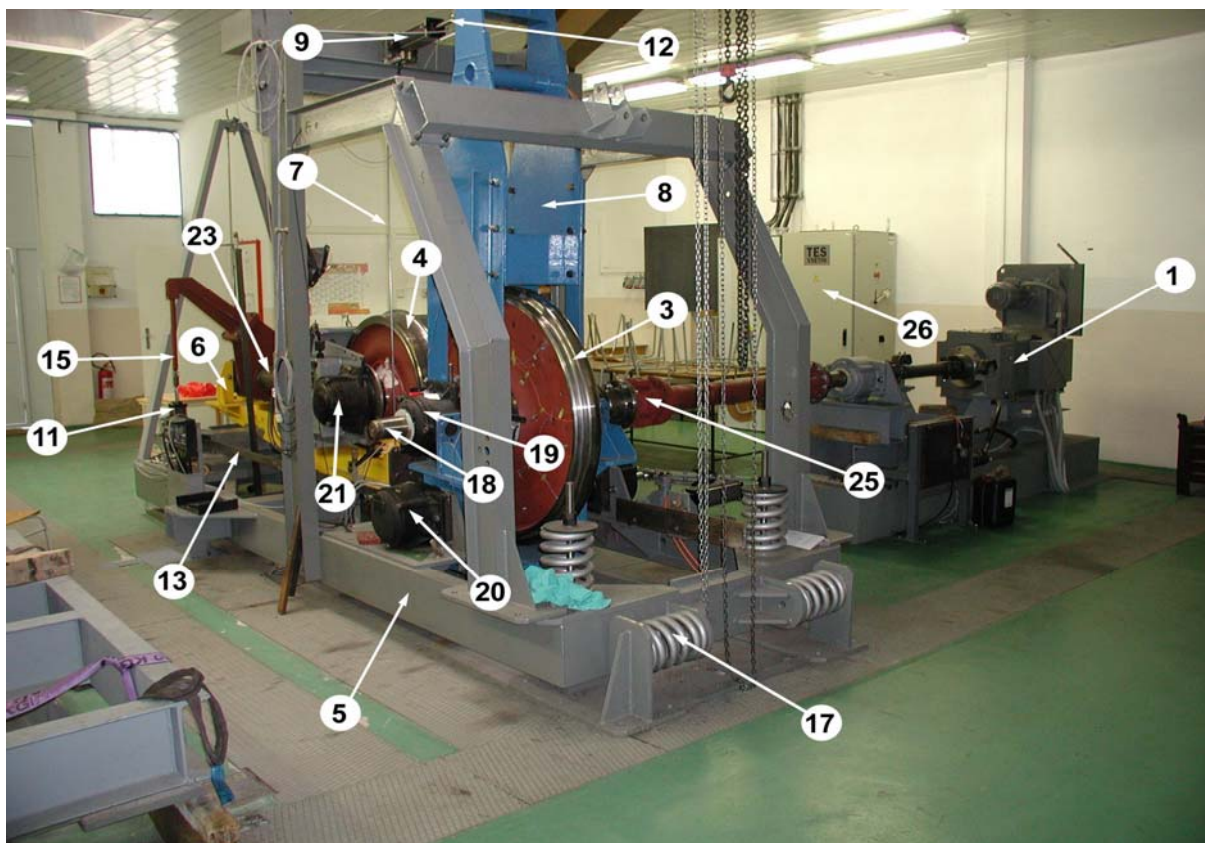
- přesnosti 1% při vnášení silových účinků staticky i dynamicky
- nastavení libovolných geometrických poloh při statických testech s přesností $\pm 0,1$ mm
- nastavení libovolných geometrických poloh při dynamických testech s přesností $\pm 0,2$ mm.

2.3 Popis testovacího zařízení

Celé testovací zařízení železničních kol je uloženo v hlavním nosném rámu 5 (viz obr. 1, 2), který je přes soustavu vinutých pružin umístěn na železobetonovém základu, přičemž rotující kolejnice 3, nalisována na hřídeli je pomocí ložisek otočně uložena ve výkyvném rámu 8, který je pomocí dalších ložisek uložen v hlavním nosném rámu 5.

Testované železniční kolo 4, které může být konstrukčně jakékoliv železniční kolo, zejména o průměru v rozpětí 800 až 1000 mm je uspořádáno jízdní plochou proti rotující kolejnici 3 a je nalisováno na hřídeli 16, která je pomocí ložisek 21 uložena v nosném rámu 6 ve speciální vidlici 22, která je přes axiální ložiska 23 propojena s nosným rámem 6 tak, že je umožněno její natáčení kolem vodorovné osy a tím natáčení vertikální roviny testovaného železničního kola 4 a tedy nastavování úhlu náběhu α proti vertikální rovině rotující kolejnice 3. Zároveň je přes tuto konstrukční vazbu umožněn přenos vnější radiální kolové síly Q z testovaného železničního kola 4 na nosný rám 6 a dále přes siloměrné prvky - tenzometrické pásy 13 na hlavní nosný rám 5, přičemž do testovaného železničního kola 4 v dotykové plošce v kontaktu s rotující kolejnicí 3 vnáší vnější radiální kolovou sílu Q první

zatěžovací válec 9, který je uspořádán mezi výkyvným rámem 8 a hlavním rámem 5. Výkyvný rám 8 přitom tvoří pákový převod k zesílení silového účinku prvního zatěžovacího válce 9.



Obr. 1 Přední pohled na testovací zařízení

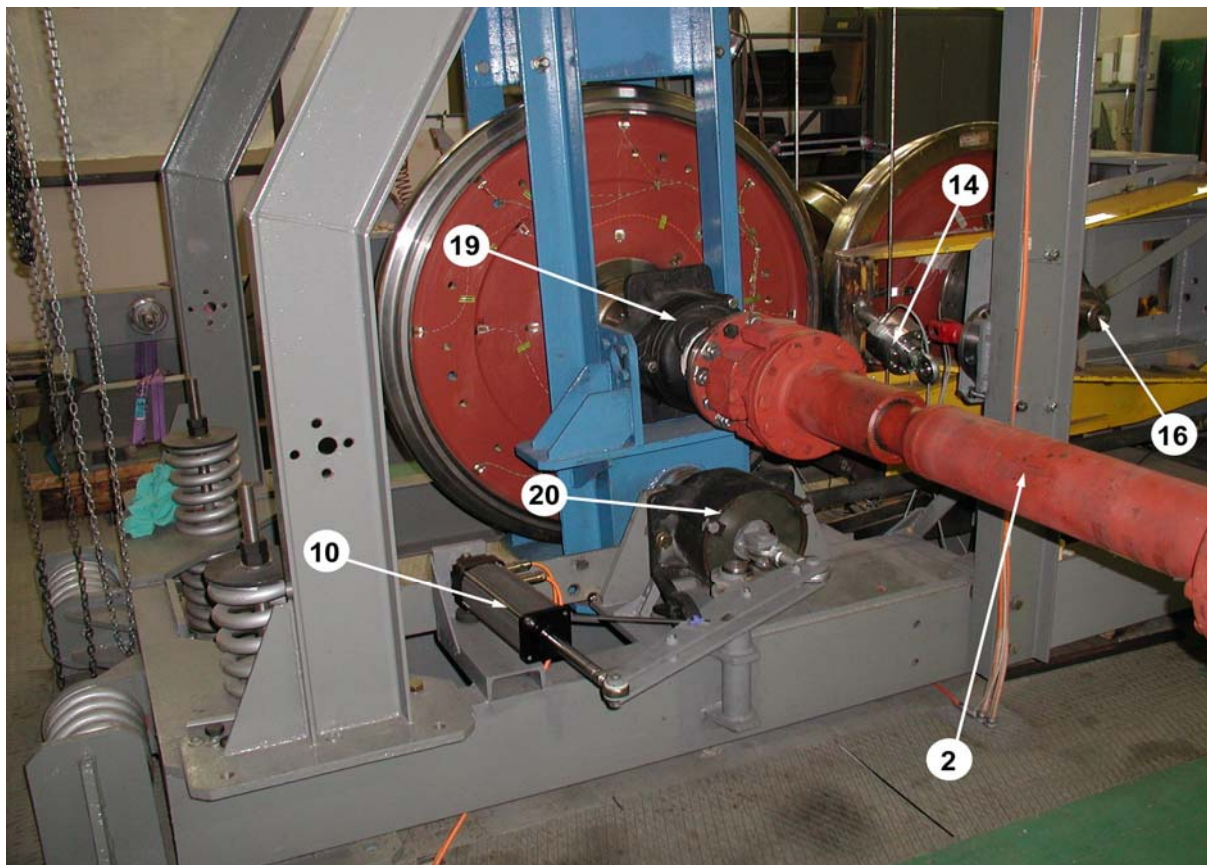
Aby byly eliminovány pasivní odpory v procesu testování železničních kol je nosný rám 6 uložen na hlavním rámu 5 přes závěsy 7, které jsou na svých koncích v kontaktu s oběma rámy opatřeny speciálními úložnými břity, které nepřenášejí pasivní odpory.

Hnací elektromotorem 1 je stejnosměrný motor, který je řízen elektronickým regulátorem 26. Jedná se o mikroprocesorem řízený systém, který umožňuje nastavení veškerých parametrů motoru a jejich plynulou regulaci.

Hnací moment z hnacího elektromotoru 1 je přenášen na rotující kolejnici 3 pomocí hnací hřídele 2 s kardanovými klouby 25, které eliminují odchylky v sousostí hnacího elektromotoru 1 a rotující kolejnici 3 v průběhu testování, kdy dochází k posunutí osy rotující kolejnici oproti ose hnacího elektromotoru.

Pomocí regulátoru je možno nastavovat následující veličiny: otáčky motoru, rozběhovou rampu, doběhovou rampu, časové konstanty motoru, moment motoru, mezní proud motoru.

Zadávání parametrů je realizováno prostřednictvím řídicího PC pomocí speciálního software.



Obr. 2 Rotující kolejnice a píst příčných sil

Druhý zatěžovací válec 10, uspořádaný mezi hlavním rámem 5 a speciální vidlicí 22, slouží k nastavení polohy kontaktního bodu mezi rotující kolejnicí a testovaným železničním kolem v šířce jízdní plochy testovaného železničního kola a pro vnášení vnější příčné kolové síly Y v tomto kontaktním bodu. Třetí zatěžovací válec 11, uspořádaný mezi speciální vidlicí 22 a hlavním rámem 5, slouží pro nastavování úhlu náběhu α .

Všechny zatěžovací válce jsou při experimentech řízeny speciálním softwarem. Pro měření síly prvního zatěžovacího válce, vnášejícího vnější radiální kolovou sílu Q , slouží první siloměr 12. Pro měření vnější radiální kolové síly Q v kontaktu rotující kolejnice - testované železniční kolo slouží siloměrné prvky - tenzometrické pásy 13. Siloměrné tenzometrické pásy jsou v konstrukci Testovacího zařízení železničních kol umístěny tak, že přenášejí sílu Q z nosného rámu testovaného železničního kola na hlavní nosný rám. Řešení přenosu síly Q je zajištěno tak, že síla Q jinudy než přes zmíněné tenzometrické pásy nemůže

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 13</i>
--	------------------------	------------------

přecházet. Pro měření vnější příčné kolové síly Y v kontaktu rotující kolejnice - testované železniční kolo slouží druhý siloměr 14, který je umístěn mezi hlavní nosný rám a nosný rám testovaného železničního kola rovnoběžně s osou hřídele testovaného železničního kola v těsné blízkosti kontaktního bodu mezi rotující kolejnici a testovaným železničním kolem. Přenos vnější příčné kolové síly Y je v konstrukci testovacího zařízení řešen tak, že síla Y jinudy než přes druhý siloměr nemůže přecházet. Pro měření nastavení úhlu náběhu α v kontaktu rotující kolejnice - testované železniční kolo slouží nakalibrovaný induktivní snímač dráhy.

Hřídel testovaného železničního kola je konstrukčně upravena k připojení dynamometru pro případ testů železničního kola, zaměřených na problematiku adheze.

2.4 Vize testovacího zařízení

V současné době je Testovací zařízení železničních kol využíváno k experimentálnímu výzkumu, zaměřenému na vývoj nového typu měrného kola, respektive měrného dvojkolí. Nové měrné dvojkolí je vyvíjené ve spolupráci VÚKV a.s. Praha a Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice v rámci řešení úkolů Výzkumného centra kolejových vozidel. Princip nového měrného dvojkolí je založen na tenzometrickém měření deformačních odezev desky kotouče kola. Testovací zařízení železničních kol, instalované v laboratořích Dopravní fakulty Jana Pernera, je pro tento experimentální výzkum vzhledem k tomu, že má zabudováno pouze jedno testované železniční kolo, plně vyhovující.

3. Síly mezi kolem a kolejnicí

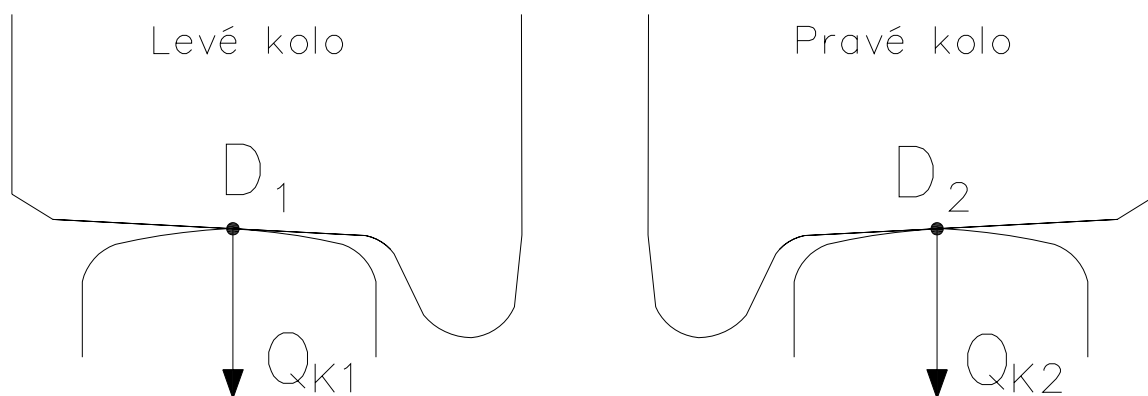
3.1 Základní rozdělení sil působících mezi kolem a kolejnicí

Mezi kolem a kolejnicí vznikají síly ve všech třech základních směrech. Ve svislém směru je síla dána velikostí kolové síly. Tato síla je dána podílem celkové hmotnosti vozidla na počet kol. V podélném směru je velikost sil dána velikostí brzděné síly a u hnacích vozidel i velikostí tažné síly. Velikost a vznik příčných sil budou popsány v následujícím oddíle.

3.2 Poloha kola vůči kolejnici

3.2.1 Působení pouze svislých sil

Dvojkolí může v koleji v příčném směru zaujmout tři základní polohy. V prvním případě ani jeden z okolků obou kol nenabíhá na bok hlavy kolejnice (viz obr. 3). Tato poloha je z hlediska příčné síly bezvýznamná. Kolej na dvojkolí působí pouze svislými kolovými silami Q_{k1} a Q_{k2} .

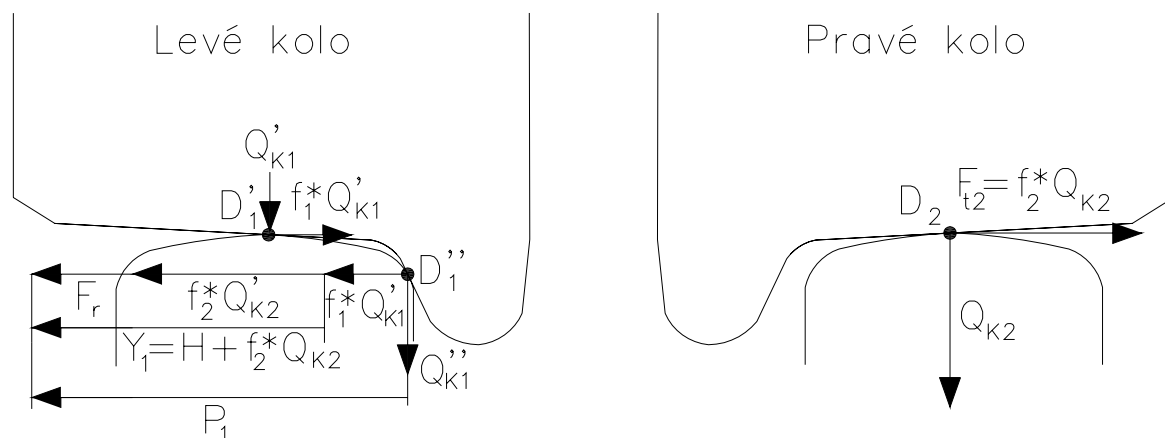


obr. 3 Působení pouze svislých kolových sil

3.2.2 Nabíhání okolku na bok kolejnice

V druhém případě nabíhá jedno kolo (např. levé) svým okolkem na bok hlavy kolejnice. Vyčerpání příčné vůle, ke které došlo, může nastat buď bez vzniku příčné síly (jde-

li například jen o geometrickou záležitost a úhel náběhu α_n je roven nule), nebo je provázáno vznikem příčné síly. Vnější příčná síla, kterou kolo působí na kolejnici a naopak, je nazývána silou vodící a obecně označována Y . Levé kolo na nějž působí síla Y je kolem nabíhajícím a příslušné dvojkolí dvojkolím vodícím. Na nabíhajícím kole se realizují ty síly, které z hlediska vykolejení jsou významné a jsou předmětem úvah o bezpečnosti proti vykolejení (BPV).



obr. 4 Silové poměry na nabíhajícím kole

Síly zakreslené u levého kola na obr. 4 odpovídají obecnému případu, kdy kolo nabíhá na kolejnici s úhlem náběhu $\alpha_n > 0$. Jejich smysl odpovídá účinku, kterým působí kolo na kolejnici. Jestliže je $\alpha_n \neq 0$, vzniká na druhém (pravém, nenabíhajícím) kole téhož dvojkolí třecí síla:

$$F_{t2} = f_2 \times Q_{k2}, \quad (1)$$

kteřá by mohla být označena též Y_2 , neboť jde rovněž o sílu vnější, kterou pravé (nenabíhající) kolo působí na kolejnici, i když jeho okolek na ni nenabíhá. Tato síla se samozřejmě jako reakce objeví i na levém kole jak je vidět na obr. 4. Další vnější silou na levém kole je síla H , kterou na dvojkolí a tedy na nabíhající kolo působí prostřednictvím nápravového ložiska rám vozidla. Celková vnější síla, kterou levé kolo příčně působí na kolejnici, tedy síla vodící je:

$$Y_1 = H + f_2 \times Q_{k2}. \quad (2)$$

Na obr. 4 je na levém kole ještě zakreslena síla:

$$F_{t1} = f_1 \times Q'_{k1}, \quad (3)$$

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 16</i></p>
---	---	---

je to třecí síla, kterou levé kolo vzdoruje příčnému smyku (skluzu) vyvolanému tím, že okolek na hlavu kolejnice nabíhá pod úhlem $\alpha_n \neq 0$ a že v důsledku toho je bod jeho dotyku s hlavou kolejnice předsunut o určitou míru označovanou b . Velikost tohoto skluzu je stejná jako na pravém kole za předpokladu, že v důsledku jím vyvolané síly F_{t2} nedojde k pružnému rozšíření rozchodu způsobenému pružností soustavy (kolejnicové pásy – pražec). Rozdíl mezi F_{t1} a F_{t2} je kvalitativní a kvantitativní. Zatímco F_{t2} je síla vnější, F_{t1} je silou vnitřní v soustavě „jízdní plocha kola – temeno kolejnice – bok hlavy kolejnice – okolek“. Rovněž pokud jde o velikost, vzhledem k tomu, že část Q''_{k1} svislého zatížení přebírá okolek, je svislé zatížení Q'_{k1} v dotykové plošce nižší a tedy i třecí síla menší. To ovšem platí za předpokladu, že nedojde ke svislému přetížení levého kola vlivem vnějších sil, působících na vozidlo, za cenu odlehčení kola pravého. Sečtením vodící síly Y_1 a třecí síly F_{t1} lze dospět k výsledné příčné síle mezi okolkem a hlavou kolejnice, která je nazývána silou řídící a označována P (mezinárodně). Bude tedy platit vztah:

$$P_1 = Y_1 + F_{t1} = H + f_2 \times Q_{k2} + f_1 \times Q'_{k1}. \quad (4)$$

Z obr. 4 je patrné, že veškeré síly na okolku se realizují v bodě D_1'' , který po jeho dolehnutí na kolejnici vznikl vedle původního bodu D_1 , nyní D_1' . Veškeré silové přenosy mezi pružnými materiály se uskutečňují vždy v ploškách a nikoliv v bodech. Tento případ styku je nazýván dvoubodový. Pro kolovou sílu v tomto případě platí vztah:

$$Q_{k1} = Q'_{k1} + Q''_{k2}. \quad (5)$$

K případu, kdy je $\alpha_n \neq 0$, dochází v oblouku, pokud vozidlo nemá rejdrovná dvojkolí, nebo pokud se dvojkolí i přes možnost rejdrování nestavějí radiálně, ale může k němu dojít i na přímé trati. Jestliže úhel náběhu není roven nule, posouvá se bod D_1'' o míru b před bod D_1' . Pro velikost předsunu b platí vztah:

$$b \approx r_k \times \text{tg} \alpha_n \times \text{tg} \beta \quad (6)$$

b – velikost předsunu [mm],

r_k - poloměr kola [mm],

α_n - úhel náběhu [°],

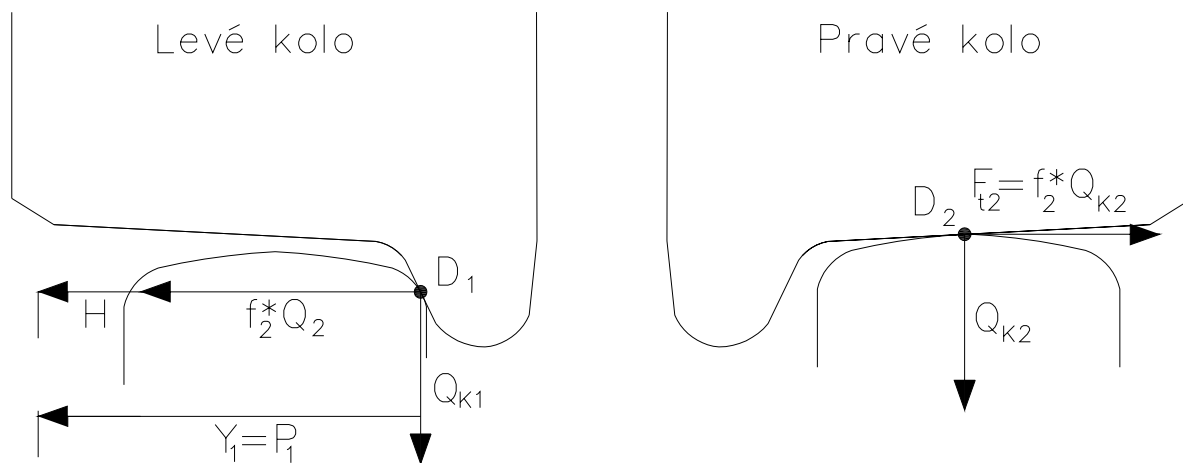
β - úhel okolku [°].

Tab. 1 Příklad předsumutí bodu dotyku o míru b

kolo o poloměru $r_k = 500$ mm						
$\alpha_n [^\circ]$		0	0,5	1,0	1,5	2,0
$\beta = 60^\circ$	b [mm]	0	7,557	15,116	22,677	30,24
$\beta = 70^\circ$	b [mm]	0	11,98	23,978	35,973	47,972

Z rovnováhy sil plyne, že čím je větší řídicí síla, tím větší je Q''_{k1} a tím menší je Q'_{k1} . Dosáhne-li řídicí síla takové hodnoty, že $Q''_{k1} = 0$ a tedy $Q''_{k1} = Q'_{k1}$, změní se dvoubodový styk na jednobodový.

3.2.3 Mez vykolejení



obr. 5 „Kolo – kolejnice“ mez vykolejení

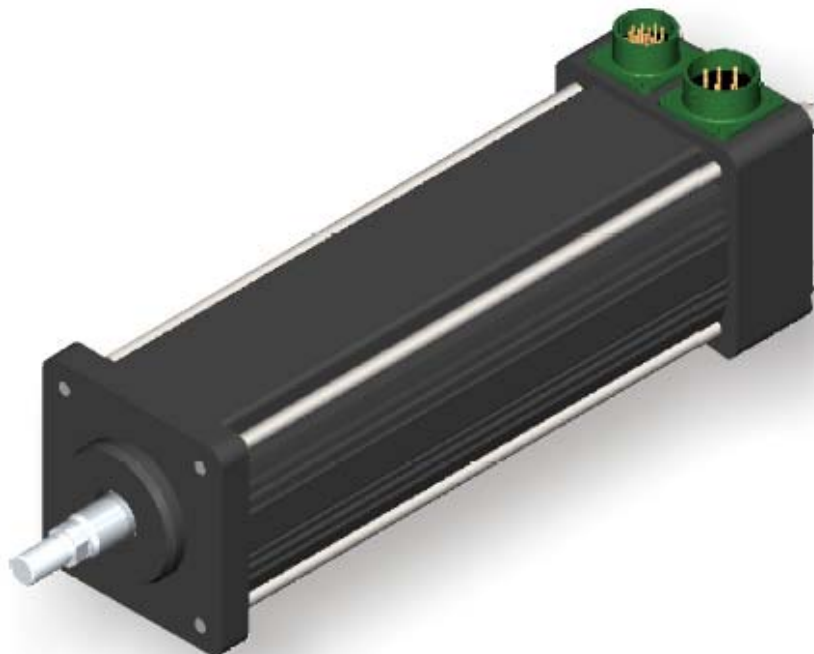
Dle obr. 5, ztrátou dotyku v původním bodě D'_1 zanikne i síla F_{t1} , takže řídicí síla P_1 se nyní rovná vodící síle Y_1 . Tento případ je už velmi nebezpečný, neboť kolo se dostává na mez vykolejení. Aniž by dále narůstala vodící síla Y_1 , okolek postupně vyšplhá na temeno hlavy kolejnice a dochází k vykolejení. Jestliže jedinou příčnou silou, působící na okolek je nyní pouze síla vodící, pak ze vztahu 2 plyne, že její velikost může ovlivnit jen třecí síla

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 18</i>
--	------------------------	------------------

$F_{t2} = f_2 \times Q_{k2}$ na nabíhající kole a síla H . Velikost síly H ovlivňují všechny příčné síly působící na vozidlo. Příkladem může být boční vítr nebo nevyrovnaná odstředivá síla v oblouku. Bez významu není ani náhlé vybočení koleje, které má za následek vznik velké příčné dynamické síly mezi okolkem a kolejnici.

4. Analýza vybraných způsobů měření vnější zatěžující příčné síly

4.1 Zařízení vytvářející vnější příčnou sílu



obr. 6 Píst příčných sil

Příčné účinky vznikají působením rámových sil při průjezdu oblouku nebo působením bočního větru na skříň. Tyto síly se přenášejí do dvojkolí přes nápravová ložiska. V laboratoři je zapotřebí tyto silové účinky mezi kolo a rotující kolejnici uměle vnášet. Příčné účinky jsou tedy do měrné kolejnice vnášeny pomocí elektromechanického válce firmy Exlar. Tato společnost nabízí zhruba třicet typů silových zařízení, které jsou rozděleny dle různých vlastností (velikost, zdvih, působící síla).

Na testovacím zařízení je použito typu SR41-0601, jehož základní údaje jsou zobrazeny v níže uvedené tabulce 2. Zařízení je spojeno s dvěma kabely prostřednictvím konektorů. První z nich slouží pro napájení zařízení a druhý má za úkol podávat informace o vykonaných činnostech silového zařízení. Oba dva kabely vedou do zesilovače, který vyhodnocuje zpětné informace ze zařízení a zároveň reguluje jeho napájení. Zesilovač je spojen s počítačem, prostřednictvím něhož jsou zadávány požadavky na silový agregát.

tab.2 Základní údaje elektromechanického pístu

model	zdvih prac. pístu [mm]	rychlost prac. pístu [mm/s]	max. statická síla [N]	max. dynamická síla [N]	hmotnost [kg]	stoupání závitu [mm]
SR41-0601	152	127	17642	21067	9.1	2.54

Zařízení je tvořeno elektrickým bezkomutátorovým motorem jehož rotor je spojen s válcovým, planetovým šnekem, který převádí rotační pohyb na posuvný. Vztah mezi rotačním pohybem a posuvným je charakterizován vztahy:

$$Y = n \times s, \quad (7)$$

$$V_y = \frac{n}{60} \times s, \quad (8)$$

$$F_y = \frac{M \times 2\pi \times \eta}{s}, \quad (9)$$

Y – zdvih pístu [mm],

n – počet otáček [1/min⁻¹],

s – stoupání závitu [mm],

V_y – rychlost posuvného pohybu [mm/s],

F_y – síla na konci pístu [N],

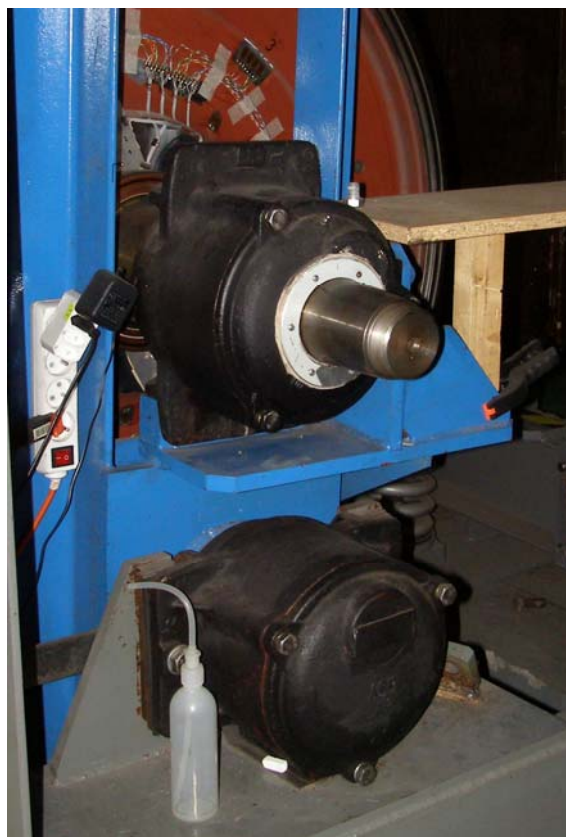
M – moment motoru [N/mm],

η - účinnost [-].

Na konec posuvného pístu je uchyceno oko, které je čepově spojeno s delší stranou dvouramenné páky.

4.2 Umístění a výběr měřícího zařízení

Vnější příčná síla, která je vyvozovaná elektrickým válcem na levé zadní straně testovacího zařízení nedává velké množství možností řešení snímání velikosti této síly. Z hlediska umístění měřícího zařízení lze tuto problematiku rozdělit na stranu, kde je umístěn zatěžovací válec 10 (viz obr. 2) a na pravou stranu testovacího zařízení v místě vyčnívajícího ložiskového čepu rotující kolejnice (viz obr. 7).



obr. 7 Pohled na ložiskový čep rotující kolejnice

Měření síly lze uskutečnit pomocí jednotlivých typů tenzometrických snímačů a kombinací jejich zapojení nebo pomocí kompletovaného snímače, který lze přímo namontovat mezi zdroj působící síly a zatěžované zařízení.

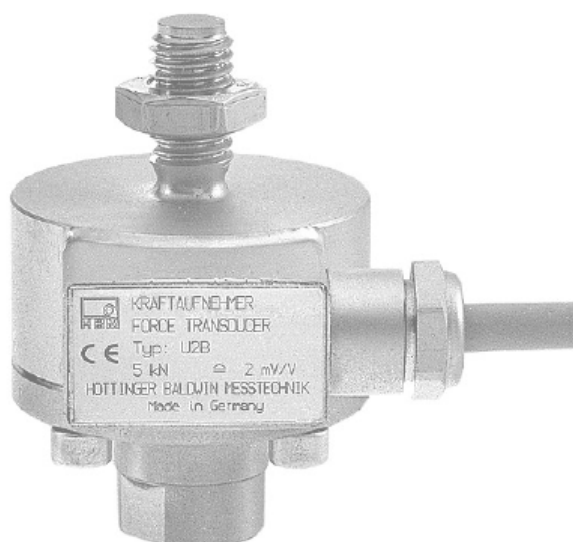
4.3 Snímání síly siloměrným zařízením

Na trhu je velký výběr siloměrných zařízení. Touto problematikou se zabývá několik firem (Electronic Sital, Omega, Meatest, Bamas, HBM, Ahlborn...) a pomocí internetu lze rychle a snadno získat kompletní informace o konkrétním snímači. Ty se vyrábějí pro různé velikosti sil. Řádově od jednotek Newtonů až po 1000 kN. Pro tuto práci je použito produktů od firmy HBM, přičemž výběr firmy byl zcela náhodný.

4.4 Snímač síly firmy HBM

4.4.1 Snímač typu U2B

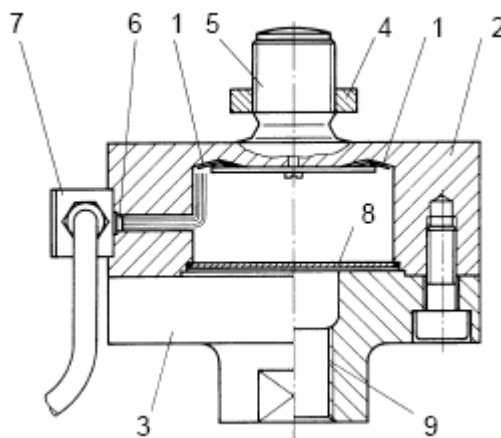
Snímač síly U2B je bezúdržbový komplet použitelný pro měření tahové i tlakové síly. Je schopen měřit statické i dynamické síly s velkou přesností (třída přesnosti 0.1). Firma HBM vyrábí devět typů těchto snímačů a to v závislosti na velikosti zatěžující síly (0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 20, 50, 100 a 200 kN). Ačkoliv kompletovaný snímač má ocelový plášť, je zapotřebí při manipulaci dbát na to, aby nedošlo k jeho poškození vlivem nevhodného zacházení. Snímač je vyroben z nerezivějící oceli a je vhodný pro použití v jakýchkoliv životních podmínkách bez omezení.



obr. 8 Snímač síly U2B

4.4.2 Popis snímače

Měrným elementem je zde nerezivějící ocelová membrána, která je polepena tenzometrickými snímači. Měrný element současně plní funkci horní části krytí snímače. Tenzometrické prvky jsou umístěny tak, že při zatěžování snímače tahovou nebo tlakovou silou jsou čtyři snímače natahovány a další čtyři stlačovány (viz. princip tenzometrie). Pro případný vznik nežádoucích vlivů na měření je obvod snímače vybaven kompenzačními odpory.



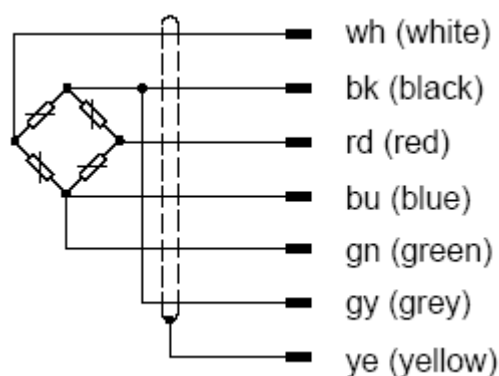
obr. 9 Řez snímačem U2B

Popis:

- 1..... tenzometry
- 2..... krytí snímače s měrnou membránou
- 3..... nástavec (druhý díl krytí)
- 4..... zajišťovací matice
- 5..... závitová vstupní hlava pro působící sílu
- 6..... vývodka pro kabely
- 7..... krabička pro připojení kabelů
- 8..... svařovaný kryt
- 9..... vnitřní závit pro výstup

4.4.3 Elektroinstalace snímače

Zapojení tenzometrů je do Wheatstonova můstku. Výstupní napětí je označeno U_A , které je vyvoláno vstupním napětím U_B a změnou elektrického odporu v můstku. Poměr napětí U_A/U_B je vyjádřen v mV/V. Změna napětí U_A na výstupu je lineární v závislosti na zatěžující síle. Zatížený snímač síly je pomocí kabeláže spojen se zesilovačem, který navíc obsahuje převodník z analogového signálu na digitální. Signál jde dále do PC nebo notebooku. Tlaková síla je zobrazována s kladným znaménkem (+) a tahová síla znaménkem záporným (-). Snímač síly je vybaven sedmi-žilovým elektrickým připojením. Pro výstupní napětí U_A slouží vodič s bílým a červeným označením, přičemž jejich polarita může být zaměněna. Černý a modrý vodič slouží k napájení elektrického obvodu snímače. Paralelně připojené vodiče (šedivý a zelený) ke vstupu slouží k snímání rozdílu napětí na začátku a konci černého a modrého vodiče. Neboť s růstem délky kabelu, ale třeba i změnou teploty se projevuje změna vnitřního odporu vodiče a tím i větší úbytek napětí na konci vodiče. Šedivým a zeleným vodičem se provádí napěťová kompenzace. Z kontrolních vodičů jde informace o velikosti napětí na koncích vodiče do zesilovače a ten dorovná velikost vstupního napětí na požadovanou hodnotu, tak aby vedení bylo z hlediska přesnosti bezztrátové. Pro provoz snímače nejsou tyto dva vodiče nezbytně potřebné, ale zvyšují přesnost měření. Poslední žlutý vodič slouží jako stínění a je připojen k vnějšímu plášti snímače síly.



obr. 10 Zapojení snímače síly U_{2B}

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 25</i></p>
---	---	---

Popis obr. 10:

white... bílý	měřené napětí (+) U_A
black... černý	napájecí napětí (-) U_B
red... červený	měřené napětí (-) U_A
blue... modrý	napájecí napětí (+) U_B
green... zelený	kompenzační vedení (+)
grey... šedivý	kompenzační vedení (-)
yellow... žlutý	stínící kabel, spojený s kostrou

4.4.4 Kompenzace nežádoucích vlivů

Elektrické a magnetické pole často způsobuje rušivý signál v měřicím obvodu. Tento problém nastává v blízkosti jiného elektrického vedení vedeného paralelně nebo v blízkosti elektrických motorů. Rušivý signál nastane i při vytvoření galvanického článku, zejména je-li měřicí zařízení uzemněno na více místech. Je proto nezbytné užití stíněného kabelu s nízkou hodnotou kapacitního odporu. Nevést příslušné elektrické vedení s jiným vedením paralelně, ale odděleně. A to pokud možno v ocelové trubce vzdálené aspoň 50 cm od ostatního vedení. Vysoko-napěťové vodiče by měli být zatočeny a to aspoň 15krát na jeden metr délky. Snímač síly, zesilovač i zobrazovací zařízení se uzemňuje vždy jenom na jednom místě. Po spojení dvou kabelů je vždy potřebné provést zakrytí tohoto místa.

Snímač síly U_{2B} není konstruován pro zatěžování příčnými silami, ohybovým a kroutícím momentem. Avšak je vybaven kompenzací pro snížení těchto vlivů na minimum.

Teplotní vlivy na snímač jsou vyrušeny typem zapojení můstku. Teplotní pásmo pro měření je od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro optimální měřicí výsledky se doporučuje udržovat okolní teplotu při měření na konstantní hodnotě.

Vliv velikosti vlhkosti nebo tropické podmínky nemají vliv na měřicí schopnost snímače. Zařízení splňuje ochranné krytí IP 67.

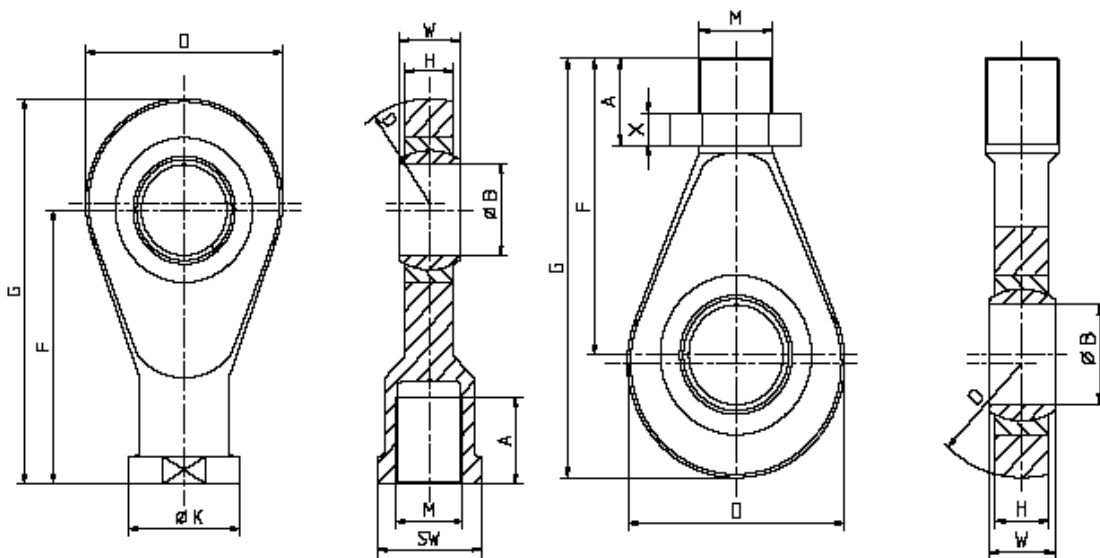
Písmena IP jsou mezinárodní zkratkou International Protection (mezinárodní ochrana). První číslice nabývá hodnot 0 až 6 a popisuje stupeň ochrany osob před nebezpečným dotykem a stupeň ochrany zařízení před vniknutím cizích předmětů. Přičemž

číslo 0 vyjadřuje, že zařízení je bez ochrany a nejvyšší číslo 6 absolutně prachutěsné (prach nesmí narušit činnost elektrického zařízení). Druhá číslice popisuje stupeň ochrany před vniknutím vody a nabývá hodnoty 0 až 8, přičemž 0 opět vyjadřuje stav bez ochrany a číslo osm ochranu při trvalém ponoření do vody (případná vniklá voda nesmí narušit činnost elektrického zařízení). Číslo 7 vyjadřuje ochranu před dočasným ponořením do vody (omezeno tlakem a časem).

Okolní tlak prostředí v kterém je snímač umístěn by měl být v rozmezí 0 – 5 bar. Přičemž je nutno myslet na to, že změna okolního tlaku má vliv na nastavenou nulovou hodnotu snímače.

4.4.5 Doplnky ke snímači

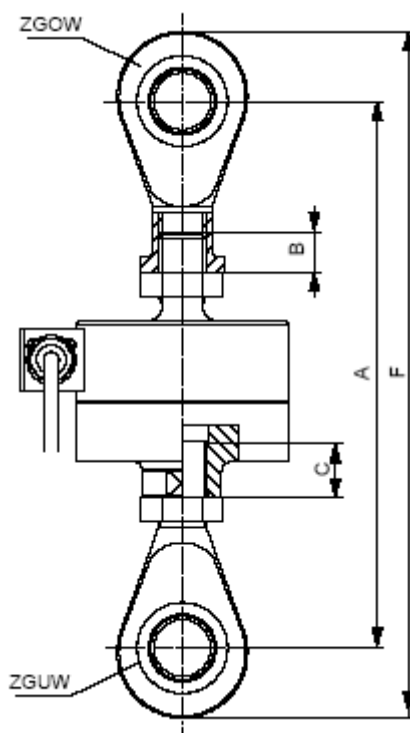
Pro snadnou instalaci je snímač vybaven dvěma oddělitelnými ocelovými oky. Jedno oko je ukončeno vnějším závitem (označeno ZGUW) a druhé vnitřním závitem (označeno ZGOW). Materiál ok je z tepelně zpracované, válcované oceli. Hmotnost snímače i s oběma přípojnými ocelovými oky je 15 kg.



obr. 11 Přípojná ocelová oka

tab. 3 Rozměry přípojných ok dle obr. 11

Max. síla v kN	označení oka	hmotnost v kg	A	ØB	D	F	G	H	ØK X	M	SW	W X
100	ZGOW	3.2	50	$50^{+0.002}_{-0.014}$	115	151	212.5	28	65	M39x2	60	35
100	ZGUW	1.1	65.5	$50^{+0.002}_{-0.014}$	115	148.5	210	28	16	M39x2	60	35



obr. 12 Základní rozměry pro instalaci zkompletovaného snímače síly

tab.4 Tabulka základních rozměrů k obr. 12

Max. zatěžující síla [kN]	A _{min} [mm]	A _{max} [mm]	F _{min} [mm]	F _{max} [mm]	Minimální délka uchycení oka na závitu [mm]		Maximální délka uchycení oka na závitu [mm]
					b	c	
100	418	436	541	559	27	31.2	75

4.5 Použití snímače U2B na stavu „kolo – rotující kolejnice“

4.5.1 Umístění U2B na straně páky

Snímač U2B lze umístit na výstupní stranu dvouramenné páky. První úvaha vedla k instalaci snímače U2B mezi čep výkyvného rámu a dvouramenné páky, tak aby byl umožněn otáčivý pohyb v okách snímače kolem svislé osy. Při tomto návrhu by však naměřená hodnota síly neodpovídala síle skutečné, ale ukazovala by hodnotu vyšší než jaká by ve skutečnosti byla. Jen v případě, kdy snímač by byl v ose čepu výkyvného rámu by síla odpovídala skutečné hodnotě. Jde o tzv. pohyb po kružnici.

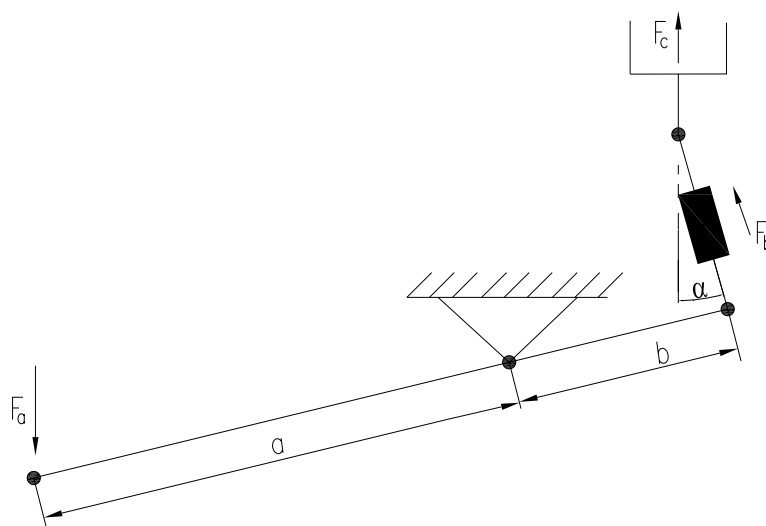
Platí:

$$\begin{aligned} F_c = F_b &\Rightarrow \alpha = 0 \\ F_c \leq F_b &\Rightarrow \alpha \geq 0' \end{aligned} \quad (10)$$

F_a - síla vyvíjená elektrickým pístem [kN],

F_b - výstupní síla z dvouramenné páky [kN],

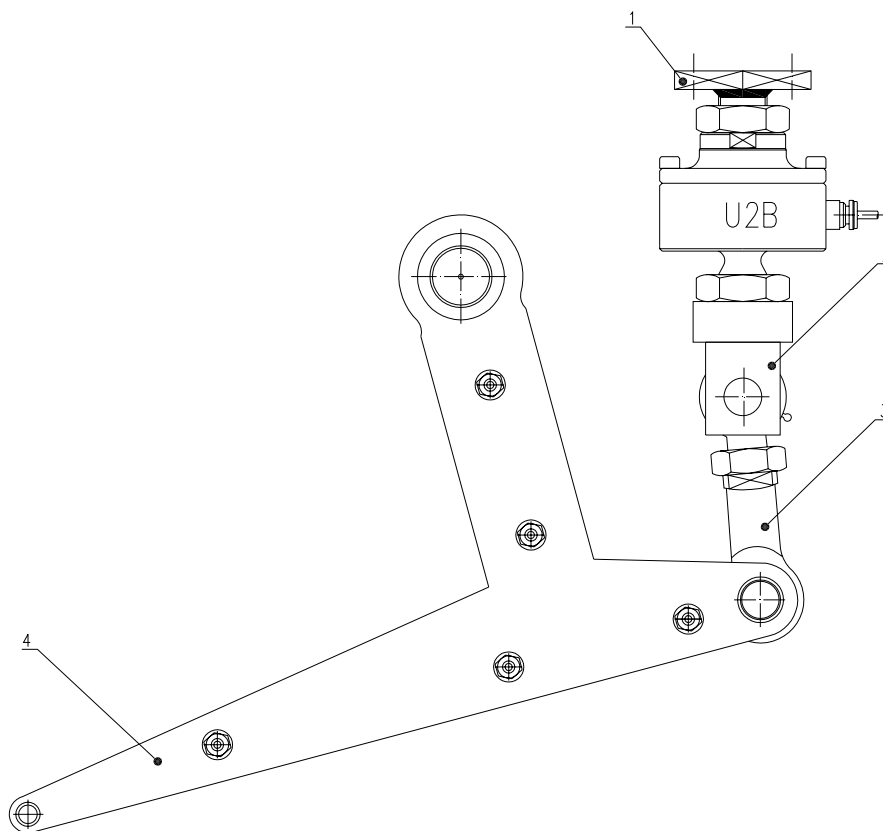
F_c - síla působící v ose výkyvného rámu [kN].



obr. 13 Síla F_c v závislosti na úhlu α

Tento způsob je tedy nevyhovující a byl poupraven, tak že snímač U2B je napevno přichycen v ose čepu výkyvného rámu a na něj je dále uchycena rozebíratelná ojnice, která již předtím spojovala páku s výkyvným rámem.

Touto rekonstrukcí by muselo dojít k posunu celé dvouramenné páky směrem od rotující kolejnici o 230 mm. Jak je vidět na obrázku 14, posun páky lze vyřešit jejím rozříznutím u středního čepu a navařením nového mezikusu, který by ve svém příčném řezu měl stejné rozměry jako rozříznutá část páky. Také by však muselo dojít k posunutí ovládacího pístu o tu samou vzdálenost jako u dvouramenné páky. Ovládací píst je v zadní části otočně uchycen přes čep k profilu tvaru U, který je v blízkosti uchycení pístu zesílen o přivařenou ocelovou boční a zadní stěnu.

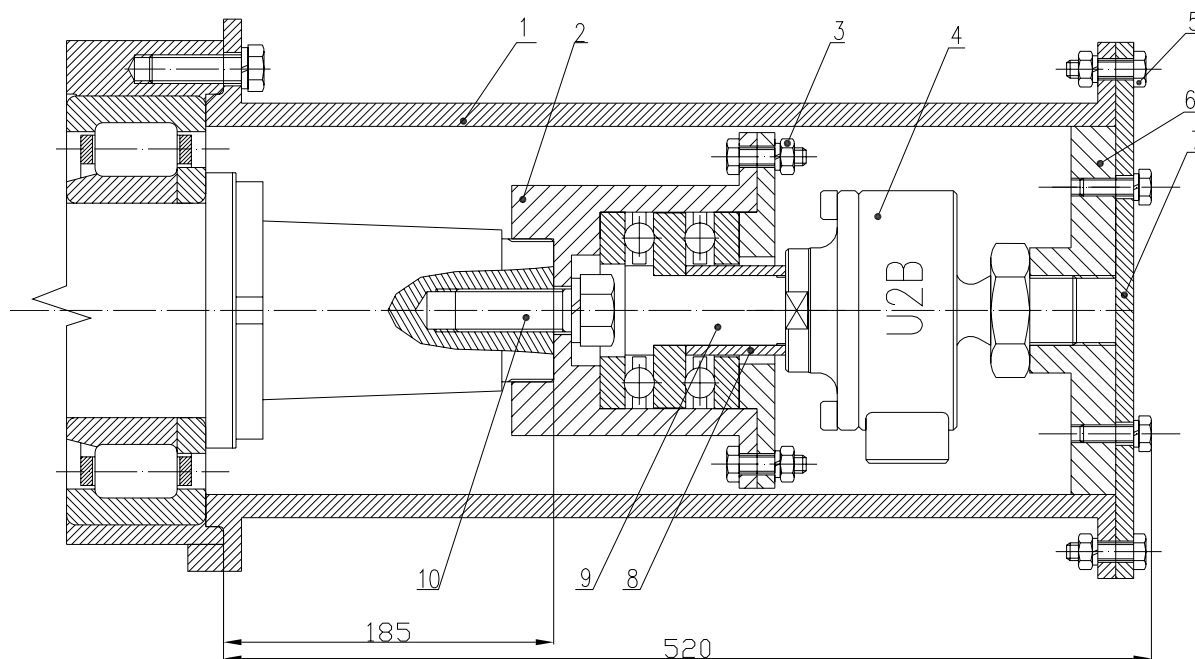


obr. 14 Snímač U2B na straně páky

Příruba 1 (obr. 14) je spojená s čepem výkyvného rámu pomocí dvou šroubů M16 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Na závit této příruby je našroubován snímač U2B svým vnitřním závitem (M39) a zajištěn pojistnou maticí. Na druhé straně snímače je

našroubována příruba 2, která je opět zajištěna v požadované poloze maticí. Z druhé strany příruba 2 je vidlice s kruhovým otvorem pro připojení ojničního celku 3, který je na druhé straně spojen s dvouramennou pákou 4.

4.5.2 Snímač U2B na straně vyčnívajícího ložiskového čepu



obr.15 Snímač U2B na straně vyčnívající hřídele

Druhým navrženým řešením se siloměrným prvkem je na druhé straně testovacího zařízení, tedy na straně, kde hřídel rotující kolejniče vystupuje z ložiskové skříně (viz obr. 17). Kompletní zařízení se skládá z několika částí. Při montáži se nejprve našroubuje příruba 2 (viz obr. 15) na závit na konci ložiskového čepu a zajistí šroubem (M24) 10. Do této příruba se zasune první vnější kroužek ložiska a klec s valivými elementy. Následuje vnitřní kroužek ložiska s předem provlečeným, jednostranně osazeným hřídelem 9. Dále se nasune druhá klec s kuličkami a vnější kroužek ložiska na který přijde uzavírací víko 3. Víko je připevněno osmi šrouby M10. Na vyčnívající hřídel 9 se nasune trubka 8 a zajistí se našroubováním a dotažením snímače U2B na závit hřídele 9. Na vnější závit snímače se našroubuje pojistná matka a talíř 6. Pojistná matka umožňuje nastavení a zajištění talíře 6 do polohy rovnoběžné se svislou rovinou trubky 1. Následuje přichycení trubky 1 na čelní stranu ložiskové skříně

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 31</i>
--	------------------------	------------------

prostřednictvím tří šroubů (M16). Naposledy se přimontuje kruhová deska 7, která je s trubicou 1 připevněna osmi šrouby (M10) a k snímači také prostřednictvím osmi šroubů (M10).

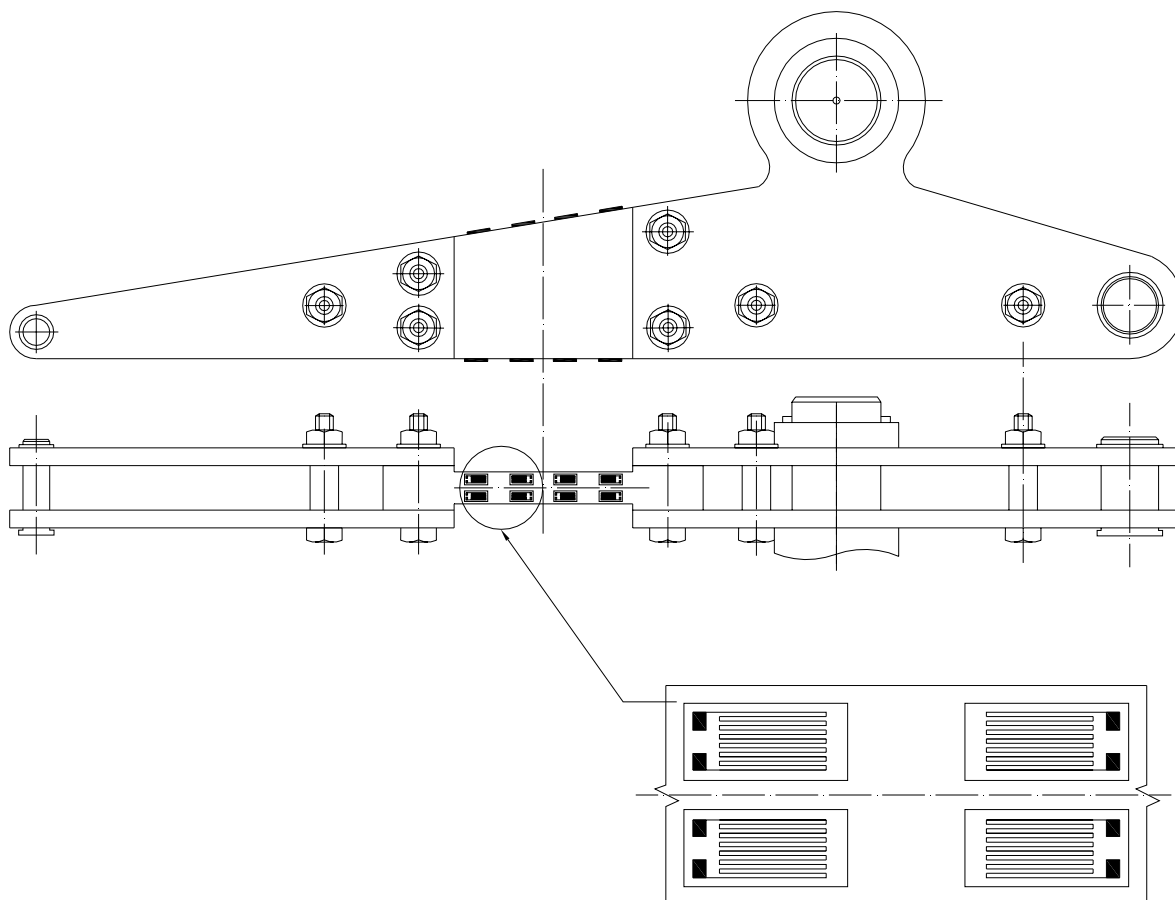
Z obrázku 15 je patrné, že toto řešení vyžaduje příčný prostor cca 350 mm. Hřídel vystupující z ložiskové hřídele se nachází v uličce o šířce zhruba jednoho metru a tedy instalací tohoto zařízení dojde ještě k jejímu zúžení.

Pokud by měli být zmíněny výhody tohoto řešení, pak lze uvést jednoznačně jednoduchost, rychlá instalace. Za nevýhodu lze považovat pořizovací cenu snímače, která je v současné době 53 950 Kč.

4.6 Měření síly tenzometry

4.6.1 Měření sil na dvouramenné páce

Měření zatěžující síly je možno uskutečnit na dvouramenné páce a to na delší straně. Vyříznutím stomilimetrového dílu obou pánic a nahrazením jedním zeslabeným kusem lze docílit zvýšení mechanického napětí v této části, obecně označované měrným elementem. Při půdorysném pohledu měrný prvek kopíruje rozměry páky a při bočním pohledu je zeslaben. Tenzometry jsou na obou bocích umístěny ve dvou řadách a čtyřech sloupcích, tzn. na každém boku se nachází osm snímačů. Pokud snímače na jednom boku jsou namáhány na tah, tak na druhé pouze na tlak. Umístěním snímačů na boční stranu měrného elementu je docíleno pouze jednoosého namáhání, kdežto umístění na horní a spodní straně by zapříčinilo i příčnou deformaci snímačů. Tvarovou úpravou měrného prvku (dle tvaru páky) je dosaženo téměř konstantní velikosti mechanického napětí, které je vyvoláno vnější zatěžující silou elektromechanického pístu. To lze ukázat na jednoduchém, níže uvedeném příkladu, který vychází z hodnot naměřených na dvouramenné páce a navrženého měrného elementu.



obr. 16 Tenzometry umístěné na páce

Nechť je síla vyvozovaná elektrickým pístem $F_a = 10$ kN. Vzdálenost prvního sloupce tenzometrických snímačů je vzdálen od působíště síly $l_1 = 250$ mm a vzdálenost čtvrtého sloupce $l_2 = 320$ mm. Šířka měrného elementu je v místě prvního sloupce $h_1 = 72$ mm a v místě čtvrtého sloupce $h_2 = 83$ mm. Tloušťka měrného elementu je v celém průřezu konstantní $b = 18$ mm.

$$\sigma_1 = \frac{M_{01}}{W_{01}} = \frac{F \times l_1}{\frac{1}{6} \times b \times h_1^2} = \frac{10 \times 10^3 \times 0,25}{\frac{1}{6} \times 0,018 \times 0,072^2} = \underline{\underline{160 \text{ MPa}}} \quad (11)$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{02}}{W_{02}} = \frac{F \times l_2}{\frac{1}{6} \times b \times h_2^2} = \frac{10 \times 10^3 \times 0,32}{\frac{1}{6} \times 0,018 \times 0,082^2} = \underline{\underline{158 \text{ MPa}}} \quad (12)$$

σ_1, σ_2 – mechanické napětí [MPa],

M_{01}, M_{02} – ohybový moment [Nxm],

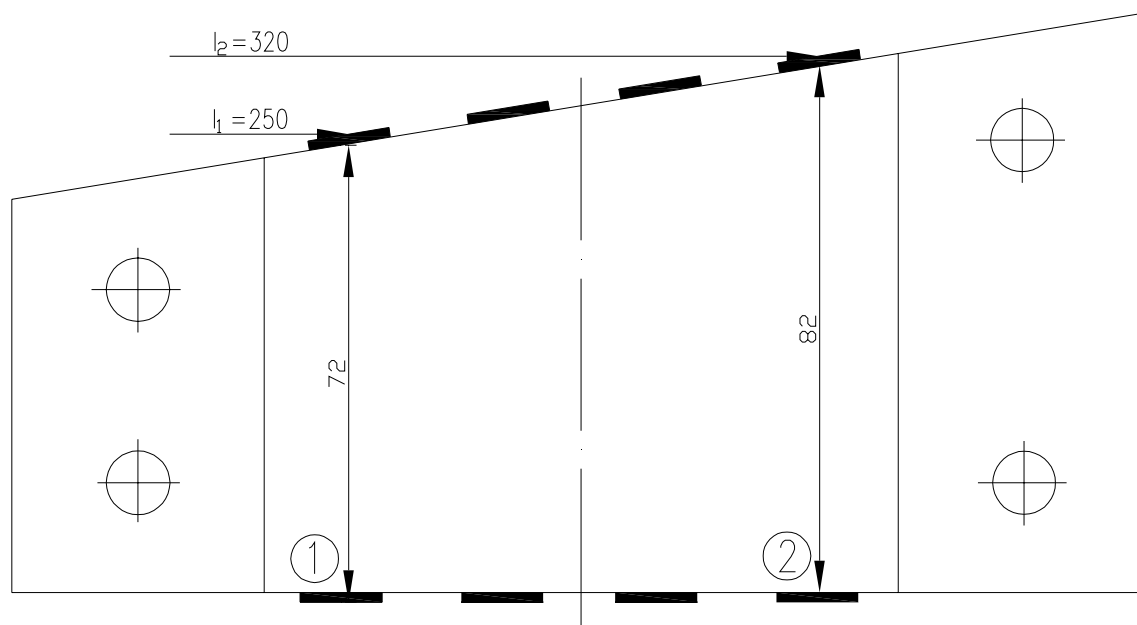
W_{01}, W_{02} – průřezový modul v ohybu [m³],

F – zatěžující síla [N],

b – tloušťka měrného elementu [m],

h_1, h_2 – šířka měrného elementu [m],

l_1, l_2 – vzdálenost tenzometru od působíště síly F [m].

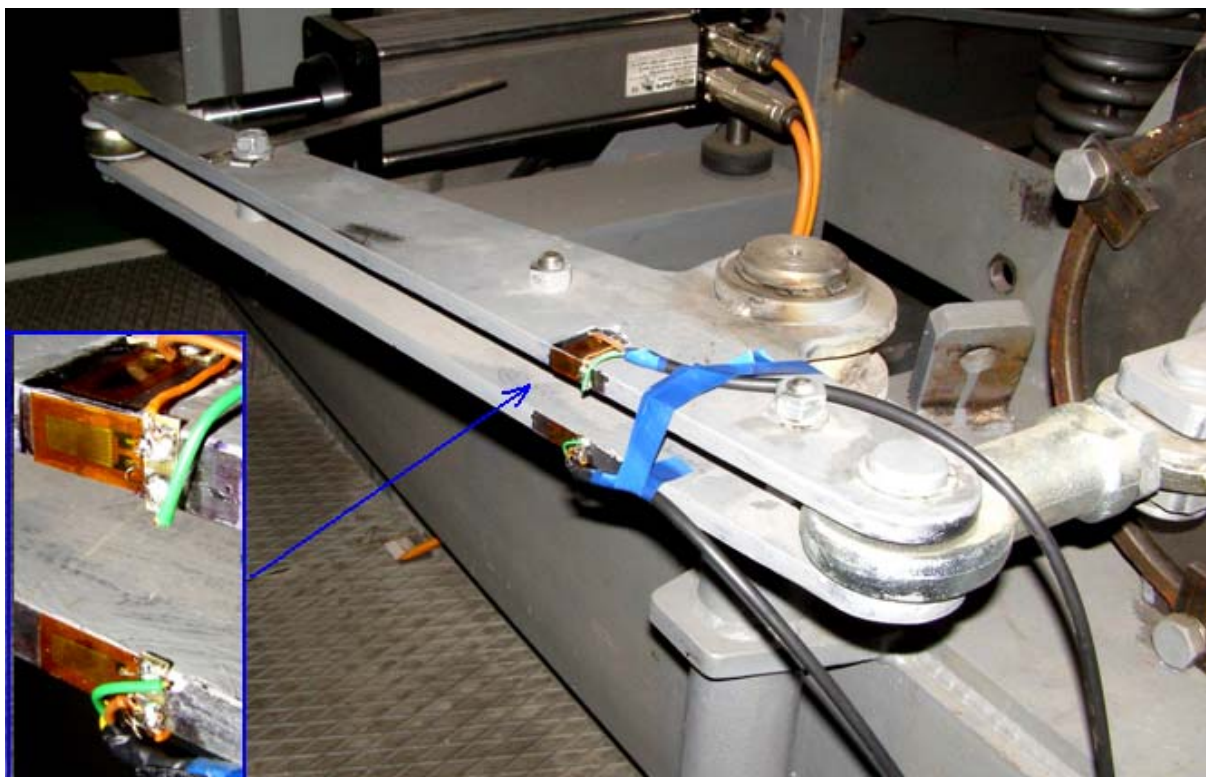


Obr. 17 Rozměry měrného prvku pro výpočet mechanického napětí

Z výpočtu je vidět, že rozdíl napětí v místech vzdálených od sebe 70 mm je přibližně 2 MPa, to je rozdíl $1,25$ %. Lze tedy říci, že při zatěžování měrného elementu elektrickým pístem bude deformace všech tenzometrů stejná a výsledný rozdíl všech odporů ΔR bude také stejný.

Výhodou této možnosti řešení je podstatně nižší finanční náročnost než jak tomu bylo v předchozích případech. Druhou výhodou je jednoduchost rekonstrukce dvouramenné páky.

4.6.2 Experiment měření sil na dvouramenné páce



obr. 18 Nalepené snímače na dvouramenné páce

7. května 2008 bylo uskutečněno měření vnější zatěžující příčné síly na dvouramenné páce. Byly použity celkem čtyři tenzometrické snímače. Umístění snímačů bylo do místa největšího namáhání dvouramenné páky. Tedy do vzdálenosti 175 mm od kratšího konce páky, proti čepu, kolem kterého se páka natáčí (viz obr. 18). Dva snímače (1-LY11-10/120) byly nalepeny na horním listě páky. První z nich T_1 byl nalepen z boční úzké strany páky tak, aby mřížka snímače byla namáhána na tah nebo tlak. Druhý snímač T_3 byl nalepen příčně na horní ploché straně kolmo k prvnímu snímači a sloužil jako kompenzační. Oba snímače byly zapojeny do polovičního můstku. Zbylé dva snímače T_2 a T_4 (1-LY11-10/350) byly nalepeny stejným způsobem na druhém spodním listu (zrcadlově).

K snímači byla vždy přilepena destička, na kterou byly přiletovány vodiče snímače a vodiče transportního kabelu.

Kabel, jehož vodiče byly naletováním spojeny s tenzometrickými snímači, je stíněný. Druhý jeho konec byl připojen do společného konektorového panelu, z něhož dále

vedou kabely do Velína laboratoře. Protože byly snímače zapojeny do dvou nezávislých můstků, museli být také použity dva nezávislé kabely. První kabel byl připojen ke snímačům na horním listě páky a byl označen F_{TY1} . Druhý vodič byl označen F_{TY2} . Na konektorovém panelu byly kabely zapojeny do konektorů označenými čísly 8 a 9. Toto označení lze pak najít na konektorech kabelů vyvedených ve Velíně za měřicí ústřednou, které se zapojují do jednotlivých zesilovačů, jež jsou na čelní straně také označeny číslicemi.



obr. 19 Připojení kabelů F_{TY1} a F_{TY2} do konektorového panelu

Měřicí ústředna byla nastavena tak, aby hodnota měřené síly 25 kN odpovídala hodnotě na můstku 0,5 mV/V. Vzorkovací frekvence měřené síly byla nastavena na 100 Hz. Pro porovnání měřené síly z tenzometrů na dvouramenné páce bylo použito hodnot ze siloměrného prvku 14 (obr. 2), který je umístěn mezi hlavní nosný rám a nosný rám

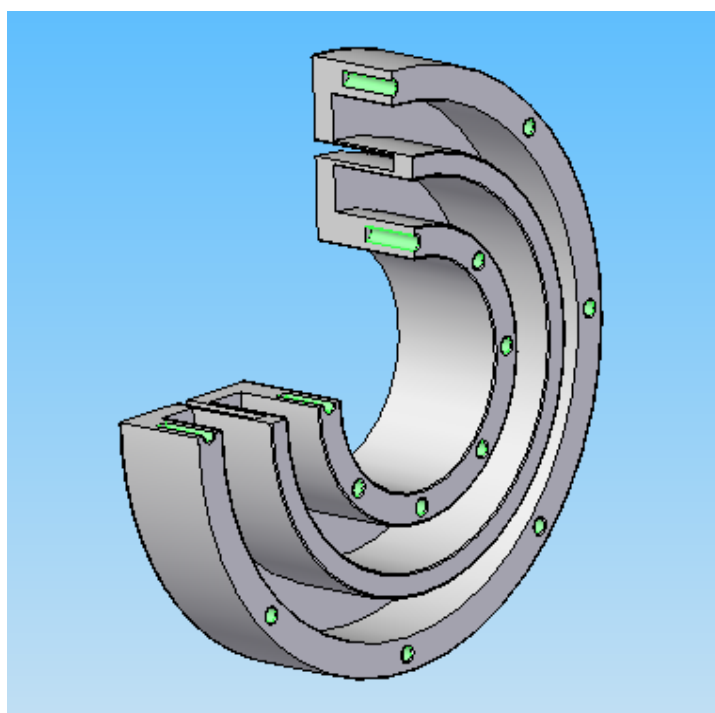
UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 36</i>
--	------------------------	------------------

testovaného železničního kola rovnoběžně s osou hřídele testovaného železničního kola v těsné blízkosti kontaktního bodu mezi rotující kolejnicí a testovaným železničním kolem.

Byly provedeny tři měření s velikostí síly přibližně 22 ± 4 kN za dobu 12 až 23 s. Hodnoty naměřené z polovičního tenzometrického zapojení $F_y T_1$ a $F_y T_2$ byly porovnány s přesnou hodnotou siloměrného prvku. Grafy s naměřenými hodnotami jsou umístěné v příloze a v oddíle závěr je provedeno shrnutí poznatků z experimentu.

5. Optimální řešení měřícího zařízení

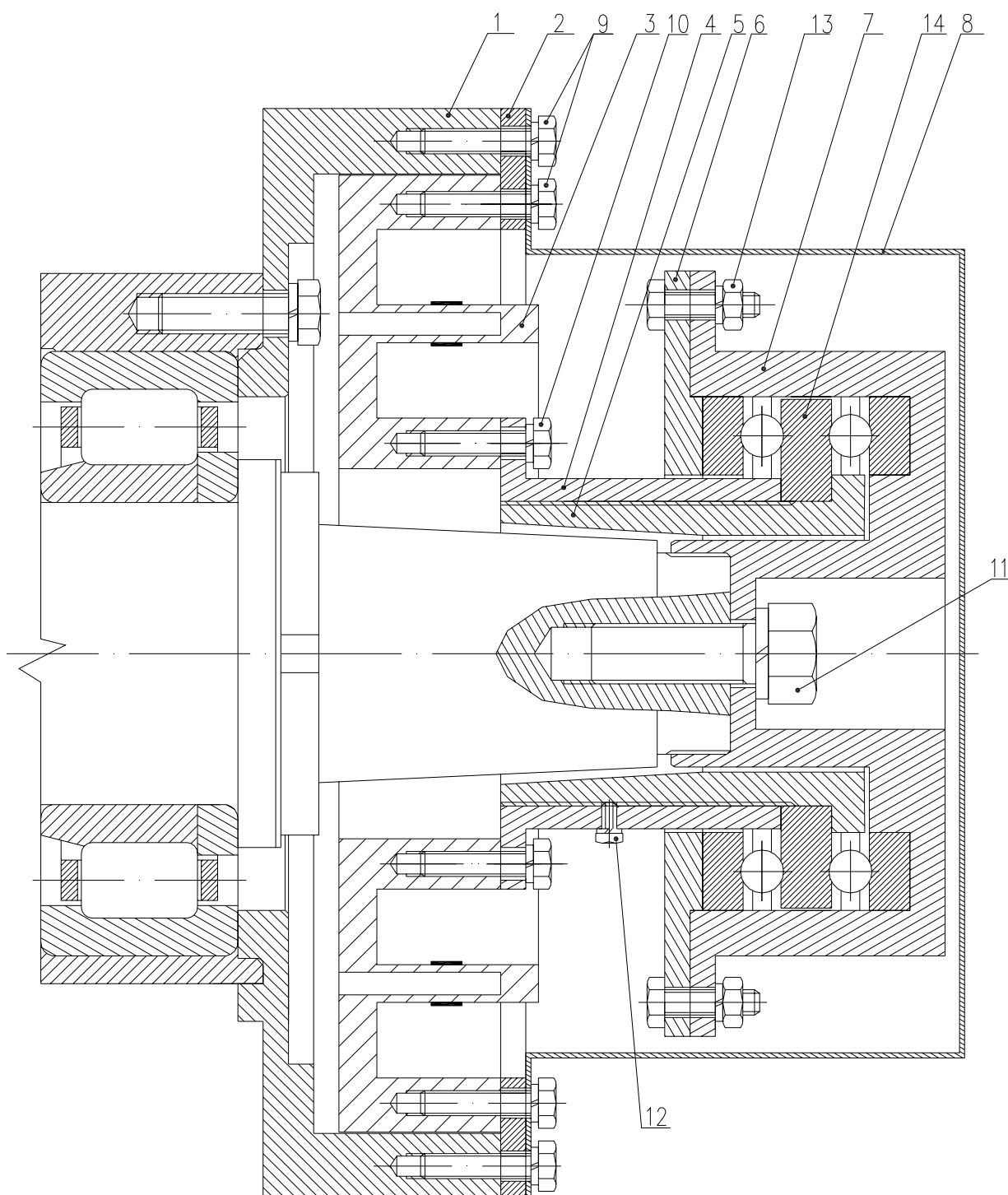
Řešení pomocí snímače U2B na straně vyčnívajícího ložiskové čepu vedlo k podstatnému zásahu do příčných rozměrů testovacího zařízení. Proto u posledního řešení bude snaha o to, aby měřící zařízení minimálně zvyšovalo příčné rozměry a přitom nedošlo k omezení funkčnosti měřícího celku.



obr. 20 Řez měrným elementem

Tvar měrného elementu musí být takový, aby závislost zatěžující síly byla přímo úměrná velikosti deformace měrného prvku. Tento požadavek nejlépe splňuje měrný prvek s přibližným tvarem „Z“. Měrný prvek na obr. 20 sice nemá přesný tvar tohoto písmena, ale lze předpokládat lineární nárůst deformace s růstem zatěžující síly. Aby nedošlo k zvětšení příčných rozměrů kompletního testovacího zařízení, bylo zapotřebí, aby měrný element byl umístěn v prostoru vyčnívajícího čepu. V ose tohoto čepu tak, aby nedocházelo k vzájemnému dotyku. Navržený měrný element je tedy kruhového průřezu s vnitřním volným prostorem pro průchod rotujícího ložiskového čepu.

5.1 Popis měřicího zařízení



obr. 21 Řez měřicím zařízením

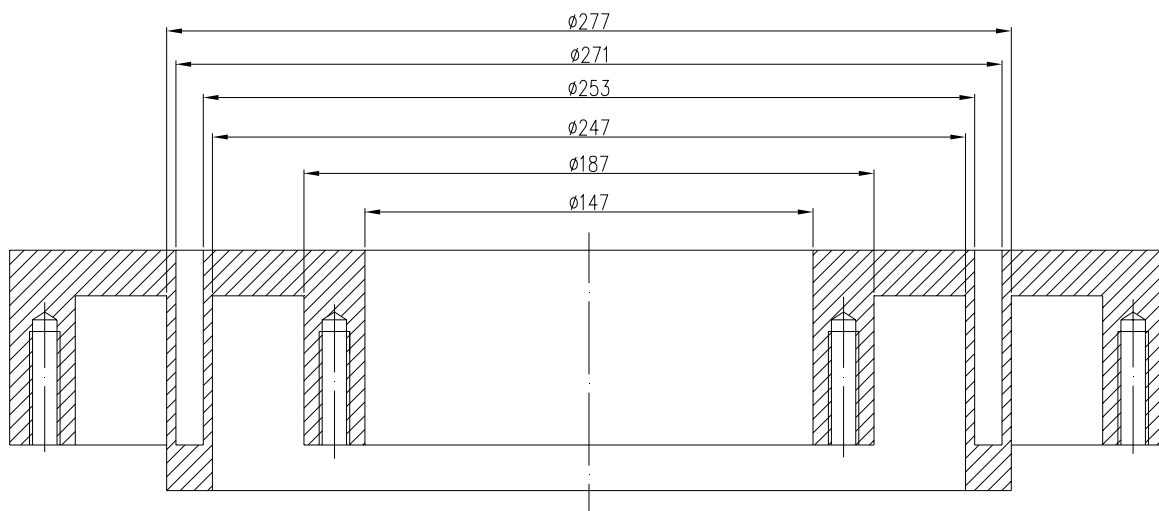
Velká příruba 1 (obr. 21) je uchycena třemi šrouby jimiž původně bylo přichyceno uzavírací víko ložiskové skříně. Při montáži se tato velká příruba přichytí jako první. Na ní se přišroubuje měrný prvek 3 pomocí šestnácti šroubů 9 (M10) přes prsteneček 2. Ostatní části zařízení se nemontují jednotlivě, ale jako kompletní celek ostatních dílů.

Do malé příruby 7 se umístí první vnější kroužek axiálního ložiska (typ: 52230) a klec s kuličkami. Následuje provlečení vnitřní trubky 5 s osazením do vnitřního kroužku ložiska 14 a umístění do malé příruby 7. Na vnitřní kroužek ložiska se usadí druhá klec, vnější kroužek a zajistí se víčkem 6, které je upevněno osmi šrouby 13 (M10) k malé přírubě 7. Na vnější závit vnitřní trubky 5 se našroubuje vnější trubka 4, která se zajistí pojistným šroubem 12 (M6) z boku. Ten zajišťuje, že nedojde k vzájemnému uvolnění částí 4 a 5.

Tento celek několika dílů se našroubuje na závit (M80) ložiskového čepu a zajistí se šroubem 11 (M24). Vnější trubce 4, která je nyní součástí smontovaného celku je umožněn rotační pohyb, to umožní její natočení a přichycení pomocí osmi šroubů 10 (M10) k vnitřní straně měrného elementu. Jako poslední se přichytí ochranný kryt 8 překrývající rotující část. Do ochranného krytu se vyvrtají 4 díry kruhového průřezu o průměru 10 mm pro vyvedení připojených vodičů k tenzometrům. Okraj vyvrtaných děr se olepí buď elektroizolační páskou nebo gumovým těsněním, které zabrání prodření izolace vodičů.

Namontováním celého zařízení dojde k zvětšení příčných rozměrů testovacího zařízení pouze o 92 mm.

5.2 Výpočet mechanického napětí měrného prvku



obr. 22 Rozměry pro výpočet mechanického napětí

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p>DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p><i>Strana 40</i></p>
---	-------------------------------	-------------------------

Měřicí zařízení je navrženo záměrně tak, aby největší hodnota mechanického napětí byla dosažena v měrném prvku a to přímo v místě umístěných tenzometrických snímačů. Pro výpočet velikosti mechanického napětí je použito rozměrů z obr. 22. Hodnota zatěžující síly byla pro výpočet stanovena na maximální hodnotu ($F = 100 \text{ kN}$). Výpočet je proveden zjednodušeným způsobem:

$$\sigma_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \times (D_6^2 - D_5^2)} = \frac{1 \times 10^5}{0,785 \times (0,277^2 - 0,271^2)} = \underline{\underline{39 \text{ MPa}}}, \quad (13)$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{S_2} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \times (D_4^2 - D_3^2)} = \frac{1 \times 10^5}{0,785 \times (0,253^2 - 0,247^2)} = \underline{\underline{42 \text{ MPa}}}, \quad (14)$$

$$\sigma_3 = \frac{F}{S_3} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \times (D_2^2 - D_1^2)} = \frac{1 \times 10^5}{0,785 \times (0,187^2 - 0,147^2)} = \underline{\underline{10 \text{ MPa}}},$$

(15)

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – mechanické napětí [MPa],

F – maximální velikost zatěžující síly [N],

S_1, S_2, S_3 – činné průřezy ocelového materiálu měrného elementu [m^2],

$D_1 - D_6$ – průměry ocelového materiálu měrného elementu [m].

Velikosti napětí σ_1, σ_2 v místech tenzometrických snímačů dosahují několikanásobných hodnot než ostatní místa měřicího zařízení. Přičemž nedojde k překročení dovolené hodnoty mechanického napětí.

5.3 Použité materiály a jejich ochrana proti okolnímu prostředí

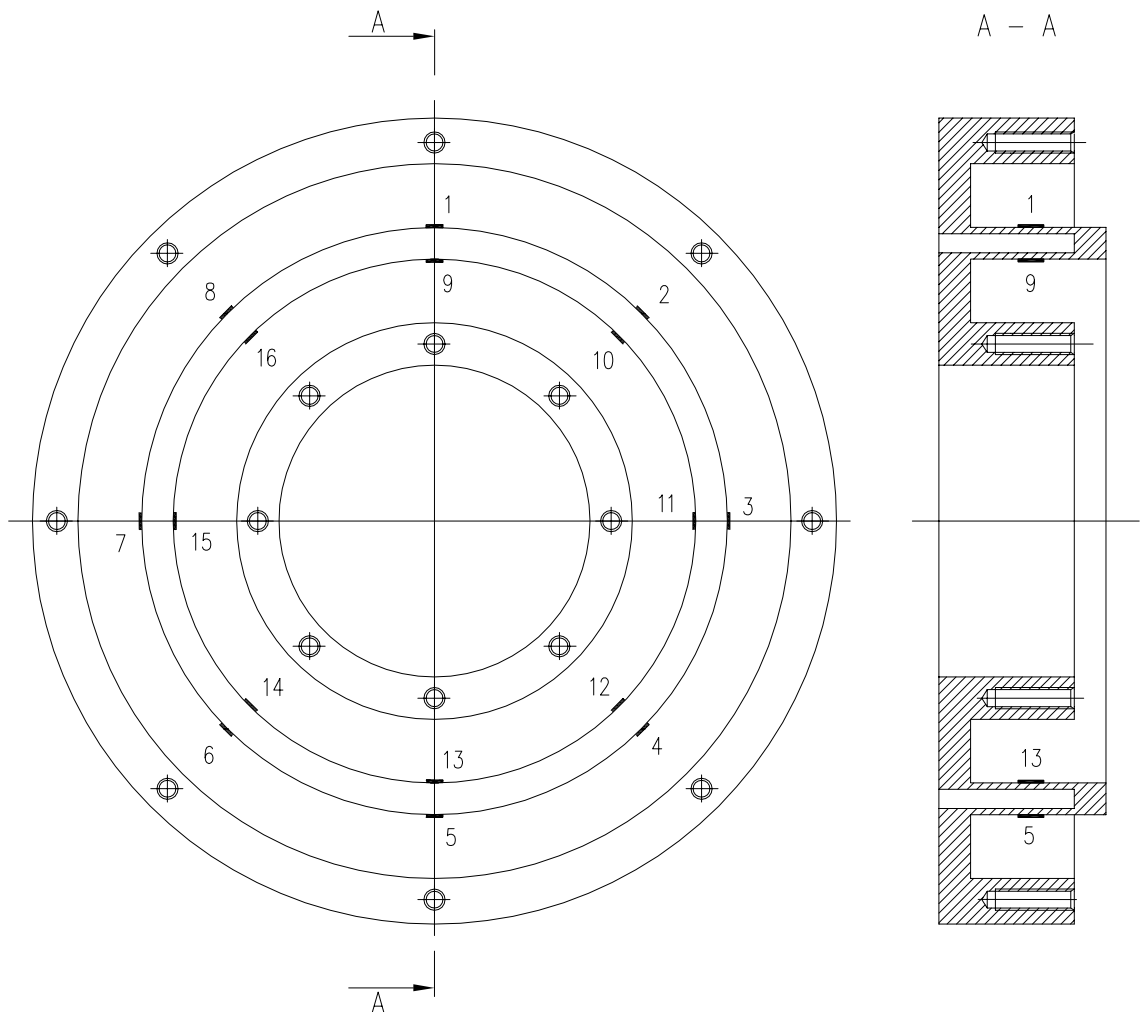
Pro součásti vysoustružené (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, – obr. 21) je doporučeno použití konstrukční oceli 11 700, která postačuje k tomu, aby nedošlo k poškození některé součásti vyvolané zatěžující silou. Dovolené napětí pro materiál 11 700 při zatěžování střídavým tahem a tlakem je 90 MPa. Po porovnání s výpočtem č. 60, kde mechanické napětí $\sigma_2 = 42 \text{ MPa}$, vychází míra proti překročení dovoleného napětí $k = 2,15$.

$$k = \frac{\sigma_{dov}}{\sigma_{skut}} = \frac{90}{42} = \underline{\underline{2,15}} \quad (16)$$

Šrouby M10 (9, 10) a šroub M24 (11) jsou dány normou ČSN 02 1101. Použité axiální ložisko je dáno normou ČSN 02 4738 a typové označení ložiska je 52230. Plechový kryt (13) lze vyrobit z pozinkovaného plechu, případně jiným nerezivějícím materiálem.

Doporučuje se místa vysoustružených součástí, které se nestýkají s jinými díly, opatřit nátěrem základové barvy.

5.4 Umístění tenzometrických snímačů



obr. 23 Pohled na umístění tenzometrických snímačů

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 42</i></p>
---	---	---

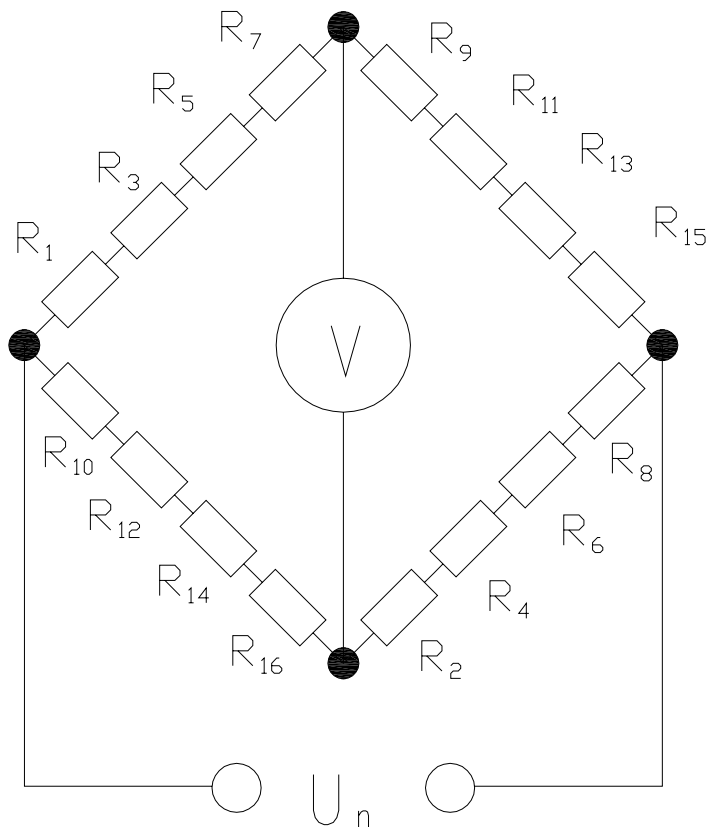
Na měrném prvku bude umístěno šestnáct snímačů, které budou umístěny v třiceti milimetrových širokých, kruhových prostorech, na tenkých stranách pláště, jak je názorně zobrazeno na obrázku 23. Snímače budou vůči sobě pootočený o 45°. Snímače označené TS_H (tenzom. snímače horní) lze jednotlivě označit R₁ až R₈ a snímače označené TS_S (spodní) budou označeny R₉ až R₁₆. Pokud bude působit příčná síla mezi kolem a rotující kolejnici, pak bude docházet k deformaci měrného elementu. Největší deformace budou dosahovány v zeslabených místech měrného prvku, která budou polepeny tenzometrickými snímači. Prvních osm tenzometrů bude označeno čísly jedna až osm a budou umístěny na vzdálenější měrné části měrného prvku od středu. Nalepení bude provedeno následujícím způsobem: první tenzometr se umístí do společné osy se závitovými otvory, jak je vidět na obr. 31. Přičemž pomyslný střed snímače (rozměry snímače jsou 13 x 6 mm) bude v hloubce 32 mm od kraje měrného prvku. Tenzometrický snímač musí být směrově nalepen tak, aby konce vodivých částí mřížky směřovaly ven z měrného elementu a bylo tak umožněno přiletování vodičů. Dalších sedm snímačů se umístí po 45° a označí se vzestupně za sebou ve směru hodinových ručiček. Druhá řada snímačů 8 až 16 budou umístěny na bližší straně měrné části měrného prvku od středu, opět hloubka středu snímače 32 mm od okraje. Při zatížení a tedy deformaci měrného prvku bude docházet ke změně odporu R₁ až R₈ v jednom směru (např. narůst) a u odporů R₉ až R₁₆ v druhém směru (úbytek).

5.5 Návrh měřícího řetězce pro optimální měřící zařízení

5.5.1 Výběr tenzometrických snímačů

Pro navržený měrný element bude použito tenzometrických snímačů s označením 1-LY11-6/120 firmy HBM. Jde o snímač standardního provedení s jednou měřicí mřížkou, která je tvořena drátkem z konstantanu. Délka mřížky je 6 mm s odporem 120 Ω. Snímač je vhodný pro feritickou ocel. Všechny uvedené vlastnosti vychází z jeho typového označení, které lze najít v souhrnném katalogu snímačů firmy HBM nebo na jejich webových stránkách.

5.5.2 Navržení elektrického zapojení tenzometrů



Obr. 24 Zapojení tenzometrů měrného elementu

Zapojení bude provedeno do plného můstku a to tak, že snímače R_1, R_3, R_5, R_7 (snímače označeny TS_H) budou zapojeno do série v jedné větvi. Snímače R_2, R_4, R_6, R_8 , jejichž mřížka bude při zatěžování měrného elementu deformována stejným směrem, budou zapojeny stejným způsobem do protilehlé větve (viz obr. 24). Větve sériových snímačů $R_9, R_{11}, R_{13}, R_{15}$ a $R_{10}, R_{12}, R_{14}, R_{16}$ se zapojí do zbylých dvou přilehlých větví. Pokud bude můstek vyvážen, tzn. že výstupní napětí bude mít nulovou hodnotu, pak musí platit: $(R_1 + R_3 + R_5 + R_7) \times (R_2 + R_4 + R_6 + R_8) = (R_9 + R_{11} + R_{13} + R_{15}) \times (R_{10} + R_{12} + R_{14} + R_{16})$, nebo $(R_1 + R_3 + R_5 + R_7) = (R_2 + R_4 + R_6 + R_8) = (R_9 + R_{11} + R_{13} + R_{15}) = (R_{10} + R_{12} + R_{14} + R_{16})$.

Pokud bude měrný element zatěžován, pak dojde ke změně odporů ΔR v jednotlivých větvích můstku a velikost výstupního napětí bude dána vztahem:

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 44</i></p>
---	---	---

$$\frac{U_M}{U_N} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_A}{R_A} + \frac{\Delta R_B}{R_B} + \frac{\Delta R_C}{R_C} + \frac{\Delta R_D}{R_D} \right), \quad (17)$$

U_M – napětí na výstupu z můstku [mV],

U_N – napájecí napětí můstku [V],

ΔR_I – součet rozdílů odporů v jedné větvi [Ω],

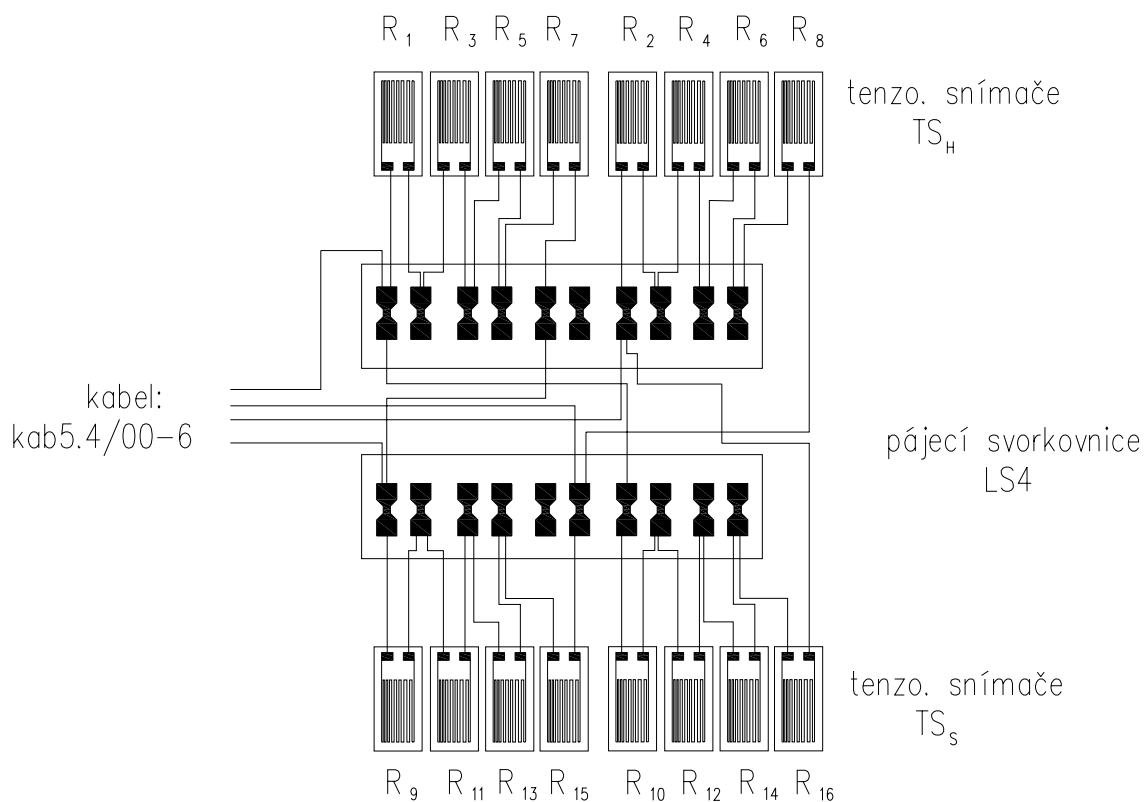
R_I – součet odporů v jedné větvi [Ω].

Sériovým zapojením čtyř snímačů v jedné větvi nedojde k čtyřnásobnému zvýšení napětí na výstupu jak by se mohlo zdát. Hodnota ΔR ve větvi sice vzroste při deformaci měrného elementu čtyřikrát, ale hodnota odporu R v jedné větvi je také čtyřnásobná, proto se tyto čtyřnásobné hodnoty ve vzájemném podílu vyruší. Tímto zapojením je docíleno kompenzace případného nesymetrického zatížení měrného elementu.

5.5.3 Pájecí svorkovnice a výběr kabelu

Na nalepené tenzometrické snímače se přiletují vodiče, které se vyvedou otvory v ochranném krytu 8 (obr.21) na společnou pájecí svorkovnici typu LS4 firmy HBM. Na obrázku 25 je znázorněno zapojení tenzometrů na pájecí destičky. Zde se vodiče přiletují, tak aby přímo vytvořily měřící Wheatstonův můstek. Pájecí lištu lze umístit na čelní, rovnou stranu ochranného krytu 8.

Na výstupní stranu svorkovnice se naletují čtyři vodiče z kabelu kab5.4/00-6 (HBM), které vedou do Velimi laboratoře tunelem umístěným v podlaze. Kabel je šestižilový, tzn. dva vodiče zůstanou nezapojeny a mohou sloužit jako záložní, nebo můžou být zapojeny jako kompenzační (viz kapitola 4.4.3.). Kabel má venkovní izolaci z PVC šedivé barvy s průměrem 5,4 mm. Každý vodič má zvlášť izolaci z polyetylénu. Průměr jedné žíly je 0,14 mm. Odpor vodiče na jeden metr je 0,13 Ω /m. Odpor izolace vodiče je 10^{12} Ω . Kabel je schopen odolovat teplotě od -30 $^{\circ}$ C do +85 $^{\circ}$ C.



Obr. 25 Zapojení tenzometrů na pájecí destičce

5.5.4 Měřicí ústředna se zesilovači

Velín laboratoře je vybaven měřicí ústřednou MGC *plus* firmy HBM. Měřicí ústředna je tvořena rámem, který je vyráběn v několika typových provedeních (obr. 26) dle požadavků zákazníka na vybavení měřicí ústředny. Součástí kompletu je zdroj (115 V/230 V), komunikační procesor CP, interaktivní displej. Do zesilovače jsou z přední strany zasunuty jednotlivé měřicí zesilovače typu ML55, ke kterým je zezadu zasunuta přípojovací deska AP, na které jsou vstupní a výstupní konektory.

Měřicí ústředna má několik typů rozhraní pro připojení k počítači (RS232, Ethernet, USB, CANbus, ProfibusDP). Umožňuje paralelní získávání dat až ze 128 kanálů na zařízení. Je schopna ovzorkovat až 19.200 měřených hodnot za sekundu na jeden kanál. Pracuje s 24 bitovým rozlišením. Měřicí ústřednu je možno ovládat manuálně na čelním displeji nebo umožňuje ovládaní přes počítač. Veškerá data se ukládají na harddisk počítače.



obr. 26 Měřicí ústředna MGC plus

Měřicí ústředna MGC plus ve Velině laboratoře je doplněna 16 zesilovači ML55B (třída přesnosti 0,03). Každý zesilovač umožňuje napájení měřícího můstku o velikosti 5 V, 2.5 V, 1 V. Vstupní napětí není tedy možno libovolně nastavovat, ale je dáno třemi velikostmi napětí s přesností $\pm 5\%$. Pro případ, kdy vyvážený můstek nedosáhl nulové hodnoty výstupního napětí, tak měřicí karta umožňuje aby nevyváženost můstku byla až 15.3 mV/V při napájení můstku napětím 1V.

5.5.5 Softwarové zpracování dat

Data jsou zpracovávány pomocí programu „AD systém“. Měřicí systém se skládá ze třech základních částí:

1. Program pro sběr, kalibraci, zpracování, zobrazení, tištění a ukládání měřených signálů v reálném čase – program Ad.exe (dále jen AD).
2. Program pro dodatečné zpracování naměřených signálů – program ADAnal.exe.
3. program pro dálkové ovládání prostřednictvím počítačové sítě pomocným programem ADnet.

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: right;"><i>Strana 47</i></p>
---	---	--

5.5.5.1 Měřicí karta pro program AD

Program AD ke své činnosti využívá měřicí kartu AD14PCI, firmy JanasCard. Karta je určena pro rychlá a přesná měření v laboratoři a průmyslu. Je vybavena signálovým procesorem ADSP2186 fy. Analog Devices s výpočetním výkonem 40 MIPS (milion instrukcí za sekundu), který zajišťuje řízení všech funkcí karty a zpracování naměřených dat. A/D převodník s rozlišením 14 bitů je galvanicky oddělen od obvodů PC, což výrazně snižuje problémy s rušením a rozšiřuje možnosti karty.

Technické parametry měřicí karty AD14PCI:

- rozlišení: 14 bitů, odstup s/š 74 dB, vestavěný Track/Hold
- max. vzorkovací kmitočet: 250 kHz
- ef. hodnota šumu: typ. 0.6 LSB pro zesílení 1 až 4, 1.1 LSB pro zesílení 8
- integrální nelinearita: typ ± 2 LSB
- diferenciální nelinearita: typ ± 1.5 LSB
- ofset: max. 0.5 mV + 2 LSB
- chyba rozsahu: max. 3 LSB
- počet analogových vstupů: 32
- vstupní rozsah: ± 10 V, zesílení volitelné 1, 2, 4, 8 x
- spouštění: programově, TTL signálem nebo úrovní na vstupu
- časovač: rozsah 16 bitů krok časovače 0.1 μ s
- obvody přerušení: zdroj přerušení – zvolený počet dat
- paměť: FIFO max. 8 Kslov

5.5.5.2 Vlastnosti programu AD

Program AD umožňuje měřit současně až 32 kanálů (při použití 2 měřících karet až 64 kanálů), při maximální vzorkovací frekvenci $f_s = 250000 / \text{počet zapnutých kanálů}$ vzorků za sekundu (f_s je společná pro všechny kanály). V programu je možné nadefinovat až 128 signálů. Každý signál může být zpracován až čtyřmi po sobě jdoucími funkcemi a takto zpracovaný signál může být znovu využit jako vstup pro další nadefinovaný signál, čímž je

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 48</i></p>
---	---	---

dosažena značná variabilnost zpracování. Každý signál může být zobrazován na monitoru, tištěn na tiskárnu a zapisován na pevný disk. Výstupní formát zapisovaných dat může být binární (každý vzorek je zaznamenán jako 4 Byte, Single precision) nebo textový (ASCII). Každý vzorek je zaznamenán jako patnáct znaků. Binární formát je vhodný pro Off-line zpracování programem ADAnal, textový formát je vhodný pro zpracování libovolným vyhodnocovacím programem, který umí načítat textová data (např. MS Excel, Matlab apod.)

Program AD úzce spolupracuje s programem Microsoft Excel – vytváření Log souboru, není však nutnou podmínkou pro základní funkce programu AD. Při měření automaticky čísluje jednotlivé zkoušky (Test ID), a tato čísla společně s dalšími údaji (datum, čas, popis zkoušky) přenáší do Log souboru, čímž je zajištěna přesná evidence všech zkoušek. Dále je možné program AD dálkově ovládat prostřednictvím počítačové sítě (protokolem TCP-IP) pomocným programem ADNet.

Parametry programu AD:

- Max. počet měřených kanálů: 32 (64 při 2 měřících kartách)
- Max. vzorkovací kmitočet: 250 kHz
- Max. počet zpracovaných signálů: 64
- Max. kmitočet ukládání dat: 250kHz
- Max. počet obrazovkových monitorů: 128
- Max. délka výstupního datového souboru: 2 GByte

Systémové požadavky:

Pro uspokojivou funkci programu je požadováno alespoň Hardware **HW**:

- Pentium II 300 MHz
- RAM 128 MByte
- HD 100 MByte
- VGA 1024*768
- volný PC slot

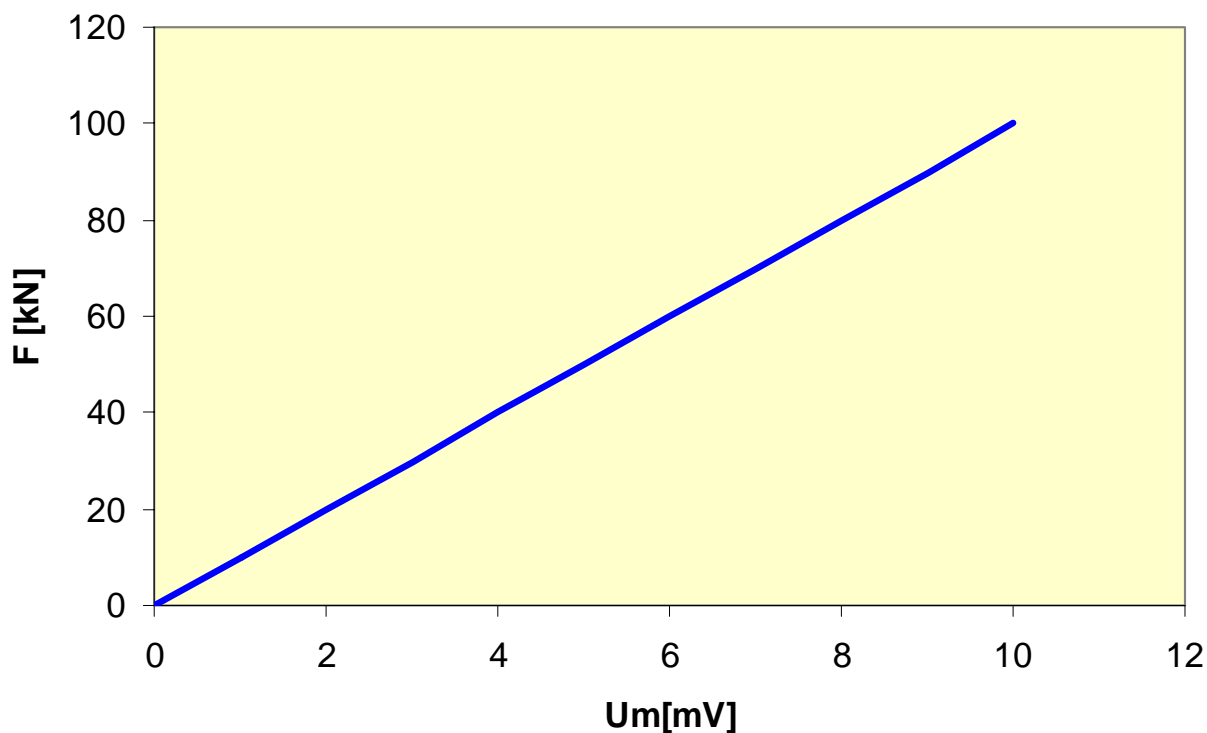
Software **SW**:

- MS Windows 95, 98, 2000, XP
- MS Excel

Vhodná je CD-RW mechanika, tiskárna s vysokým rozlišením (barevná).

5.6 Kalibrace měrného prvku

Než dojde k samotnému umístění měrného elementu s tenzometry na určené zatěžované místo, tak je zapotřebí provést kalibraci. To znamená zjistit velikost výstupního napětí z můstku při předem známé velikosti síly. Zkušební měření se provádí na více stupních zatížení. Cílem je získání lineární funkce (viz obr. 27). Při zjišťování závislosti výstupního napětí na velikosti síly se používá tzv. zkušebních stavů „dynamických standů“. Pomocí těchto zařízení lze nastavit jakoukoliv požadovanou statickou i dynamickou hodnotu zkušební síly.



obr.27 Grafický příklad požadované lineární závislosti zatěžující síly na výstupním napětí z můstku

Výstupní napětí se pohybuje v milivoltech, proto je v celém řetězci použito zesilovače (ML 55B), který je napájen již zmiňovanou měřicí ústřednou MGC plus. Dále se signál upravuje z analogového signálu na digitální a následně se výsledná data ukládají a dále zpracovávají v počítači.

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: right;"><i>Strana 50</i></p>
---	---	--

Již při kalibraci je zapotřebí dbát na to, aby nedošlo k zkreslení výstupních dat z můstku, mluví se o tzv. nejistotách měření.

Mezi nejistoty měření patří:

- Délka kabelu – s prodlužující se délkou vodiče roste jeho odpor a dochází k rozdílu výstupního napětí z tenzometru a vstupního napětí do zesilovače.
- Umístění tenzometru - tenzometry se umísťují do kritických míst konstrukce, tam kde dochází k největšímu namáhání. V případě umístění snímačů do jiných míst nemusí dojít k zjištění největšího namáhání a tím stanovení mezní pevnosti či životnosti zkoušené konstrukce.
- Špatné nalepení – optimální množství a stejnoměrné rozložení lepidla po celé ploše snímače je důležitým faktorem. Při větším množství lepidla může dojít k tomu, že deformace snímače nebude odpovídat deformaci zkoušeného místa konstrukce. Naopak malé množství lepidla může vést k jeho odlepení, případně opět k neúměrné deformaci měrného elementu. Optimální poměr přilepené plochy mřížky k jejímu průřezu zajišťuje účinnější odvod tepla vznikajícího odporovým ohřevem, takže jimi může procházet větší proud a tedy poskytují vyšší výstupní signál.
- Studené spoje – špatnou technologií pájení může dojít ke vzniku přechodového odporu, který vede ke zkreslení výstupního signálu.
- Nelinearita kalibrační charakteristiky – cílem je přímková závislost mezi výstupním napětím a zjišťovanou veličinou (mechanické napětí, síla, tlak, ohybový a kroutící moment). Pokud se lineární charakteristika změní na regresní nebo progresivní křivku, tak dojde k nepřesnosti výsledků zjišťované veličiny.
- Elektrické a magnetické pole - často způsobuje rušivý signál v měřícím obvodu. Tento problém nastává v blízkosti jiného elektrického vedení vedeného paralelně nebo v blízkosti elektrických motorů. Proto se používá stíněného kabelu s nízkou hodnotou kapacitního odporu.

Kalibraci měrného elementu lze uskutečnit na dopravní fakultě Jana Pernera v laboratoři elektro-hydraulického dynamického standu.

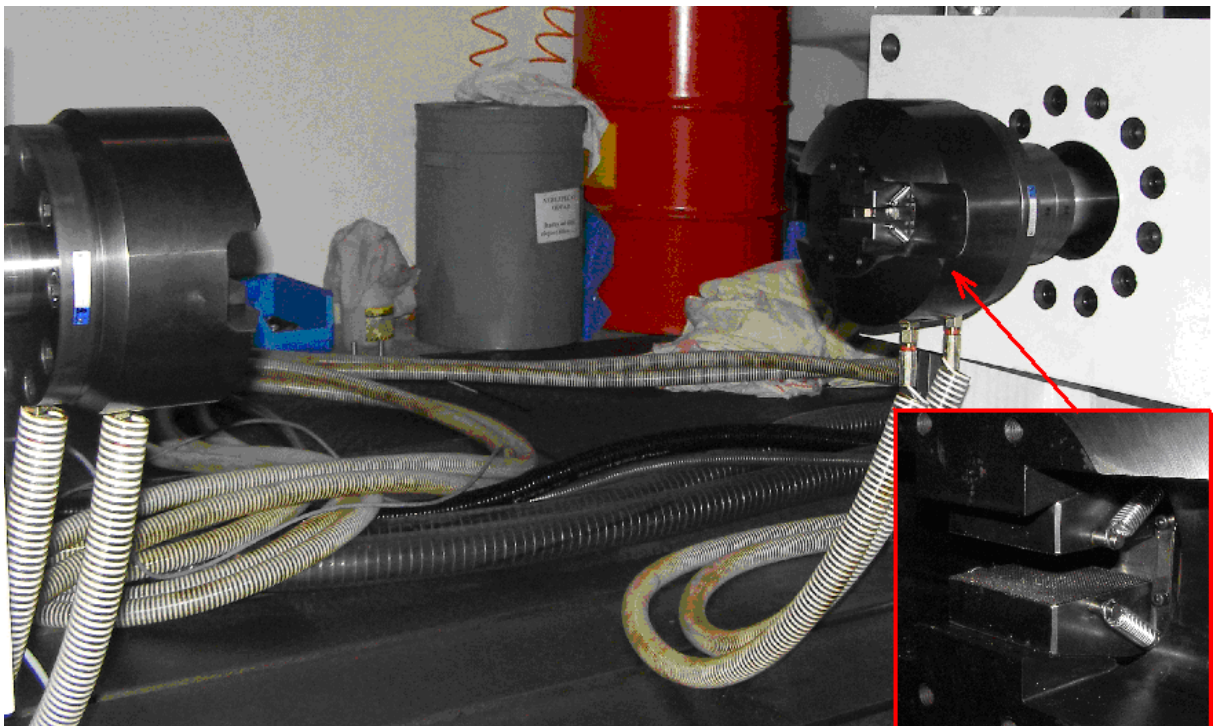
5.6.1 Dynamický stand na DFJP

5.6.1.1 Elektrohydraulické zatěžovací válce

Hydromotory s hydrostatickými ložisky jsou vybaveny vestavěným snímačem polohy, připojovací deskou pro montáž dvou servoventilů a hydraulickými akumulátory.

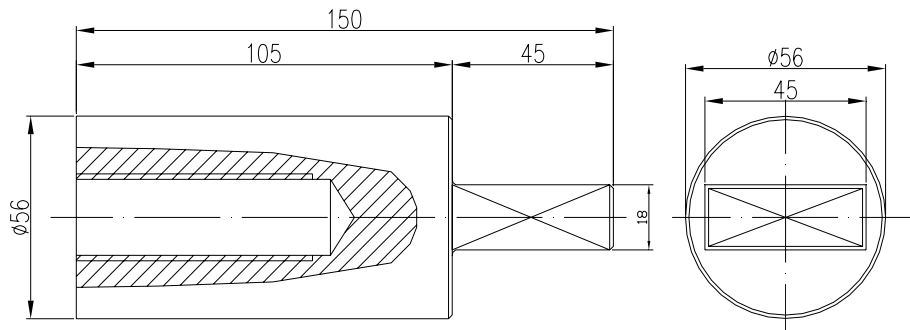
Hydromotor 100kN je vybaven dvěma high response servoventily 38l/min a je určen též pro zatěžování vysokými frekvencemi.

Hydromotor 200kN je vybaven jedním SV 63l/min. Pozice pro druhý SV je zaslepena a může být v budoucnosti využita. Hydromotor 200kN je vybaven stěracím kroužkem na přední přírubě – zabraňuje úniku oleje z hydromotoru montovaného pístnicí dolů po vypnutí odsávacího čerpadla.



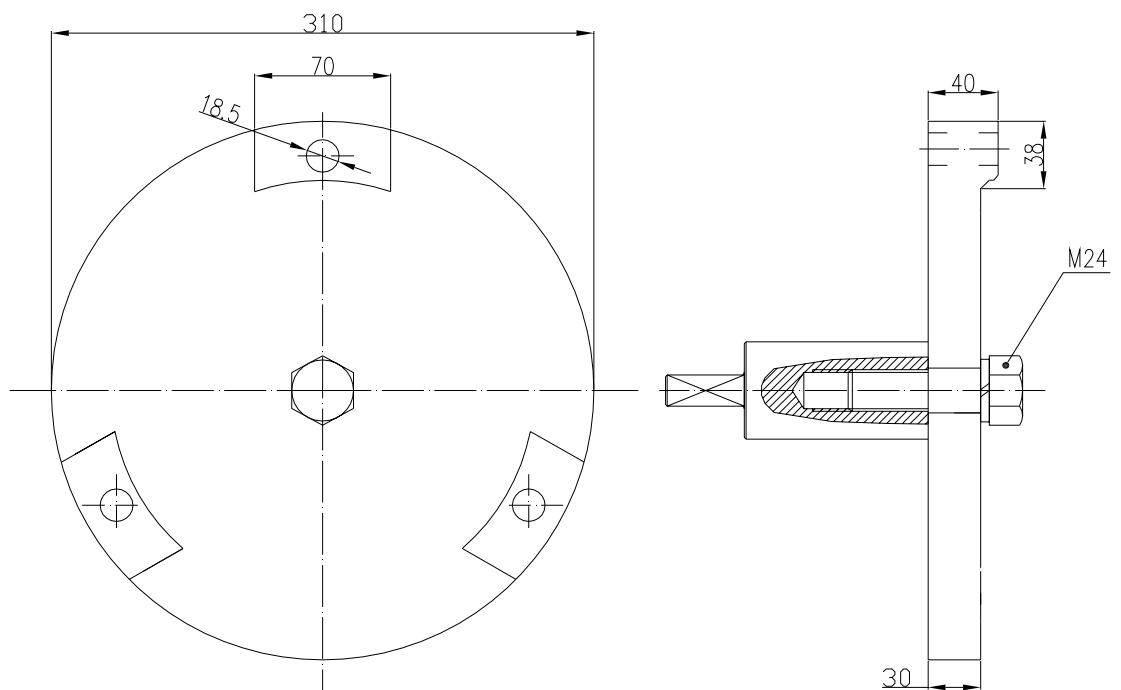
obr. 28 Pohled na hlavu hydromotoru 100 kN s detailem upínacích čelistí

5.6.2 Upevnění nástavců I a II k měřicímu zařízení



obr. 29 Kalibrační nástavec I

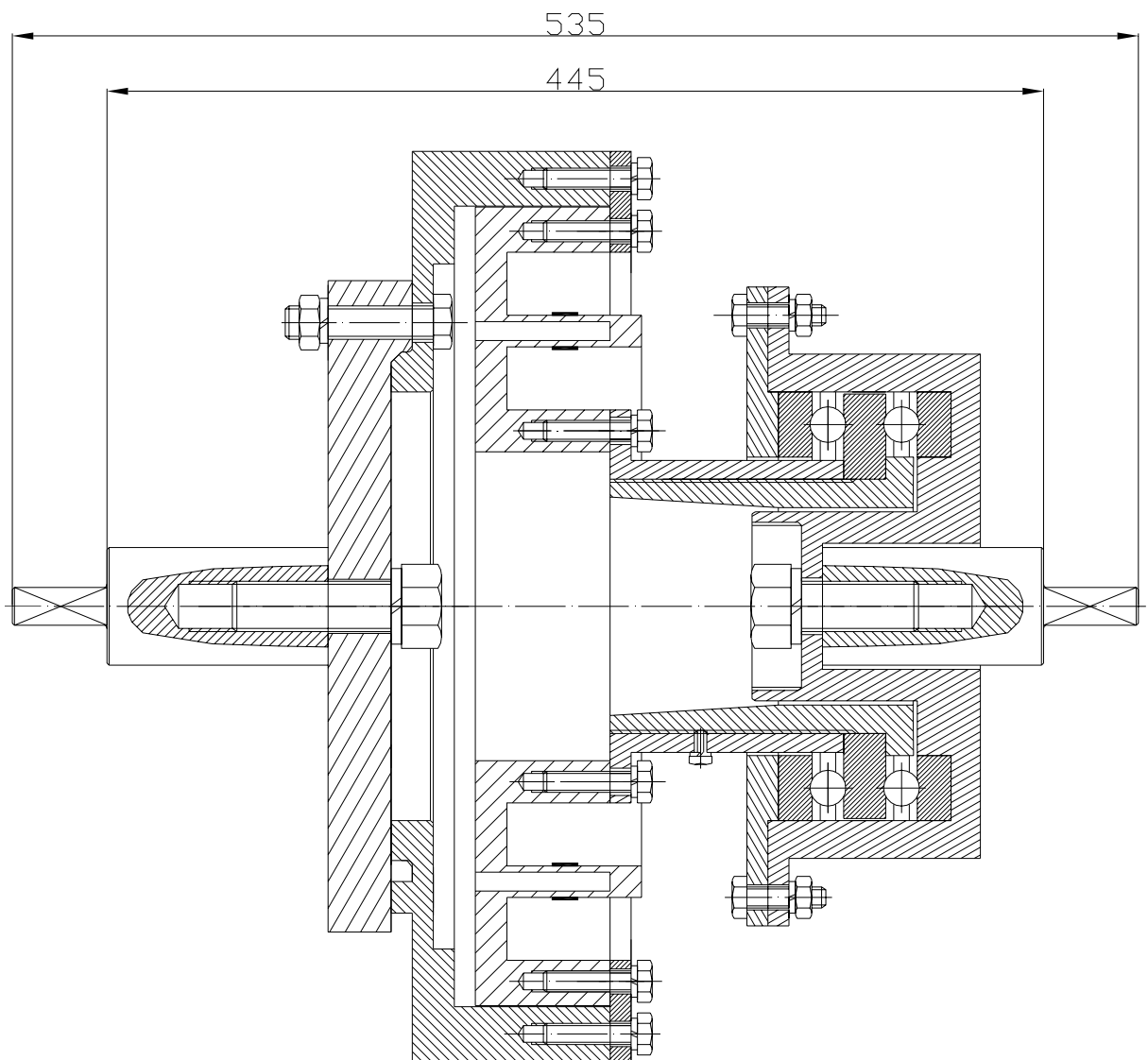
Pro kalibraci měrného elementu bude použito hydromotoru 100 kN (viz obr. 28). Je možné provést kalibraci měrného elementu s kompletním měřicím řízením. Pomocí šroubu 11 (obr. 21) se uchytlí kalibrační nástavec I (obr. 29) do vnitřního prostoru malé příruby 7 (obr. 21). Před uchytením nástavce I je zapotřebí ještě odmontovat ochranný kryt 13.



obr. 30 Kalibrační nástavec II

Z druhé strany měřicího zařízení se uchytlí kalibrační nástavec II, který je složen z kalibračního nástavce I a kruhové desky (viz obr. 30). Kruhová deska se k měřicímu zařízení připevní třemi šrouby M16.

5.6.3 Měřicí zařízení s nástavci na kalibraci



obr. 31 Komplet pro kalibraci

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 54</i>
--	------------------------	------------------

Ještě před tím než se uchytí měřicí zařízení s kalibračními nástavci I a II do čelistí zkušebního zařízení je zapotřebí nastavení přesné polohy zatěžujících válců. Tyto zkušební válce jsou upevněny k odpruženému upínacímu poli (4x6 m) pomocí šroubů. Zatěžující válce se tedy nastaví, tak aby vzdálenost okrajů obou čelistí byla 446 mm. Poté se napevno přišroubují k upínacímu poli. Nyní lze z boční strany zatěžujících válců nasunout měřicí zařízení do čelistí hlav.

Kalibrací měrného elementu s celým zařízením se ověří jeho funkčnost. Ověří se zda nedošlo k poddimenzování některé části měřicího zařízení.

Velikost zatěžující síly se na dynamickém standu lineárně zvyšuje až na maximální dovolenou sílu (100 kN). Současně je napájen Wheatstonův můstek (5 V, 2.5. V, nebo 1 V) s tenzometry. Při zvyšování zatěžující síly se zvyšuje i velikost výstupního napětí, které je potom v provozu měrného zařízení ukazatelem velikosti příčné síly mezi kolem a kolejnicí.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 55</i>
--	------------------------	------------------

6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout několika způsobů měření vnější zatěžující příčné síly mezi kolem a kolejnicí. Ale ještě předtím než jsem začal sepisovat veškeré informace a kreslit náčrtky možných řešení zařízení, bylo zapotřebí vyřešit některé otázky. Zaprvé, kde je možno na testovacím zařízení takové síly měřit. Zadruhé, jakými způsoby lze sílu měřit a v neposlední řadě, který způsob řešení lze považovat za nevhodnější variantu.

Umístění měřicího zařízení vedlo ke dvěma možným variantám. První řešení je na straně vnějšího zatěžujícího válce a druhé na místě ložiskového čepu rotující kolejnice. Za dobu řešení této práce bylo navrženo sedm možných způsobů řešení měřicího zařízení. Do diplomové práce byly vybrány čtyři nevhodnější varianty. Z toho dvě na straně zatěžujícího válce a dva způsoby u vyčnívajícího ložiskového čepu.

Při řešení otázky, jakým zařízením, či jakým způsobem měřit sílu obecně jsem se snažil využít pomoci u vyučujících z předchozích let, kteří nás vyučovali technickým předmětům (Pevnost a Pružnost, Mechanika), ale i názorů technických pracovníků, kteří by mohli s podobnou problematikou přijít do styku. Poté jsem prostřednictvím internetu hledal firmy zabývající se tímto problémem, z nichž jsem vybral produkty a informace od brněnské pobočky firmy HBM. Veškeré poskytnuté podklady byly pouze v němčině nebo angličtině, proto bylo zapotřebí nejprve přeložení materiálů do českého jazyka a poté vybrané informace zařadit do diplomové práce.

V průběhu práce muselo dojít k rozhodnutí, které z řešení bude vybráno pro detailní rozpracování. Mezi rozhodující kritéria patřila celková pořizovací cena, časová náročnost, prostorové nároky, technická realizovatelnost a především ekvivalence měřené velikosti síly se silou skutečnou.

Patnáct dní před svázáním diplomové práce bylo ještě provedeno experimentální měření vnější síly na dvouramenné páce pomocí nalepených tenzometrů. Výsledky tohoto experimentu jsou zaznamenány v grafické podobě v oddílu přílohy. Na grafu prvního a druhého měření v časovém okamžiku prvních dvou sekund je vidět značný rozdíl sil mezi přesnou hodnotou F_y a sil F_{yT_1} a F_{yT_2} . Tento rozdíl je zapříčiněn momentem čepového tření, působením proti směru natáčení dvouramenné páky, obecně nazývané pasivními odpory. Tyto odpory představují ztráty, které snižují účinnost silového zařízení. Energie vzniklá působením těchto odporů se přeměňuje v teplo a uvolňuje se do okolí. Jde o nežádoucí účinek. Na

<p style="text-align: center;">UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová</p>	<p style="text-align: center;">DIPLOMOVÁ PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Strana 56</i></p>
---	---	---

grafech všech tří měření lze pozorovat i znatelný rozdíl směrnice při nárůstu a poklesu zatěžující síly. Což může být zapříčiněno nepřesností nalepených snímačů vůči ose dvouramenné páky, ale i nepřesností nalepení mezi snímači T_1 - T_2 a T_3 - T_4 . Před třetím měřením došlo k přepočtu nastavení vstupních hodnot tak, aby nárůst všech zaznamenaných veličin byl z jednoho bodu. Při snižování zatěžující síly až na nulovou hodnotu však došlo k tomu, že porovnávané měřené hodnoty se dostali do záporných hodnot. Pokud přiložíme list grafu z měření č. 3 přes list grafu z měření č. 1, zjistíme, že jde o stejný rozdíl, jaký byl u prvního měření na začátku měření. Za další negativní znak lze považovat kolísání měřené veličiny při zvyšování a snižování zatěžující síly, což je zobrazeno kostrbatostí F_{yT_1} a F_{yT_2} na všech třech grafech.

Měření vnější zatěžující příčné síly na dvouramenné páce pomocí tenzometrických snímačů je nevhodným způsobem. Vnější zatěžující sílu je zapotřebí měřit v místech, kde nedochází ke zkreslení měřené veličiny vznikem pasivních odporů.

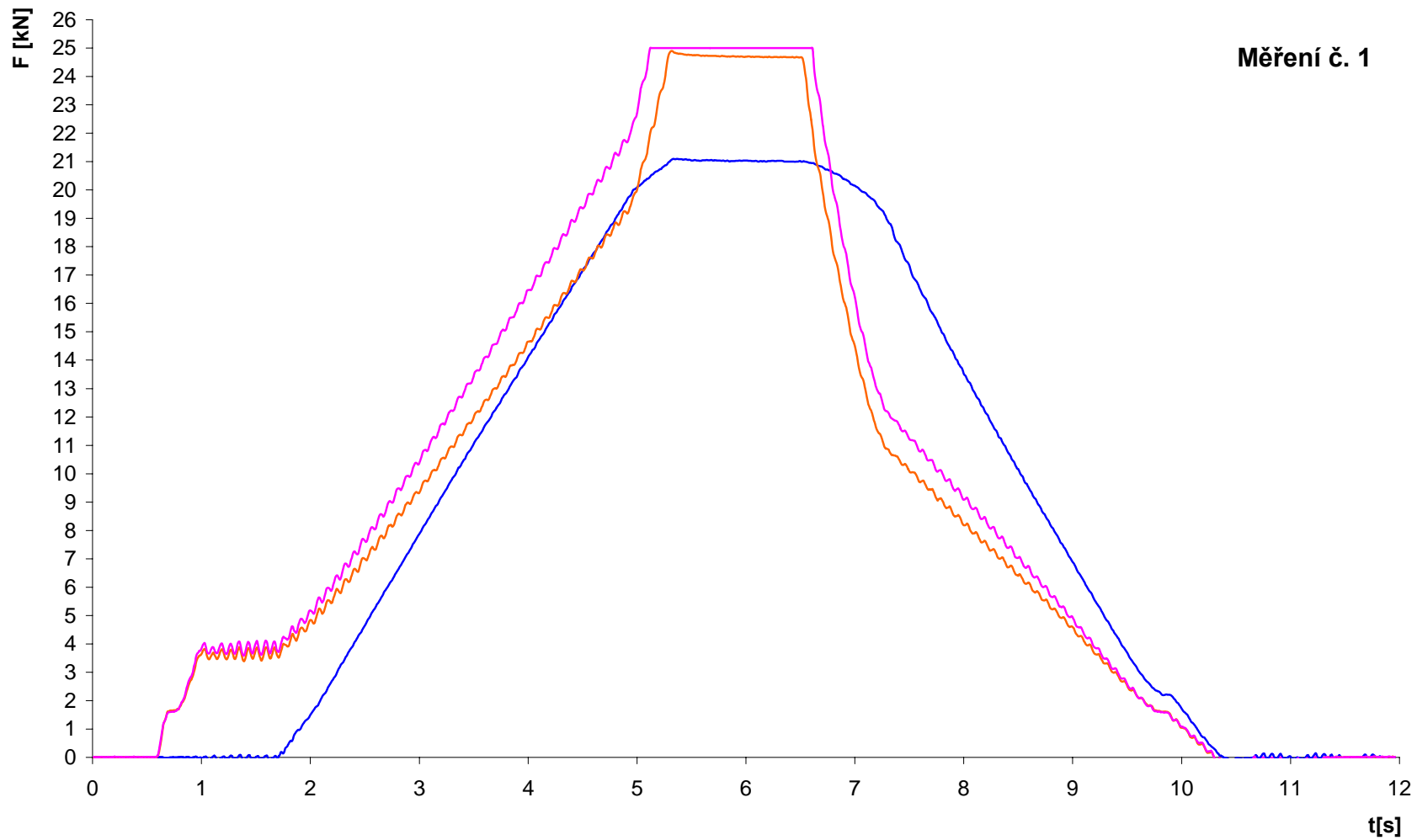
Detailně zpracované měřicí zařízení bylo nakonec vybráno především pro osvědčený typ měrného prvku, který se podobá měrným prvkům instalovaným v siloměrných snímačích různých firem. Základním rozdílem je zde volná střední kruhová část, která umožňuje průchod ložiskovému čepu a současně klade jen minimální prostorové nároky. Finanční náročnost je také menší, neboť cena kompletovaného snímače je aktuálně 53.950 Kč. Kompletní cena za tenzometrické snímače, lepidlo, odmašťovadlo, letovací lišty, krytí a kabel je 9.885 Kč. Přičemž cena a i časová náročnost na vysoustružení a opracování ostatních součástí všech typů měřících zařízení je srovnatelná. Je zapotřebí brát v úvahu, že pokud bude působit síla mezi neotáčející se rotující kolejničí a kolem, pak bude docházet ke vzniku pasivních odporů v ložiskové skříni mezi valivými elementy a vnitřním kroužkem ložiska a tím dojde i k nepřesnostem v měření. Tyto odpory zaniknou v okamžiku, kdy se rotující kolejnice začne otáčet.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	DIPLOMOVÁ PRÁCE	<i>Strana 57</i>
--	------------------------	------------------

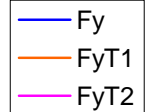
7. Použitá literatura

- [1] Švejnoch, V.: *Teorie kolejových vozidel*, Praha, ČVUT Praha, 1. vydání, 1991, s.251, ISBN 80-01-00622-0.
- [2] IZER, J.: *Kolejové vozy*, Bratislava: Alfa, 1985,s.378, ISBN 63-870-84.
- [3] Hartwig, P.: *Konstruktive Anpassung des an der Universität Pardubice vorhandenen Eisenbahnradprüfstand*. [Diplomová práce], Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice, Pardubice, 2006.
- [4] Mrňák, L.: *Mechanika - pružnost a pevnost*, Praha: SNTL, 3. vydání, 1980, s.366, ISBN 04-005-80.
- [5] Vávra, P.: *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické*, Praha:SNTL, 2. vydání, s.671, ISBN 04-234-84.
- [6] Kletečka, J.: *Technické kreslení*, Brno: Computer Press, 2. vydání,, 2004, s.193,ISBN 80-722-6542-3.
- [7] Hoffmann, K.: *Practical hints for the installation of strain gages*, Darmstadt (Německo), 4. vydání,1996, s.55.
- [8] www.hbm.cz
- [9] www.exlar.cz

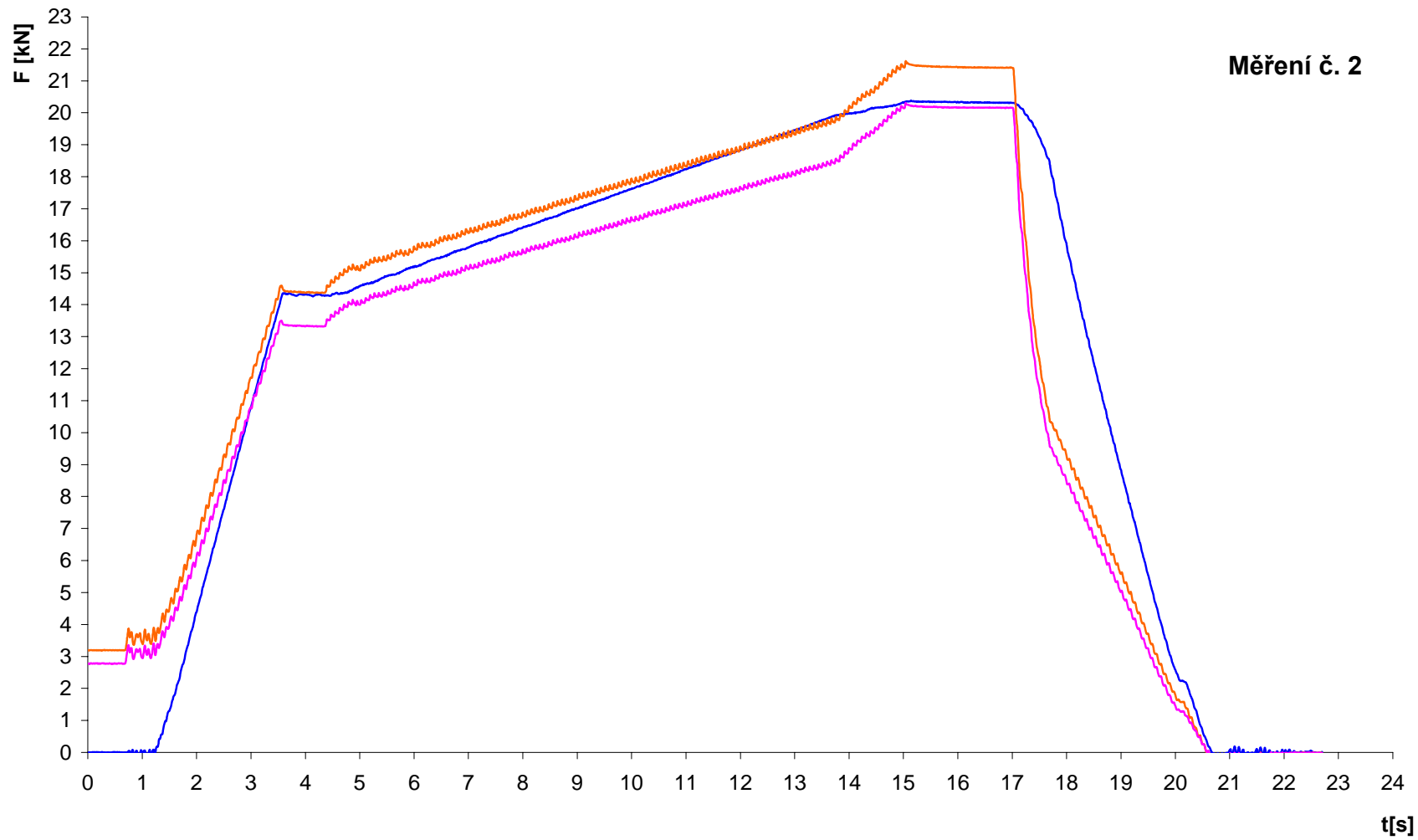
Přílohy



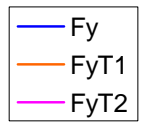
Měření č. 1



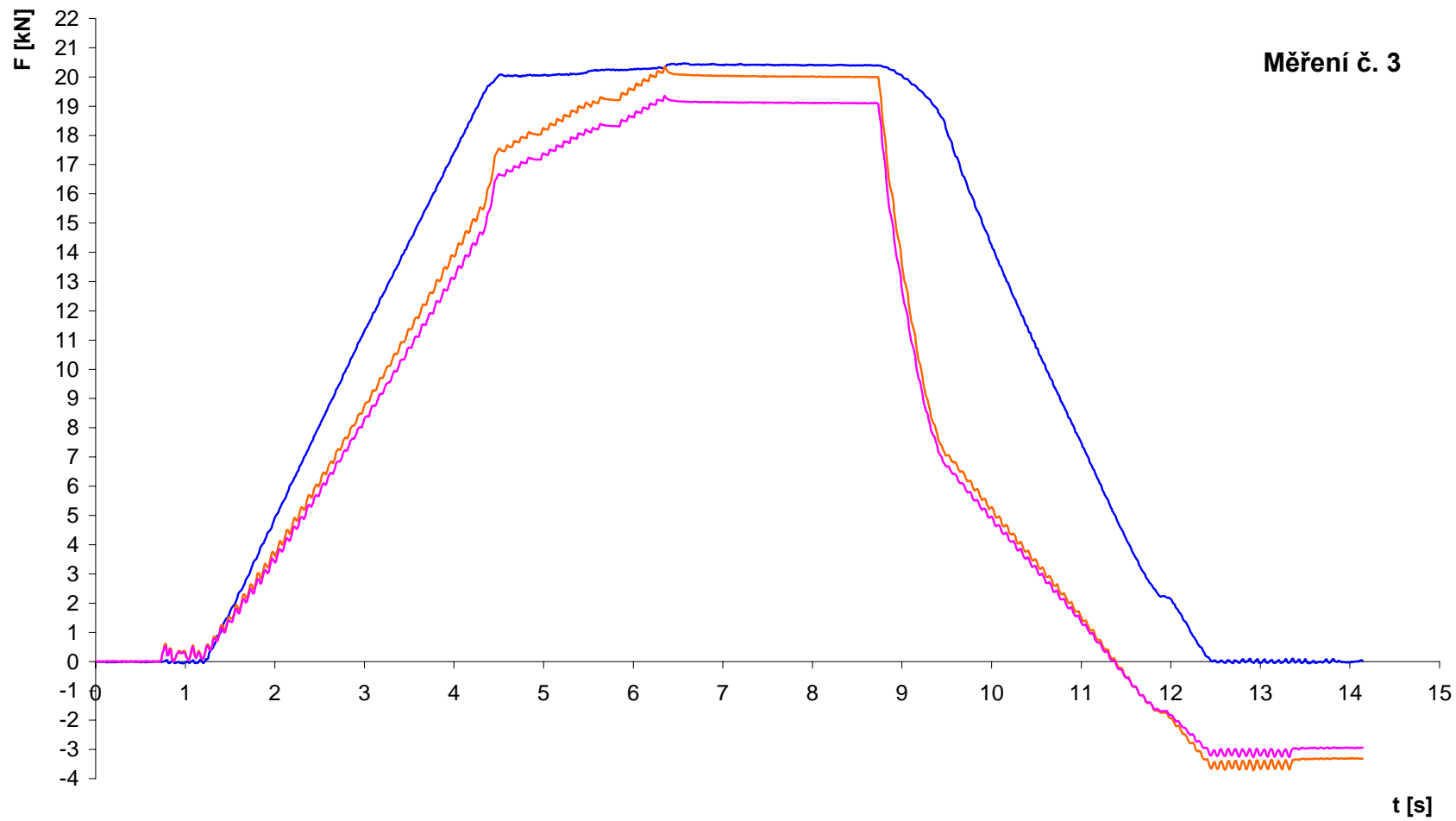
Příloha 1



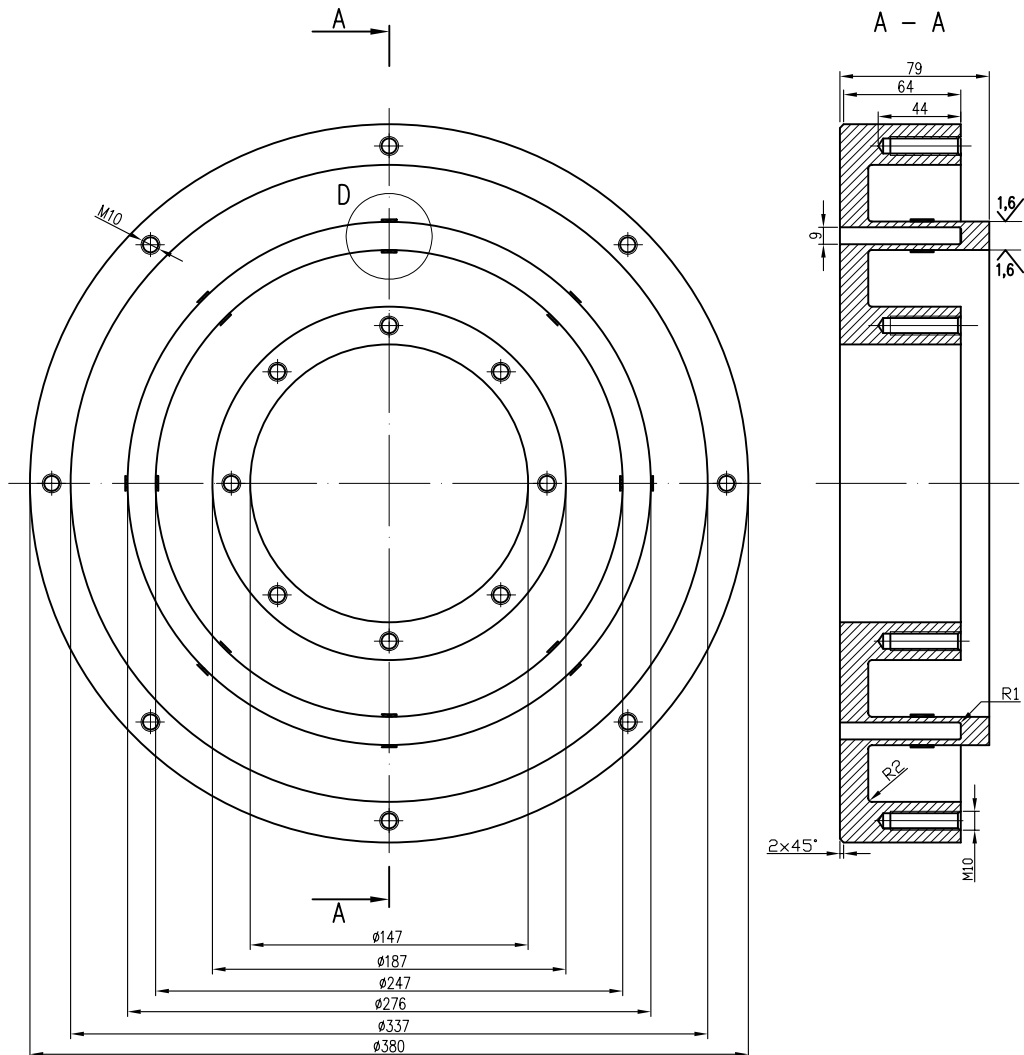
Měření č. 2



Příloha 2



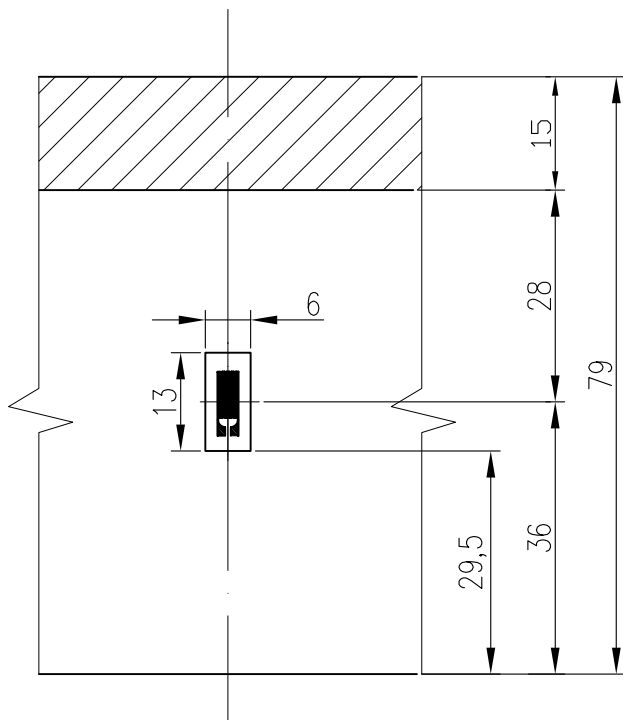
3,2 (1,6)



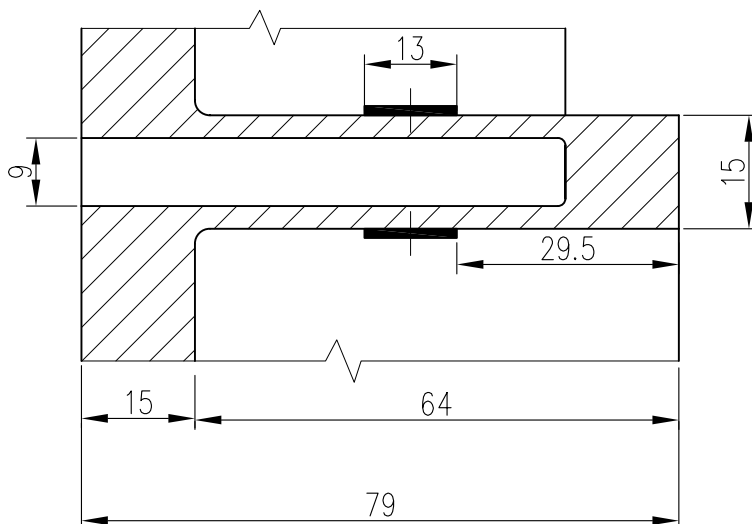
Poznámka: Detail D je na výkrese 3

MATERIÁL	11700	INDEX	ZEMĚ	DATUM	PODPIS
PROJEKTOVAV					
TOLEROVÁNÍ ISO	ISO 8015	ANO			
PŘESNOST	ISO 2768	m K			
PROMĚTÁNÍ		HMOTNOST	27,6 kg	MĚŘÍTKO	1:2
KONSTR.	HYBRANT	SCHVÁLIL	SESTAVA	KUSOVNÍK	
KONTR.		DATUM	30.04.2008	STARÝ V.	
DFJP		NÁZEV MĚRNÝ ELEMENT			
		ČÍSLO VÝKRESU 2		LISTO 3	LIST 2

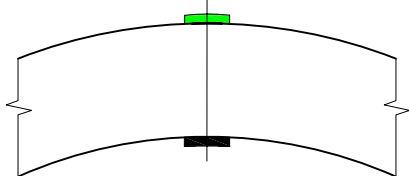
pohled shora:



pohled zleva:



pohled zepředu:



MATERIÁL		INDEX		ZMĚNA		DATUM		PODPIS	
POLOTOVAR									
TOLEROVÁNÍ ISO									
PŘESNOST									
PROMÍTÁNÍ						HMOTNOST	27,6 kg	MĚŘÍTKO	1:1
KONSTR.	HYBRANT	SCHVÁLIL		SESTAVA		KUSOVNÍK			
KONTR.		DATUM	30.04.2008	STARÝ V.					
DFJP		NÁZEV Detail D							
		ČÍSLO VÝKRESU 3							
		LISTŮ 3 LIST 3							