

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Lukáš Kugler

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh úprav a dovybavení statického adhezoru

Bc. Lukáš Kugler

Diplomová práce

2017

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Kugler, DiS.**
Osobní číslo: **D14506**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Návrh úprav a dovybavení statického adhezoru**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Kvazistatické zkoušky pneumatik - současný stav
2. Metody zjišťování adheze ve styku kolo - vozovka (podložka)
3. Popis stávajícího stavu statického adhezoru
4. Návrh úprav statického adhezoru
5. Návrh zkoušek na statickém adhezoru
6. Závěr - Zhodnocení úprav a přínos pro praxi

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] KRMELA, Jan. Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I. 1. vydání.

Brno: Tribun EU, 2008. ISBN 978-80-7399-365-8.

[2] Vlk, František. Podvozky motorových vozidel. 3. vydání, Brno: vydavatelství Vlk,

2006. ISBN 80-239-6464-X

[3] Kolektiv autorů: Gumárská technológia II. Púchov, Matador GC TECH, Slovenská

republika: 2003, 374 s. ISBN 80-88914-85-X

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Pokorný, Ph.D.

Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání diplomové práce: 22. února 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 27. května 2016



doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 22. února 2016

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 19. 01. 2018

Lukáš Kugler

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Pokornému, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce. Mé poděkování patří též mé přítelkyni, rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

ANOTACE

Hlavním cílem diplomové práce je návrh dovybavení zařízení pro měření parametrů pneumatik a jejich vzájemných závislostí. Návrhy budou zaměřeny na statický adhezor SA-1 vlastněný Univerzitou Pardubice. Jedním z dílčích úkolů je navržení metodiky pro měření na upraveném přístroji. Výstupem práce je soubor konstrukčních detailů a popisu vybraných testů parametrů pneumatik.

KLÍČOVÁ SLOVA

Diagonální pneumatika, radiální pneumatika, konstrukce pneumatiky, kostra, běhoun, dezén, pryžová směs, výroba pneumatiky, tvrdost pneumatiky, rozměry pneumatiky, zatížení, modul pružnosti, huštění, stopa pneumatiky, statický adhezor, adheze.

TITLE

Proposal of modifications and retrofitting static adhesor

ANNOTATION

This Master's thesis deals with proposal of modifications and retrofitting static adhesor for measuring tyre parameters and their interdependencies. The main focus will be on the static adhesor SA-1 owned by the University of Pardubice. One of the tasks is to design measurement methodology on this device. The result of the thesis is a set of design details and descriptions of selected tyre parameters tests.

KEYWORDS

Diagonal tyre, cross-ply tyre, bias-ply tyre, radial tyre, tyre construction, tyre structure, thread, rubber compound, tyre manufacture, tyre hardness, tyre dimensions, vertical load, stiffness module, inflation, tyre print, static adhesor, tyre adhesion.

OBSAH

OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 PNEUMATIKY	11
1.1. Historický vývoj pneumatik.....	11
1.2. Funkce pneumatiky	13
1.3. Konstrukční uspořádání pneumatik.....	16
1.4. Zkoušky pneumatik.....	18
1.5. Diagonální pneumatiky	21
1.6. Diagonální pneumatiky s nárazníkovým pásem	23
1.7. Radiální pneumatiky	23
1.8. Kvazistatické zkoušky pneumatik současný stav.....	25
1.9. Deformace pneumatik	26
1.10. Deformační charakteristiky pneumatik	28
2 Metody zjišťování adheze ve styku kolo - vozovka (podložka).....	32
2.1. Adhezní elipsa.....	33
2.2. Metody měření adhezní síly	34
2.3. Výpočet součinitele podélného tření:.....	35
2.4. Měření mikrotextury povrchy vozovky	36
2.5. Měření makrotextury povrchu vozovky.....	37
3 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU STATICKÉHO ADHEZORU	38
4 NÁVRH ÚPRAV STÁVAJÍCÍHO STATICKÉHO ADHEZORU.....	40
4.1. Měření posuvu zatěžovacího ramena	41
4.2. Měření posuvu desky	45
4.3. Měření sil působících na posuvný stůl.....	48
4.4. Náhrada snímačů EMS40 snímači Utilcell M350.....	50

4.5.	Měření síly zatěžujícího ramena	54
4.6.	Měření dílenskou vahou	54
4.7.	Snímač umístěný uprostřed pracovní desky	55
4.8.	Tenzometrické snímače umístěné ve středové konzoli	58
4.9.	Měření rozložení tlaku mezi pneumatikou a podložkou	60
4.10.	Hydraulické zařízení	63
5	ZKOUŠKY NA STATICKÉM ADHEZORU	67
5.1.	Zpracování signálů	67
5.2.	Postup měření na statického adhezoru	69
5.3.	Stanovení statické radiální tuhosti a statického poloměru	70
5.4.	Postup zkoušky	71
5.5.	Vyhodnocení výsledků zkoušky	72
5.6.	Náležitosti protokolu zkoušky	73
	ZÁVĚR	74
	POUŽITÁ LITERATURA	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM PŘÍLOH	83

ÚVOD

Tématem této práce je návrh dovybavení zařízení pro měření parametrů pneumatik a jejich vzájemných závislostí. Konkrétně se jedná o statický adhezor vlastněný Univerzitou Pardubice. Není však využit jeho plný potenciál, jelikož v současném stavu je na něm možné provádět pouze orientační posouzení deformace pneumatik. Vzhledem k tomu, že v dnešní době je z důvodu zvyšování bezpečnosti provozu kladen větší důraz na plnění rozličných kritérií pneumatik, je nezbytné mít k dispozici kvalitní testovací nástroje. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl zkoumat statický adhezor a pokusit se navrhnout rozšíření pro plnohodnotná měření.

Zkoušky na statickém adhezoru se provádí pomocí zatěžování pneumatik osobních vozidel, přičemž se zkoumají jejich deformační charakteristiky. Jedná se o radiální deformační, torzní (obvodová) a boční deformační charakteristiku. Všechny tyto zkoušky jsou kvazistatické, což vyjadřuje, že děj má velmi pomalý nárůst zatěžovací síly.

Klíčovou roli při zkoumání zatěžování pneumatik hraje adheze mezi kolem a podložkou. Pro zjištění hodnot adheze se využívá několik metod mezi, které patří zjišťování součinitele tření pomocí kyvadla, makrotextury a mikrotextury vozovky.

V současné době statický adhezor slouží pouze k informativnímu zobrazení deformací pneumatik bez jakéhokoliv dalšího vyhodnocování. Hlavními částmi jsou podložka a zatěžovací rameno. Celý zatěžovací systém je ovládán hydraulicky. Posuv podložky je ovládán ručně a umožňuje posun ve dvou osách. Tyto posuvy umožňují vznik podmínek pro jednoduché měření bočního a torzního obvodového zatížení, měření momentů a torzní podélnou deformaci a tuhost. Jednoduché snímání kontaktní plochy pneumatiky např. pomocí fotoaparátu není možné, protože měřící plošina není k tomu uzpůsobena.

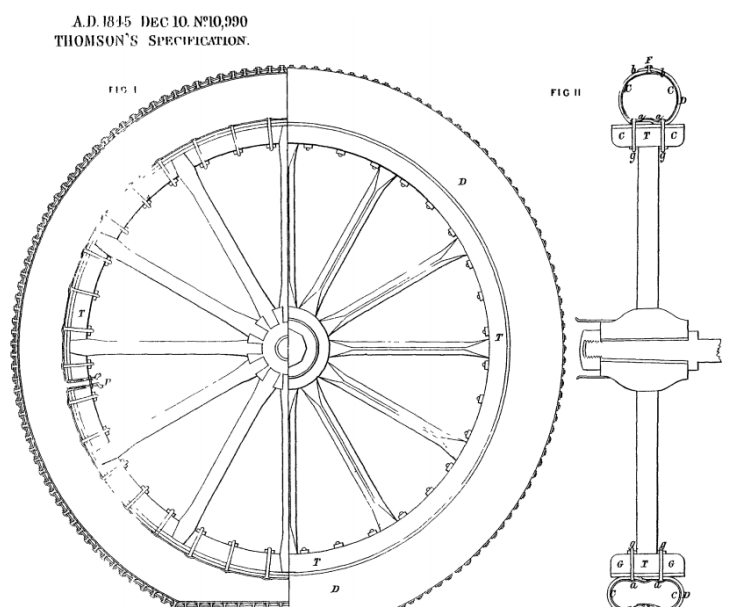
Cílem této diplomové práce je navrhnout úpravy statického adhezoru tak, aby se něm dala provádět přesnější měření. Získání konkrétních výsledků je možné docílit dovybavením adhezoru snímači pro měření posuvů a sil. V práci budou specifikovány přesné modely snímačů, které by bylo možné osadit.

1 PNEUMATIKY

1.1. Historický vývoj pneumatik

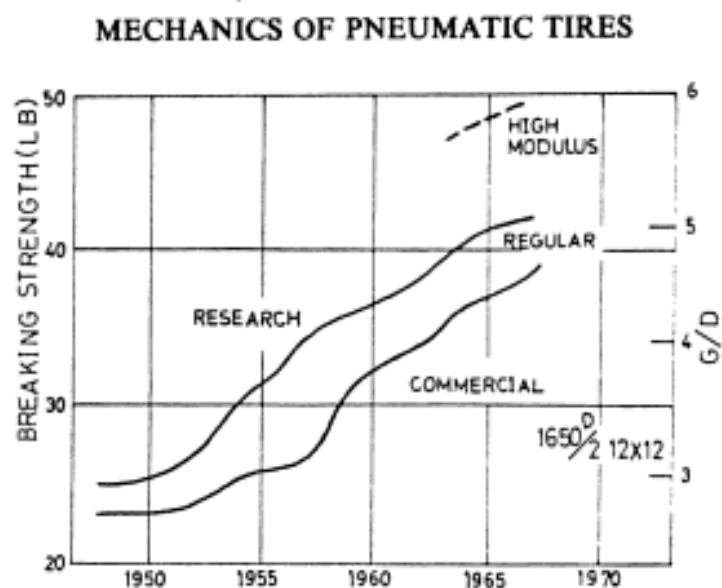
Podle dochovaných materiálů první pneumatiky byly tvořeny z pásů kůže a používaly se ve starodávné Mezopotámii. V roce 1922 je objevil archeolog sir Leonard Woolley. Jednalo se o nález pozůstatků dvou čtyřkolových vozů [1].

První patent, který nejvíce připomíná současnou pneumatiku, byl podán v roce 1845 skotským vynálezcem Robertem Williamem [2]. Jednalo se o patent č. 10990 a ve své patentní přihlášce ji charakterizoval následovně: „Vynález se vyznačuje použitím pružných bandáží na loukotích vozových kol, které mají za účel zmenšit sílu nutnou k jízdě, učinit jízdu klidnější a zmenšit hluk. K tomu cíli se užívá dutého pásu z vodo a vzduchotěsné látky, např. ze sířeného kaučuku nebo gutaperči. Tyto pásy se nafouknou vzduchem, takže kola na celé své oběžné ploše jsou opatřena vzduchovými polštáři, ať mají jezdit na zemi nebo kolejích nebo jiných drahách“ [3]. Bohužel Thomson předběhl svoji dobu, protože v roce 1845 neexistovaly automobily a rozvoj jízdnicích kol byl stále ještě v počátcích. Navíc pro koněm tažené povozy byla nosnost pneumatik nedostatečná, tudíž tento vynález zůstal nevyužit.



Obr. 1 – Ukázka z patentu na vzduchem plněnou pneumatiku Roberta Williama [7]

Vzduchem plněnou pneumatiku znovu vynalezl až v roce 1888 John Boyd Dunlop. Pro svého syna tehdy vyrobil ze zahradní hadice plášť naplněný vzduchem, aby zlepšil jízdní vlastnosti tříkolky [4]. S postupným rozšiřováním pneumatik se na ně zvyšovaly nároky a vývoj nových typů byl rapidně urychlen. U užitkových vozidel bylo běžně použito pneumatik bez výztužných materiálů. Ocelový disk byl pokryt celopryžovými obručemi. Takto konstruované pneumatiky špatně odolávaly dlouhodobému provozu. Vlivem degradace pryže se obruč mohla sesmeknout nebo prasknout. Proto vývoj směřoval ke kostrou vyztuženým pneumatikám. V roce 1892 byl podán patent J. F. Palmerem s první implementací kordové tkaniny, místo kříženého vyztuženého materiálu. Vyloučením přímého kontaktu nosných nití v místě křížení se výrazně prodloužila životnost celé pneumatiky. Kordová tkanina byla všeobecně zavedena jako základ výztužného materiálu pneumatik v letech 1914 až 1925. Materiál pro výrobu kordové tkaniny se v průběhu let měnil. J. B. Dunlop použil jako výztužný materiál irský len. Toto vlákno bylo v té době jedno z nejsilnějších. Z cenových důvodů bylo později nahrazeno bavlnou [5]. V roce 1923 byla vyrobena první pneumatika s kordem z celulózových vláken (hmota získaná ze dřeva nebo z bavlny). Anglosaské země používají termín rayon [6]. Další druhy výztužných materiálů na sebe nenechaly dlouho čekat. Ve Francii v roce 1937 byla poprvé použita jako výztužný materiál ocel. V 50. letech 20 století byl aplikován na výrobu výztuh syntetický polymer (nylon). Po roce 1962 byl použit polyester a o pět let později kord na bázi skleněných vláken. Kord vyrobený z aramidových vláken (na bázi aromatických uhlovodíků) byl zaveden do výroby po roce 1976.



Obr. 2 – Vývoj pevnosti pneumatiky s rayonem [5]

Zároveň s rozvojem výztužných materiálů probíhal i vývoj pneumatiky. Největší pokrok při výrobě pneumatik byl objevem procesu vulkanizace přírodního kaučuku sírou (1839) Charlesem Goodyearem ve Spojených státech amerických. Angličan Thomas Hancock si nezávisle na Charlesovi Goodyearovi nechal též patentovat způsob vulkanizace kaučuku v roce 1843. Velký přínos mělo ve vývoji pneumatiky zavedení plochého běhounu v roce 1904 a o rok později opatření běhounu dezénem, které zlepšovalo přenos sil mezi vozidlem a vozovkou. Evropský výrobce pneumatik Michelin jako první představil v roce 1948 radiální pneumatiku a o dva roky později byla zavedena bezdušová pneumatika. Jako odpověď na radiální pneumatiky Goodyear uvedl v roce 1967 na trh pneumatiku s diagonálně uspořádanou kostrou, vyztuženou nárazníkovým pásem tzv. „bias belted“. V současné době není vývoj pneumatik stále ukončen. Nepřetržitě se objevují nové a nové partikulární problémy, které je potřeba řešit. Vývoj pneumatik by měl ideálně předcházet vývoji automobilů. Jedině tím lze zajistit plnění rozdílných požadavků výrobců automobilů.

Pneumatiky

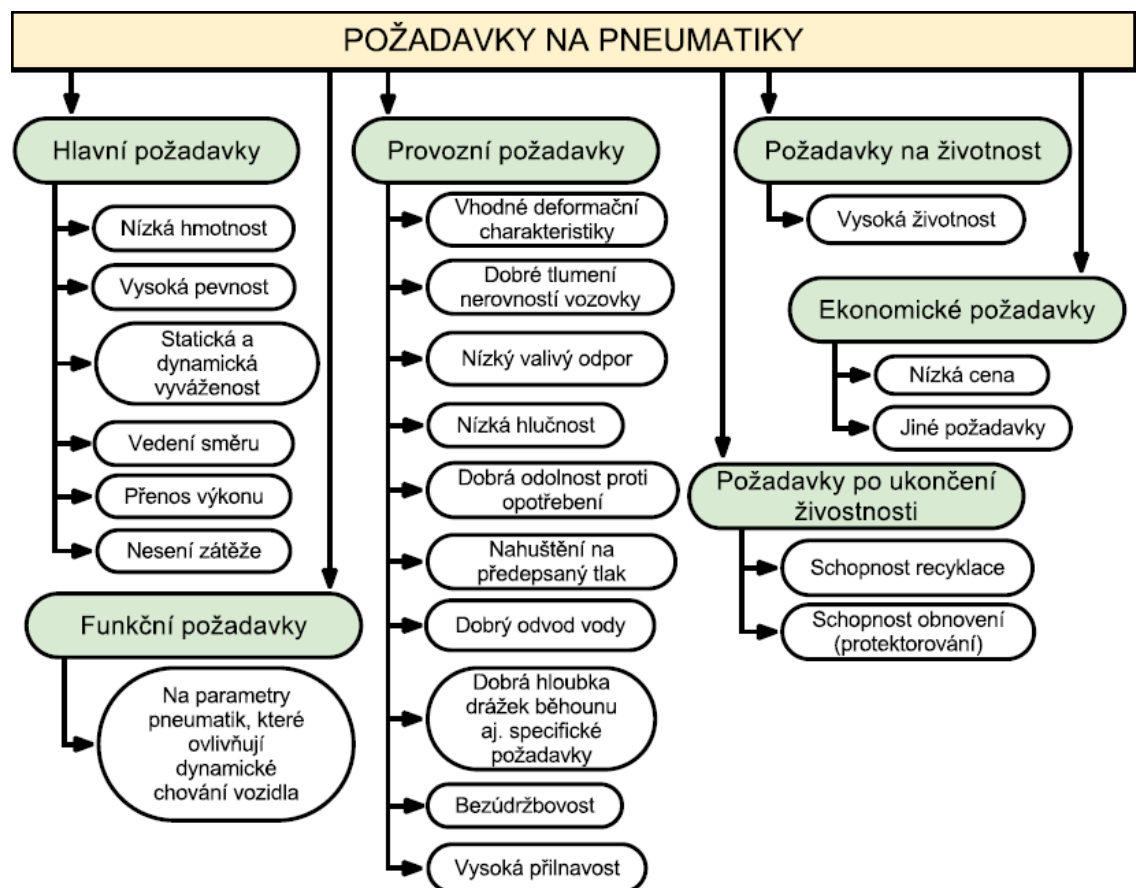
Hlavním spojovacím článkem mezi vozidlem a vozovkou je kolo s pneumatikou. Pneumatika je celek složený z několika součástí, jejíž výroba je složitá. Kola vozidla přenáší hmotnost vozidla a nákladu na vozovku stejně jako hnací a brzdové momenty nebo bočí síly. Z hlediska jízdního pohodlí a bezpečnosti jízdy jsou pneumatiky důležitým činitelem v pružící soustavě vozidla. Kola s pneumatikami patří do neodpružených hmot, a proto se výrobci a konstruktéři snaží, aby pneumatika byla co nejlehčí. Zároveň musí být pevná, staticky a dynamicky dobře vyvážená.

1.2. Funkce pneumatiky

Jelikož pneumatiky jsou jedině spojení vozidla s vozovkou, tak musí plnit řadu funkcí:

- vedení směru
- nesení zátěže
- tlumení
- nízký valivý odpor
- přenos výkonu
- vysoká životnost

Tyto funkce zaručují bezpečnost, komfort a hospodárnost. Pneumatika musí poskytovat tyto funkce po celou dobu své životnosti. Pro zajištění většiny z těchto funkcí pneumatika potřebuje vzduch, a proto je velmi důležitá pravidelná kontrola tlaku. Díky přirozené pórovitosti gumy (velmi malé) ztrácí pneumatika potřebný vzduch. K tomuto efektu se často připojují další náhodné události jako například nedostatečná vzduchotěsnost ráfku, plnicího ventilku nebo perforace v pneumatice. Z toho plyne, že nesprávný tlak, ať už příliš nízký anebo vysoký, narušuje správné funkce pneumatiky [8].



Obr. 3 – Souhrn všech požadavků na pneumatiky [10]

Vedení směru

Stabilita vozidla záleží na tom, jak pneumatika dokáže držet řidičem zvolenou stopu. Pneumatika musí být schopna udržet určité množství příčné síly, aniž by došlo k opuštění zvolené trajektorie vozidla.

Nesení zátěže

Pneumatiky musí být schopny odolat přesunu zátěže při akceleraci, brzdění a změně směru. Zároveň jsou oporou vozidla nejen při jízdě, ale i při stání vozidla v klidu.

Tlumení

Díky vertikální pružnosti pneumatiky a elasticitě vzduchu, jímž je naplněna, se může pneumatika přizpůsobovat překážkám a nerovnostem terénu a zároveň pohlcovat i nárazy při přejezdu přes překážky.

Nízký valivý odpor

Odpor vzniká deformací pneumatiky a vozovky. Vlivem ztrát v pneumatice, které se mění v teplo, jsou síly potřebné ke stlačení pneumatiky větší než síly, jimiž působí pneumatiky na vozovku při navrácení do kruhového tvaru (hystereze).

Přenos výkonu

Jedna z hlavních funkcí pneumatiky je přenos výkonu motoru přes převodové ústrojí na vozovku. Dále je potřeba přenést i brzdou sílu. Tento přenos sil silně závisí na adhezních podmínkách mezi pneumatikou a podložkou.

Vysoká životnost

Opotřebení závisí na podmínkách použití pneumatiky (rychlost, zátěž, způsob jízd, stav vozidla), materiálu vozovky, druhu a složení směsi pneumatiky anebo velikosti tlaku v pneumatice, který má vliv na velikost a tvar styčné plochy a rozložení tlaků na různých místech pneumatiky v kontaktu se zemí.

Pro potřeby správné terminologie je potřeba zavést definice vybraných pojmů dle normy ČSN 63 1001 [9]:

Pneumatika – je tvořena z pláště, popřípadě pláště s duší, vložkou, nebo s bezdušovým ventilkem, namontovaná na ráfek naplněný tlakovým médiem.

Plášť pneumatiky – jedná se o pružnou část pneumatiky, která zajišťuje styk s vozovkou a který svou patkovou částí dosedá na ráfek.

Duše – tenkostěnný pryžový dutý prstenec kruhového nebo eliptického tvaru, sloužící k udržování potřebného tlaku vzduchu v pneumatice (obrázek), součástí duše je ventil, umožňující nahuštění duše tlakovým médiem, regulování vnitřního přetlaku, těsné uzavření duše a vypouštění tlakového média z duše

Pneumatiku je možné dělit dle typu vozidla a pláště. Z pohledu typu plášťů lze dělit pneumatiku podle několika hledisek. Pro potřeby této práce se jeví, že tyto parametry mají největší vliv na další testování:

- konstrukční uspořádání kostry pláště a nárazníku,
- použitý materiál kostry (celokovové, celotextilní, kombinované),
- vzorek běhounu (zimní, letní).

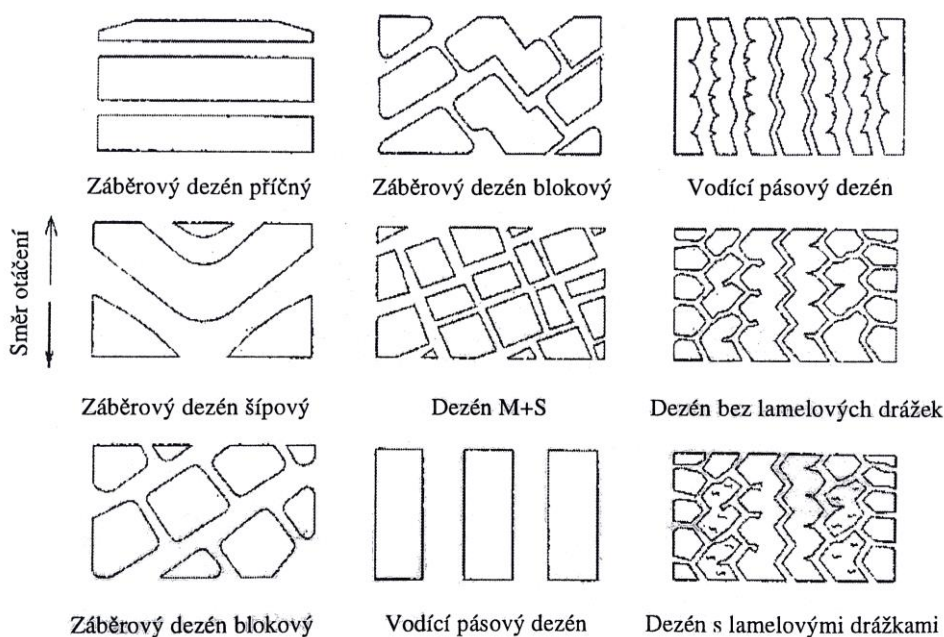
1.3. Konstrukční uspořádání pneumatik

Pláště pneumatik se dělí na tři základní typy podle konstrukčního uspořádání kostry a pláště. Dělení vychází z úhlu kordových vláken, respektive podle stavby kordové kostry [10].

- diagonální
- diagonální s nárazníkovým pásem
- radiální

Vzorek běhounu

Podle vzorku běhounu lze pneumatiky rozdělit na letní, zimní a univerzální. Zimní pneumatiky se od letních odlišují nejen v rozdílu lamelování dezénových bloků a z nich vyplývajících vlastností, ale klíčový rozdíl je ve složení směsi, ze které je pneumatiky vyrobena. Složení směsi převážně ovlivňuje vlastnosti pneumatiky.



Obr. 4 – Příklad typů dezénů pneumatik [10]

Letní pneumatiky

Letní pneumatiky jsou složeny ze směsi, která pod bodem mrazu tvrdne tak, že není schopná plnit požadované funkce a zároveň ztrácí schopnost vést automobil v příčném i podélném směru, což má vliv na ovladatelnost vozidla, jeho brzdné i záběrové vlastnosti.

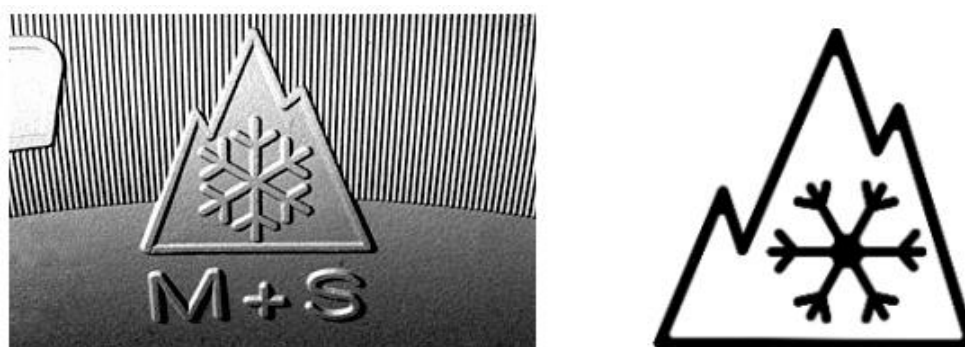
Zimní pneumatiky

Oproti letní pneumatice se zimní liší v několika zásadních částech. Jsou použity speciální běhounové směsi s vyšším obsahem oxidu křemičitého (silika), které nahrazují saze. Nespornou výhodou použití siliky proti sazím je, že silika vyvolává v gumárenské směsi menší vnitřní tření, respektive ztrátovou energii a tím snižuje valivý odpor pneumatiky. Použití směsi s vysokým obsahem siliky, namísto sazí, zabezpečí elastické vlastnosti gumové směsi i při výrazně nižších teplotách. K tvrdnutí dochází až při $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je výhodné především

při použití pneumatik v zimních podmínkách [11]. Využitím speciálních typů dezénů směrového charakteru zabezpečíme:

- zvýšenou odolnost vůči vzniku aquaplaningu a souvislé vodní vrstvě na vozovce,
- zlepšení záběrové vlastnosti na vozovce pokryté sněhem nebo ledem.

Dezény s hustým lamelováním bloků výrazně zvyšují akceleraci na zasněžené nebo zledovatělé vozovce a přilnavost pneumatiky v bočním a příčném směru jízdy. Pláště pro zimní provoz nesou na bočnici značení M+S (mud & snow – bláto a sníh). Toto označení znamená, že pneumatika je legislativně homologovaná pro zimní provoz. Tradiční definice zimní pneumatiky je uvedena v evropském předpisu ECE 117.02. Symbol „sněhová vločka“ symbolizuje, že pneumatika je vhodná pro zimní podmínky. Rovněž je používána zkratka 3PMSF (Three Peak Mountain Snow Flake - tři vrcholky hor se sněhovou vločkou), která zaručuje plnohodnotnou a ověřenou účinnost při náročných sněhových podmínkách [12].



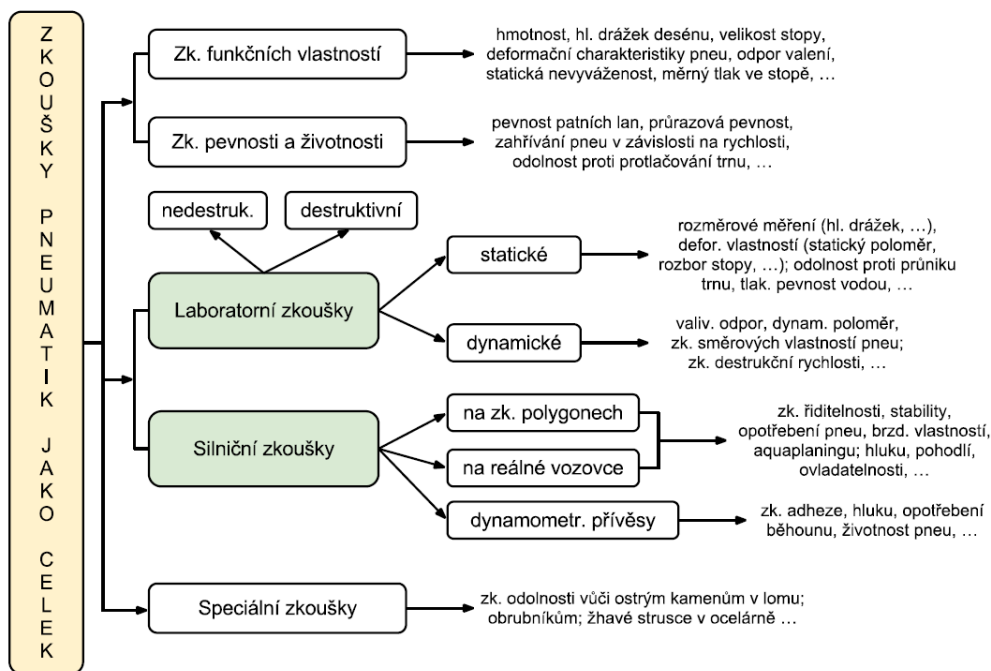
Obr. 5 – 3PMSF piktogram [20]

1.4. Zkoušky pneumatik

Jak už bylo zmíněno, pneumatiky jako pružící, vodící a nosný element výrazně ovlivňují jízdní vlastnosti, a proto se hodnotí celým souborem metod, jimiž lze souhrnně posoudit jejich chování. Zkoušení probíhá jak v laboratorních, tak i ve skutečných podmínkách. Skoro každý výrobce pneumatik provádí zkoušky pneumatik na zkušebním polygonu. Zkoušky samotných kol (disků) slouží zejména ke zjištění pevnosti a životnosti. Zároveň je důležité zjišťovat házivost disků a tzv. nerovnoměrnost pneumatik. Do problematiky kol a pneumatik patří také vyvažování [13]. Popis zkoušek disků by vydal na samostatnou kapitolu a v této práci se jimi dále nebudeme zabývat.

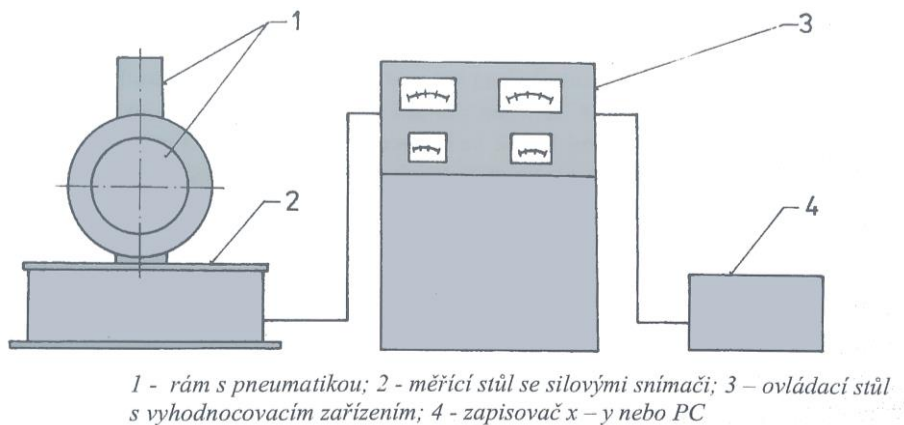
Ve zkušebnách pneumatik se provádí následující testy:

- zkoušky funkčních vlastností:
 - hmotnost pneumatiky a její momenty setrvačnosti
 - vnější průměr a maximální šířka nezatížené stopy
 - hloubka drážky dezénu
 - statický poloměr zatížené pneumatiky
 - velikost stopy na rovné podložce
 - měrný tlak ve stopě
 - vnitřní objem
 - statické deformační vlastnosti radiálně zatížené pneumatiky v radiálním, bočním a obvodovém směru
 - házivost v radiálním a bočním směru
 - statická nevyváženost
 - odpor valení
 - radiální dynamická tuhost a útlum
 - těsnost duší a bezdušových pneumatik
 - směrové (vodící) charakteristiky
- zkoušky pevnosti a živosti:
 - odolnost proti protlačování trnu
 - průrazová pevnost
 - tlaková pevnost
 - životnost běhounu a kostry
 - pevnost patek pláště
 - odolnost proti vzniku a vzrůstu trhlin
 - životnost při zvyšování rychlosti
 - zahřívání pneumatiky v závislosti na rychlosti
 - odolnost proti povětrnostním a chemickým vlivům



Obr. 6 – Přehled zkoušek pneumatik jako celku [10]

Laboratorní zkoušky můžeme rozdělit na statické a dynamické. Statickými zkouškami se myslí zkoušky, při kterých nenastane destrukce zkoušené pneumatiky. Do statického hodnocení je možno kromě rozměrových měření (tj. splnění podmínek podle norem) zahrnout zejména zjišťování deformačních charakteristik pneumatik. Tyto vlastnosti jsou určeny z měření deformací obvykle při radiálním, bočním nebo kombinovaném zatěžování pneumatik při různém huštění. Tímto se zjišťuje radiální a bočí tuhost. Zkoušky se provádí na zařízení, které se nazývá statický adhezor. Obecně je možno říci, že zařízení hydraulicky zatěžuje pneumatiky a deformační křivka se snímá na měřícím pultu, resp. je zaznamenána souřadnicovým zapisovačem nebo prostřednictvím počítače viz. obrázek 7.

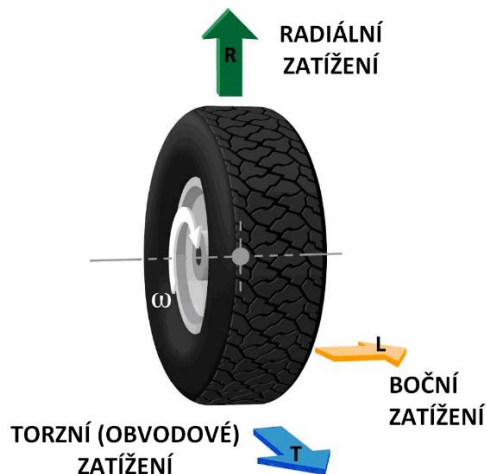


Obr. 7 – Zkušební zařízení pro měření radiálních a bočních deformací pneumatik [13]

Měřitelné údaje na statickém adhezoru:

- radiální deformační charakteristika
- velikost a tvar dotykové plochy
- distribuce kontaktního tlaku v dotykové ploše (za daných podmínek měření):
 - tvar podložky
 - zatížení
 - tlak huštění
 - velikost radiální deformace
 - teplota okolí

Za provozu jsou pneumatiky zatěžovány třemi základními směry, se kterými se musí počítat již při návrhu konstrukce. Na obrázku 8 jsou uvedeny základní směry působení zatěžovacích sil.



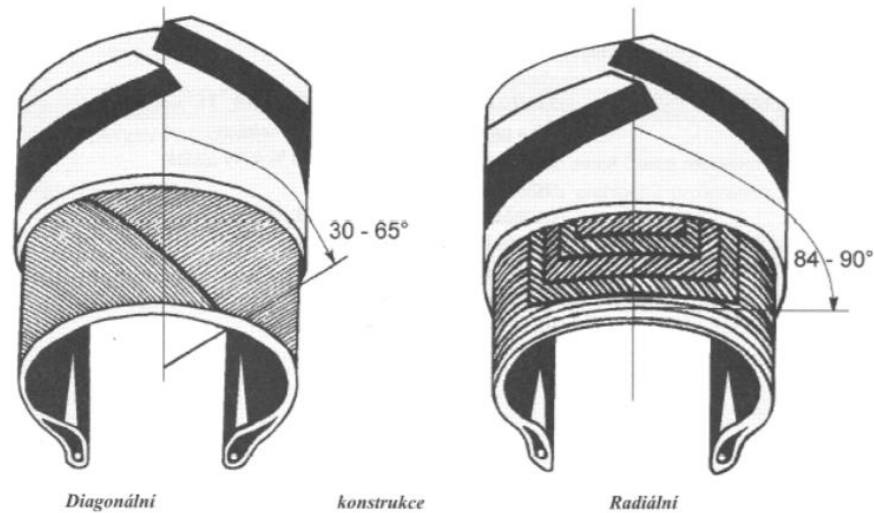
Obr. 8 – Směry zatěžování pneumatik [14]

1.5. Diagonální pneumatiky

Normou ČSN 63 1001 je diagonální plášť definován jako plášť, u kterého kordy jednotlivých vložek zasahují pod patková lanka, kolem kterých jsou přehnuty a jsou uloženy pod úhlem menším než 90° vzhledem k rovině symetrie běhounu. Tento typ pneumatik je označován jako DIAGONAL PLY TYRE.

Diagonální pneumatika se skládá z nosné konstrukce (též známé jako kostra pneumatiky), která má aspoň dvě vrstvy pogumovaných kordových vláken a většinou svírají úhel mezi 20° až 40° vzhledem k podélné rovině symetrie běhounu. V závislosti na pevnostních požadavcích může být na výrobu kordu použit rayon, nylon nebo ocel. U patky pneumatiky je kotven každý bod

kostry pláště dvěma vlákny se symetrickým stoupáním. Konce pláten jsou na obou koncích přehnuty přes jádro pátky. Jádro patky tvoří dva drátěné prstence spolu s přehnutými konci vrstev. Jedná se o třecí spojení s ráfkem. Lem musí zajistit pevné spojení a přenos hnacích a brzdících momentů na pneumatiky. Zároveň patka musí u bezdušových pneumatik zajistit těsnost systému. Obvodové i příčné síly jsou přenášena vlákny přímo do patky pláště.



Obr. 9 – Rozdíl v konstrukci plášťů pneumatik

Když je pneumatika zatížena, dochází k její deformaci a vlákna se neprodlužují, ale posunují a díky tomu namáhají pryž mezi vlákny na stříh. Při rotaci kola (podélný trakční pohyb) mají diagonálně uložené vrstvy tendenci se nepatrně rozšiřovat a zužovat v závislosti na namáhání. Tímto způsobem vzniká teplo, a tedy i energetické ztráty, což v dlouhodobém měřítku způsobuje zhoršení kvality pneumatiky a zkrácení její životnosti [21].

V nezatíženém stavu má diagonální pneumatika při kontaktu s podložkou kulovitý, respektive mírně elipsovitý tvar. Po aplikaci zatížení se tvar kontaktu mění, zplošťuje se. S rostoucím zatížením se krajní části běhounu více přitlačují k vozovce, zatímco střed běhounu je naopak od povrchu oddalován. Tímto efektem se snižuje celková přilnavost pneumatiky.



Obr. 10 – Změna přilnavosti diagonální pneumatiky při dočasném přetížení [21]

Při chvilkovém přetížení pneumatiky, během jízdy po rovné vozovce, dojde ke zvětšení styčné plochy pneumatiky. Jakmile dojde k odlehčení, styčná plocha se zmenší na velikost menší, než je její statická hodnota. Tím pádem dochází k sérii větších a menších kontaktů podle toho, jaká se nachází nerovnost na vozovce. Působením bočních sil nemá pneumatika s diagonální konstrukcí ideální kontakt s podložkou v celé své ploše vlivem nepružnosti bočnic. Dochází k deformaci jednoho okraje běhounu a druhý má tendenci se odlepit od země. Výsledkem je nežádoucí ztráta původního směru.

1.6. Diagonální pneumatiky s nárazníkovým pásem

Diagonální pneumatika s nárazníkovým pásem je kompromis mezi pneumatikou diagonální a radiální. Pneumatika je smíšená konstrukce tzv. BIAS-BELTED.

Kostra pláště je podobná s kostrou diagonálního pláště, která je zpevněna pásem ze dvou nebo více vložek s křížícím se kordovými nitěmi. Úhel křížení vláken bývá obvykle větší než 60° a zároveň je kostra zpevněna pásem ze dvou nebo více vrstev nárazníkového kordu překládaných pod úhlem menším než 25° .

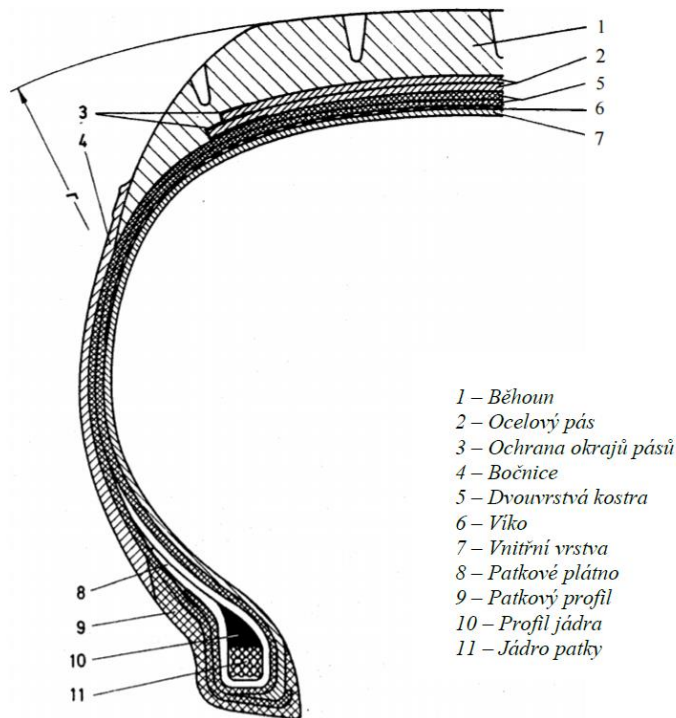
1.7. Radiální pneumatiky

Norma ČSN 63 1001 popisuje radiální plášť jako plášť, u kterého kordy jednotlivých vložek zasahují pod patková lanka, kolem kterých jsou přehnuty a uloženy pod úhlem blízkým $90\left(\begin{smallmatrix} +0 \\ -5 \end{smallmatrix}\right)^\circ$ vzhledem ke střední rovině běžné plochy. Kostra je obvodově vyztužena téměř neroztažitelným pásem. Materiál pro výrobu kostry je rayon nebo nylon. Výztužný pás je tvořen kombinací rayonu, nylonu a oceli. Jádra patek jsou vyráběna pouze z oceli. Vyztužení bočnic je tvořeno jednou tenkou textilní a pryžovou vrstvou.



Obr. 11 – Vedení stopy radiální pneumatikou [21]

V oblasti koruny, směrem dovnitř pneumatiky, je textilní výztuha pokryta pásem ocelových nárazníků. Toto uspořádání poskytuje bočnicím pružnost a zároveň koruně pneumatiky tuhost. Vlákna v bočnicích jsou od sebe oddělena a zapuštěna do pryže. Síť tvořená na koruně pneumatiky je složitější. Skládá se z vláken kostry vycházejících z bočnic a kovových nárazníků. Uspořádání této sítě je trojúhelníkové. Smykové napětí mezi paralelními vlákny v bočnicích je nepatrné a pryž je poměrně tenká. Díky tomu nevzniká příliš velké tření ani teplo.



Obr. 12 – Konstrukce radiální pneumatiky [15]

Trojúhelníková síť si zcela zachovává na svůj tvar v koruně. Struktura je tímto neustále stabilní a při jízdě zůstává přitisknuta k povrchu. Pokud radiální pneumatika není zatížená, tak se stále dotýká povrchu vozovky prakticky celou plochou, a i při nulovém zatížení je styčná plocha velká. Při zatěžování pneumatiky dochází pouze k podélnému zvětšování styčné plochy. Šířka se nemění a bloky běhounu jsou přitlačeny k podložce celou plochou. Navíc bloky běhounu poskytují maximální možnou přilnavost. Pružnost bočnic dává schopnost pneumatice pohltit více terénních nerovností. U pohybující se pneumatiky se šířka styčné plochy nemění, ale pouze zatížení ovlivňuje délku styčné plochy, a proto nepravidelnosti na povrchu vozovky nemají žádný vliv na změnu šířky styčné plochy. Díky pružnosti bočnic dochází se vzrůstající silou ke zvětšování ohybu. Bočnice funguje jako kloubový závěs mezi kolem a běhounem, a proto pneumatika může zůstat v kontaktu s vozovkou celou plochou běhounu a v případě příčných tlaků udržovat žádoucí směr jízdy [21].

1.8. Kvazistatické zkoušky pneumatik současný stav

Princip statických zkoušek pneumatik je založen na testování nehybného kola (bez vlivu rotačního pohybu a destrukce zkoušené pneumatiky). Jsou posuzovány deformační a pevnostní vlastnosti radiálních a diagonálních pneumatik, v závislosti na zatěžující síle ve srovnání s pevnou podložkou nebo také funkční a pevnostní vlastnosti jednotlivých částí.

Zde je uveden seznam nejběžnějších typů zkoušek, které jsou zařazovány mezi statické zkoušky:

- zkouška hmotnosti, rozměrů,
- zkouška vnitřního objemu pneumatiky,
- zkouška otisku,
- zkouška radiální, obvodové, zkouška torzní tuhosti,
- zkouška absolutní pevnosti vodním tlakem,
- zkouška rozložení měrného tlaku v ploše otisku,
- zkouška radiální tuhosti patek.

Výstižnější označení zkoušek by bylo kvazistatické, protože v průběhu se některá z kritických veličin postupně mění. Většina zkoušek pneumatik je standardizována a realizuje se na zařízeních, která jsou vyráběna pouze několika výrobci v celosvětovém měřítku. Výsledky zkoušek by měly být navzájem srovnatelné.

V zahraničí se pro kvazistatické testování používá přístroj nazývaný UTTM (Universal Tyre Test Machine). Německý výrobce TS TestingService GmbH tvrdí, že jejich stroj UTTM je nejpřesnější testovací zařízení na světě pro měření tuhosti pneumatik a je vhodný pro testování pneumatik pro motocykly, osobní automobily, lehké nákladní automobily, kamiony, autobusy, zemědělské stroje a pro lehké pracovní stroje (OTR).

Pohyblivá pracovní deska umožňuje měření všech tří sil a tří momentů v kontaktní ploše pneumatiky. Kolo s pneumatikou je přichyceno na rameno, které je možné otáčet po 4 (90°), 5 (72°) nebo 6 (60°) krocích. Měření pneumatiky se dotýká pohyblivé pracovní desky, kterou je možno pohybovat jak v ose X a Y , tak rovněž natáčet kolem osy Z . UTTM může měřit radiální, boční, podélnou a torzní tuhost pneumatiky.



Obr. 13 – Testovací stroj firmy TS TestingService [23]

Navíc stroj může být vybaven dodatečnými zkušebními zařízeními např. pro měření rozložení tlaku v podložce, obrysu zatížené pneumatiky, průrazu pneumatiky a elektrické vodivosti. Hydraulický píst dokáže vyvinout zatěžovací sílu na pneumatiku 2, 10, 25 nebo 80 tun. Rychlost zatěžování kolem $0,83 \text{ mm.s}^{-1}$. UTTM plní všechny standardy dané normami GBT 23663-2009, GBT 4502-2009, ASM F1971, SAE J2705 a SAE J2704 [23]. Bohužel výrobce neuvádí podrobnější detaily o montované senzorce.

V České republice vlastní jeden statický adhezor Institut gumárenské technologie a testování (IGTT a.s.) a jedním je vybaveno výukové a výzkumné centrum v dopravě UPCE. Více o něm je popsáno v kapitole 3.

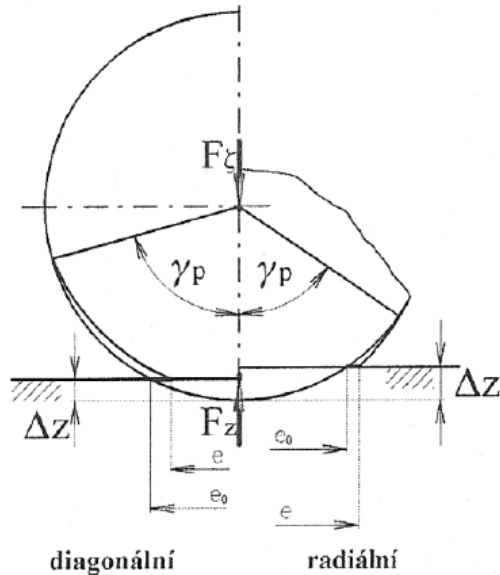
1.9. Deformace pneumatik

Všechny základní deformační vlastnosti pneumatik se zjišťují vůči tuhé podložce. Před započtením měření musí být zkontrolováno, zda jsou pneumatiky nahuštěny na předepsaný tlak. Deformace pneumatiky se nejvíce projevuje deformací pláště, která je prostorová

a lze ji znázornit vícero způsoby. V důsledku působení radiální síly, odstředivé síly při rotaci, změny tlaku huštění a v menší míře vlivem obvodových sil vzniká deformace pláště [10].

Deformace se znázorňuje:

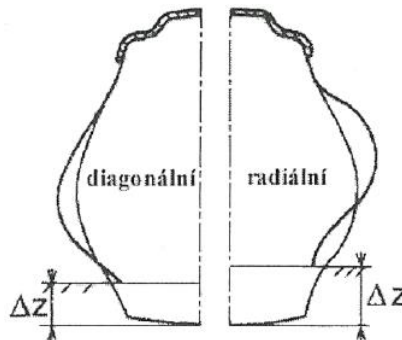
- v čelním řezu v rovině symetrie kola (obrázek 14),



Kde: F_z [N] zatěžující síla
 F_z [N] reakční síla
 γ_p [°] tzv. pracovní sektor
 e [m] délka dotyku
 e_0 [m] délka dotyku teoretická
 Δz [m] maximální stlačení pneumatiky.

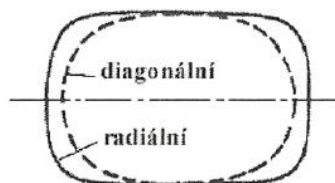
Obr. 14 – Deformace pneumatiky v čelním řezu [10]

- v osovém řezu procházejícím místem dotyku (obr. 15),



Obr. 15 – deformace pneumatiky v osovém řezu [10]

- tvarem dotykové plochy (obr. 16).



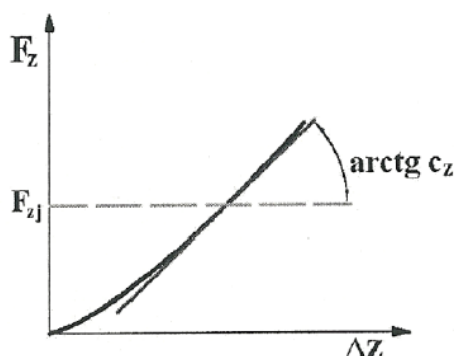
Obr. 16 – Deformace znázorněná tvarem dotykové plochy [10]

1.10. Deformační charakteristiky pneumatik

Pneumatika je reprezentována jako pružná membrána o určité vlastní tuhosti, která není stejná ve všech třech hlavních směrech, ale zároveň vlivem měnících se křivostí a tloušťek stěn je proměnlivá. Při rotaci je rozpínána odstředivými silami a tlakem vzduchu. Radiální síla je přenášena pomocí kostry pláště a tlaku vzduchu uvnitř pneumatiky.

1. Radiální deformační charakteristika pneumatiky

Tato charakteristika vyjadřuje závislost mezi radiální silou na pneumatice F_z a maximální radiální deformací Δ_z . Radiální deformační charakteristika se podílí na pružení a je závislá na konstrukci pneumatiky (počet kordových vrstev v pneumatice), druhu použité pryže, huštění pneumatiky a charakteru deformace. Měří se na rovné podložce. Kolo je zatíženo radiální silou v ose. Charakteristika je obecně nelineární, mírně progresivní, ale v oblasti jmenovitého zatížení F_{zj} ji lze linearizovat (obrázek 17).



Obr. 17 – Radiální tuhost pneumatiky [16]

Směrnice tečny c_z se nazývá radiální tuhost pneumatiky a je definována podle vzorce (1).

$$c_x = \frac{F_{z(125)} - F_{z(75)}}{\Delta_{z(125)} - \Delta_{z(75)}} \quad (1)$$

kde: c_x [N.mm⁻¹] radiální tuhost pneumatiky

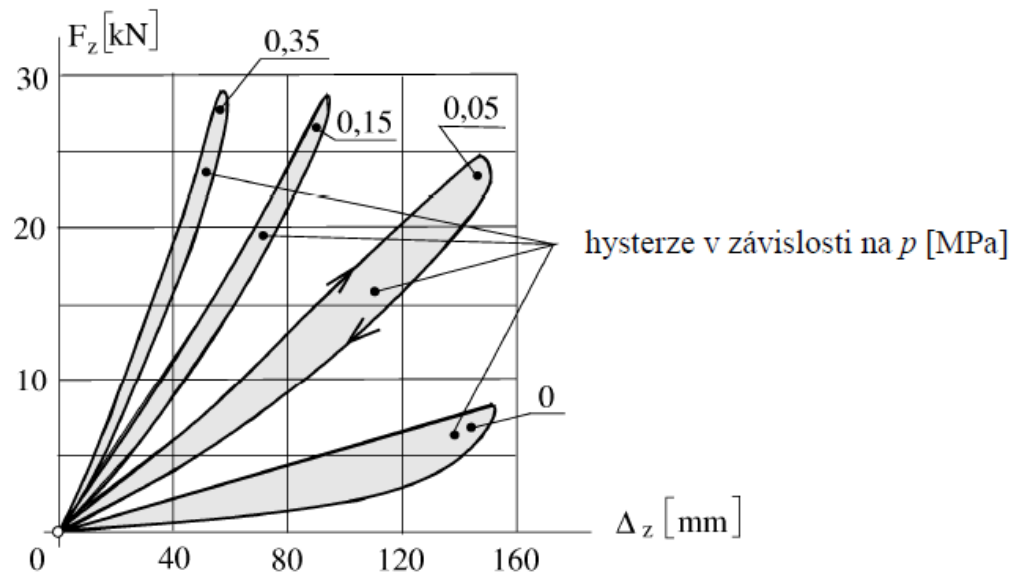
$F_{z(125)}$ [N] radiální síla odpovídající 125 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

$F_{z(75)}$ [N] radiální síla odpovídající 75 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

$\Delta_{z(125)}$ [mm] radiální deformace při zatížení 125 % z nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

$\Delta_{z(75)}$ [mm] radiální deformace při zatížení 75 % z nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

Úplná deformační charakteristika má tvar hysterzevní smyčky znázorněné na obrázku 18 pro různé tlaky huštění pneumatiky. Plocha hysterzevní smyčky je úměrná ztrátové disipativní energii způsobené proměnnou mechanické energie na teplo. Ztráty jsou závislé na vlastnostech pryže a na smykových deformacích. Radiální deformace je závislá nejen na statické zatěžovací síle, ale i na dynamické síle vznikající při pohybu kola. Její tvar a plochu hysterzevní smyčky ovlivňuje rychlost jízdy, frekvence periodického radiálního zatěžování, tlak huštění a tvar podložky (na vyduté podložce se radiální tuhost zvětšuje a na vypuklé naopak klesá) [16].



Obr. 18 – Úplná deformační charakteristika pneumatiky [16]

Z průběhu úplné deformační charakteristiky pro různé tlaky huštění plyne, že se zvyšujícím se tlakem huštění p klesá plocha hysterzevní smyčky odpovídající ztrátové energii a hodnota maximální radiální deformace Δ_z .

2. Torzní deformační charakteristika

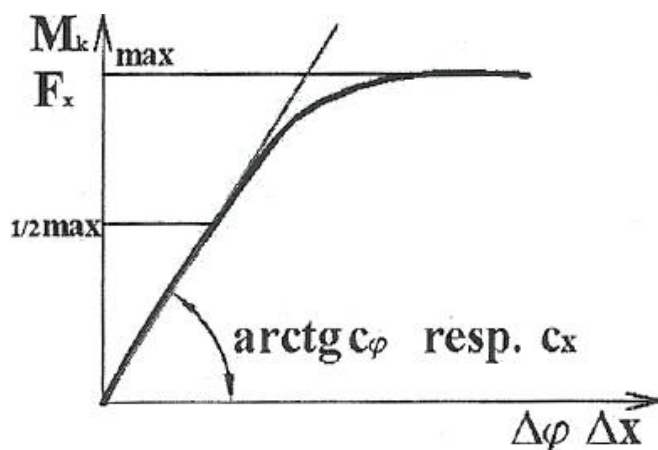
Zjišťuje se na nepohyblivé pneumatice přitlačené ke stacionární podložce. Na ráfek kola působí zatěžovací moment M_k a měří se natočení ráfku Δ_ϕ . Výsledkem měření je závislost mezi momentem a úhlem natočení ráfku.

3. Obvodová charakteristika

Na nepohyblivé kolo působí posuvná podložka radiální a tečnou silou a měří se posuv Δ_x a tečná síla F_x . Torzní charakteristika se značně podobá obvodové charakteristice, protože jde pouze o záměnu příčiny a důsledku. V obvodové charakteristice vyvolává tečná síla F_x reakční moment, zatímco u druhé metody vyvolává zatěžující moment M_k reakci na podložce v podobě

tečné síly F_x . Uvedené metody dávají zpravidla rozdílné výsledky. Nicméně jejich typický průběh je totožný (obrázek 19).

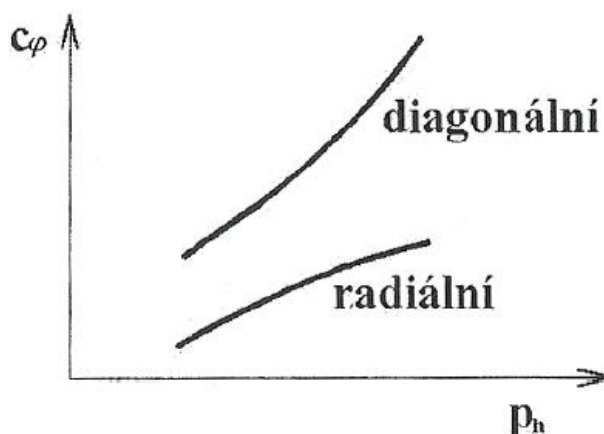
Torzni (obvodovou) tuhostí pneumatiky je směrnice tečny c_φ resp. c_x . Směrnice tečny se tvoří v polovině maximální hodnoty momentu M_k , resp. V polovině maximální hodnoty tečné síly F_x .



Obr. 19 – Torzní tuhost pneumatiky [16]

Deformace kordové vrstvy a dezénu vyznačuje šikmá část torzní deformační charakteristiky a se zvyšujícím momentem se pneumatika začne po vozovce smýkat ($\Delta\varphi$ se zvyšuje), což popisuje rovný úsek v charakteristice na obrázku 19.

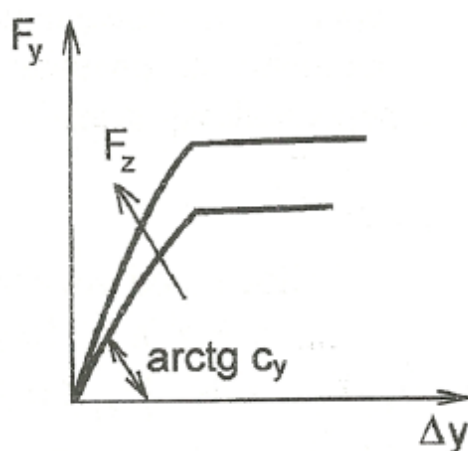
Výhoda torzní (obvodové) tuhosti spočívá v tom, že zmenšuje rázy v převodovém ústrojí automobilu. U diagonálních pneumatik torzní tuhost podstatně více roste se zvyšováním tlaku huštění p_h (obrázek 20).



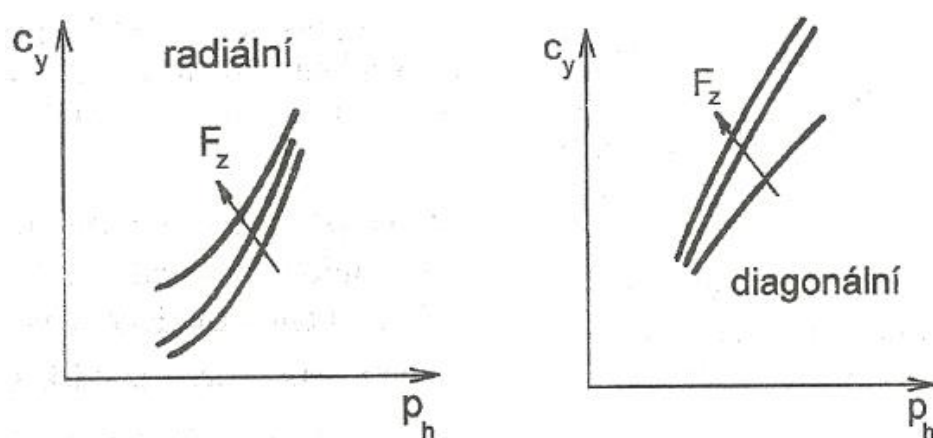
Obr. 20 – Závislost torzní tuhosti na tlaku huštění [16]

4. Boční deformační charakteristika pneumatiky

Boční charakteristika je závislost mezi boční silou na pneumatice a maximální boční deformací. Pneumatika přitlačena radiální silou na podložku je zatěžována bočním posuvem podložky. Tímto vytváříme boční deformaci, přičemž zaznamenáváme boční reakční sílu. Na obrázku 21 je znázorněna boční deformační charakteristika pneumatiky. Průběhy jsou z počátku prakticky lineární, směrnice přímky vyjadřuje boční tuhost c_y pneumatiky a F_z značí změnu při zvyšujícím se radiálním zatížení. Obrázek 22 znázorňuje závislost boční tuhosti na tlaku huštění pro radiální a diagonální pneumatiku.



Obr. 21 – Boční deformační charakteristika pneumatiky [16]

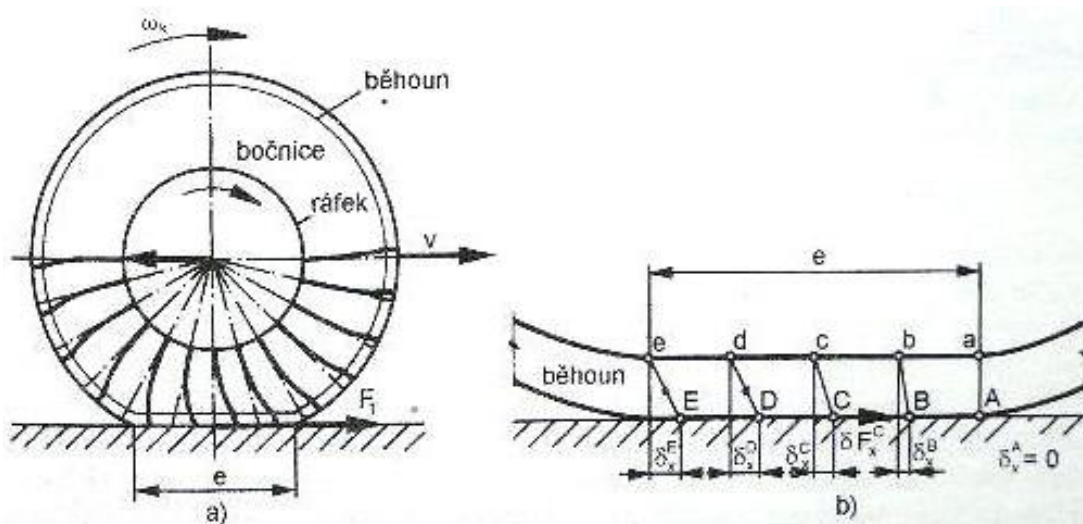


Obr. 22 – Závislost boční tuhosti na tlaku huštění (vlevo radiální pneumatika, vpravo diagonální pneumatika) [16]

2 Metody zjišťování adheze ve styku kolo - vozovka (podložka)

„Přenos tečné síly mezi kolem a vozovkou je umožněn třením pryže pneumatiky o vozovku, zachytáváním běhounu o mikronerovnosti vozovky a molekulárními silami soudržnosti mezi běhounem a povrchem vozovky.“ [17]

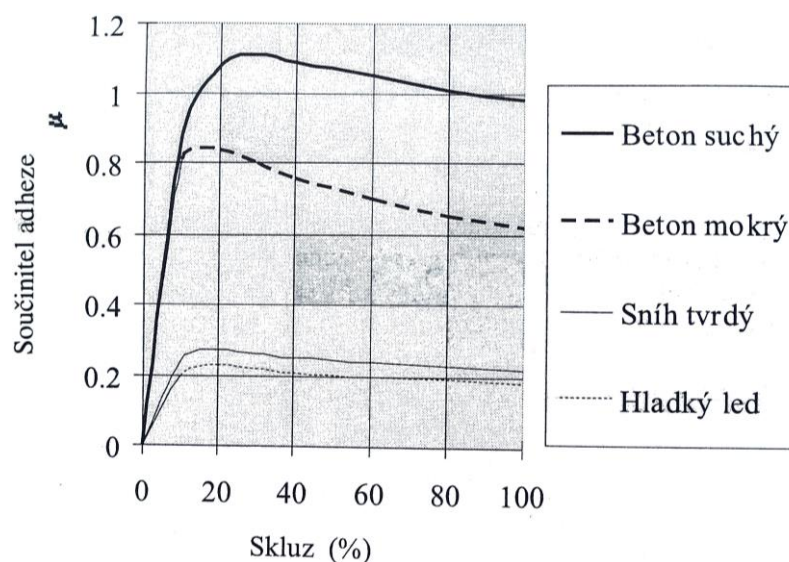
Při vzniku těchto sil a působení hnacího nebo brzdného momentu na kola, je pryž pneumatiky a povrch vozovky nepatrně deformován. Tyto deformace jsou zapříčiněné schopností elasticity pneumatiky a vozovky. Valivý odpor pneumatiky je také charakterizován těmito deformacemi, přičemž jejich elasticita má své meze a ve všech místech dotyku je jinak velká. Na obrázku 23 je zobrazena mechanika přenosu sil mezi kolem a vozovkou.



Obr. 23 – Mechanika přenosu sil ve styku kolo - vozovka [17]

Jednotlivé nezátížené části běhounu pneumatiky přichází do styku s vozovkou. Částice běhounu nejsou zatím zdeformované. V okamžiku dotyku části běhounu s vozovkou je tečná deformace nulová. V průběhu dalšího dotyku se styčnou plochou se deformace zvětšuje. Díky narůstajícím tečným silám se postupně zvětšuje tečná deformace částí běhounu ve styčné ploše pneumatiky s vozovkou. Body A, B, C, D a E na obrázku 23 vpravo jsou místa, ve kterých jsou naznačeny tečné deformace $\delta_x^A, \delta_x^B, \delta_x^C, \delta_x^D, \delta_x^E$ ve stopě pneumatiky a zároveň deformace δ_x^A je nulová. Tečná deformace narůstá od místa B do bodu D, dokud není porušena soudržnost pneumatiky s vozovkou. V bodech D a E dochází k porušení soudržnosti a z toho důvodu zůstává tečná deformace konstantní. Jelikož je pneumatika obvodově pružná, může docházet k deformaci běhounu. Intenzita tečné síly, která vzniká ve styčné ploše pneumatiky s vozovkou, je silně limitována adhezní silou F_{ad} .

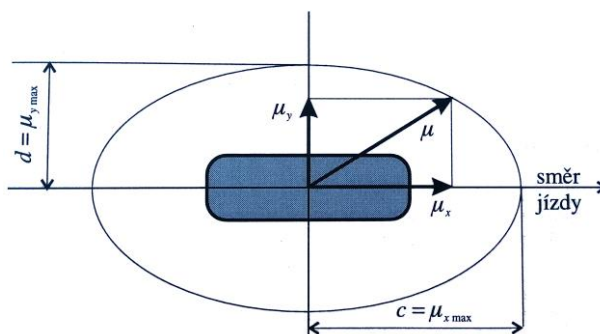
Adhezní síla udává maximální možnou hodnotu tečné síly, kterou je kolo schopno přenést na vozovku při určitém radiálním zatížení pneumatiky. Zpravidla bývá maximální hodnota součinitele adheze dosahována při 15 - 30 % skluzu pneumatiky. Velikost adhezí síly je možno vypočítat jako součin radiálního zatížení pneumatiky a součinitele adheze. Součinitelem adheze lze popsat skluzovou charakteristiku pneumatiky a graficky znázornit jako závislost skluzu pneumatiky na součiniteli adheze pneumatiky [18].



Obr. 24 – Vliv skluzu kola na součinitel adheze [31]

2.1. Adhezní elipsa

Adhezní síla je ve styku pneumatiky s vozovkou využívána v podélném směru na rozjezd a brzdění. Ve směru kolmém pak na boční vedení pneumatiky. Nejedná se o dvě síly, ale pouze o jednu, která se rozkládá na složku podélnou a příčnou. Adhezní elipsa určuje součtovou adhezi, kterou lze využít v požadovaném směru. Poloosy elipsy v podélném směru X a v příčném směru Y tvoří maximální využitelnou adhezi.



Obr. 25 – Adhezní elipsa [31]

Využití adheze na styk kola s vozovkou ve směru podélném u_x a ve směru příčném u_y je dáno vektorovým součtem, který nemusí dosahovat mezní hodnoty μ , ale nemůže jí překročit [31].

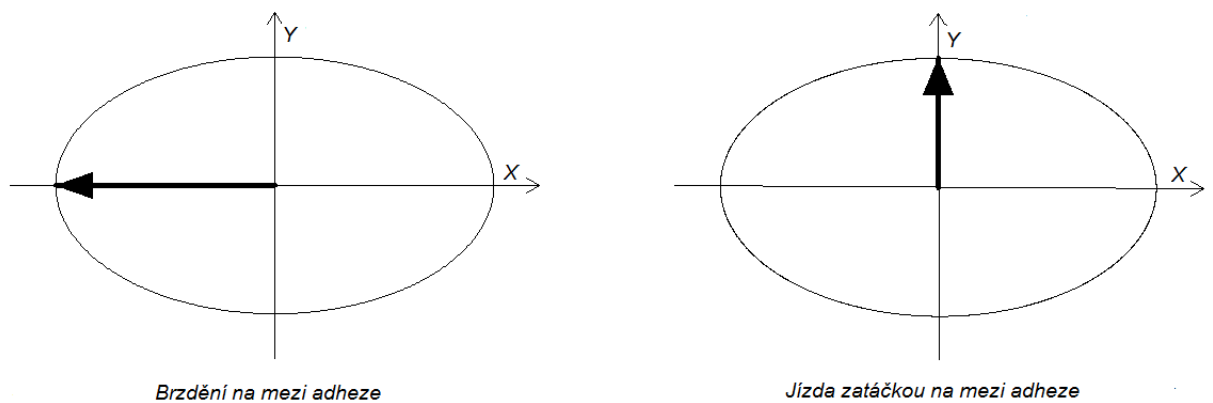
Rovnice adhezni elipsy:

$$\frac{\mu_x^2}{c^2} + \frac{\mu_y^2}{d^2} = 1 \quad (2)$$

Z rovnice (2) lze vyjádřit nejvyšší možné využití adheze na brzdění při zatáčení:

$$\mu_x = \frac{c}{d} * \sqrt{d^2 - \mu_y^2}; \quad u_{x \max} = c; \quad u_{y \max} = d \quad (3)$$

V případě, že při brzdění bude využita všechna adheze na zpomalování vozidla (brzdění na meze adheze), pak ve vektorovém součtu teoreticky nezbývá žádná síla na vedení kola ve směru Y . Bude tedy chybět boční síla potřebná pro zatáčení. Naopak při průjezdu oblouku mezní rychlostí je veškerá adheze v přímém směru spotřebována na vyvození síly nutné k zatáčení (dostředivá), jenž je nutná pro překonání síly odstředivé a žádná síla nezbyde na brzdění. Pokud v této situaci začneme brzdit, vozidlo pojede zatáčkou na mezi adheze s větším poloměrem, protože není dostatek síly pro překonání odstředivé síly. Tyto situace znázorňuje obrázek 26.



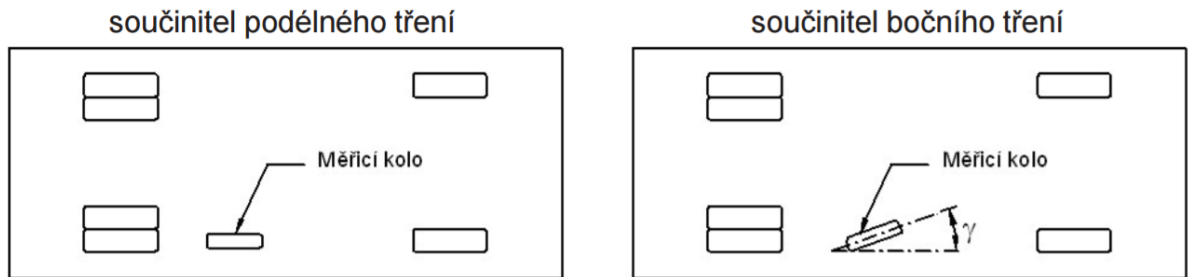
Obr. 26 – Mezní situace - adhezni elipsa [31]

2.2. Metody měření adhezni síly

Metody pro zjišťování součinitele tření povrchu vozovky jsou:

- zjišťování **součinitele tření povrchu vozovky pomocí kyvadla (PTV)** – zkouška slouží pouze k zjištění mikrotextury povrchu vozovky,

- zjišťování dynamickým měřícím zařízením **součinitele podélného tření povrchu vozovky (f_p)** – vyjadřuje vztah mezi silou podélnou a svislou při smykovém tření pneumatiky měřícího kola po zkoušeném povrchu vozovky v podélném směru,
- zjišťování dynamickým měřícím zařízením **součinitele bočního tření povrchu vozovky (f_b)** - vyjadřuje vztah mezi silou boční a svislou při smykovém tření pneumatiky měřícího kola po zkoušeném povrchu vozovky v podélném směru [28].



Obr. 27 – Schéma zařízení pro měření součinitele podélného a bočního tření [28]

2.3. Výpočet součinitele podélného tření:

$$\text{součinitel tření} = \left(\frac{\text{podélná síla v místě dotyku pneumatiky měřícího kola s vozovkou [N]}}{\text{svislá síla působící v místě dotyku pneumatiky měřícího kola s vozovkou [N]}} \right) \quad (4)$$

Výsledné hodnoty součinitele podélného tření f_p se vyrovnají na zvolenou měřící rychlost podle předpisu výrobce nebo technických specifikací výrobce měřícího zařízení. Nově upravené hodnoty součinitele podélného tření F_p' se předně přepočítají na referenční teplotu podle technické specifikace pro dané měřící zařízení.

$$F_p' = a \cdot e^{b \cdot v} \quad (5)$$

kde:

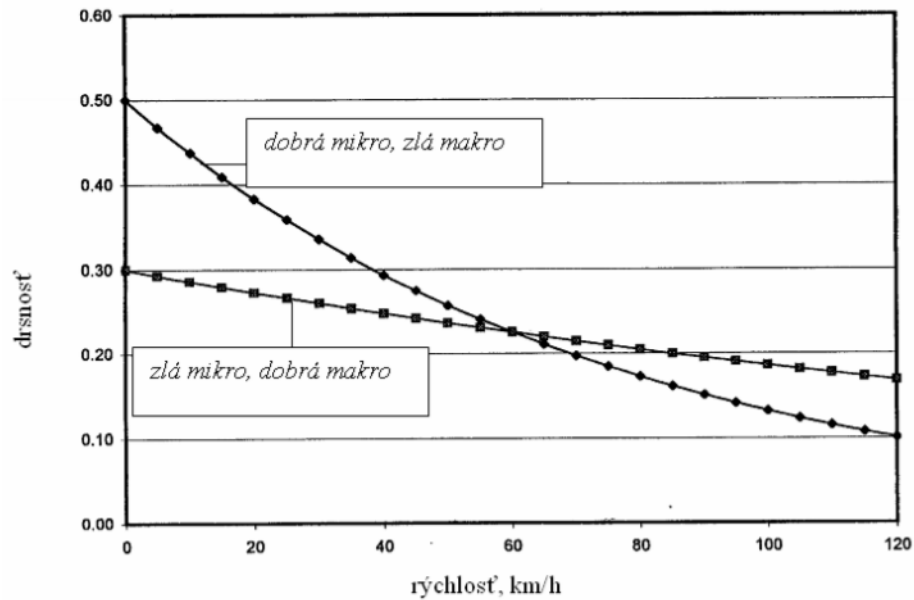
F_p' vyrovnaná hodnota součinitele podélného tření

a, b parametry exponenciální funkce

e 2,178

v [km/h] měřící rychlost

Parametry a , b se zjišťují pomocí hodnot součinitele podélného tření při minimálně třech různých měřících rychlostech a zároveň z parametrů a , b lze odhadnout kondici makrotextury a mikrotextury měřeného povrchu vozovky [29].



Obr. 28 – Vztah mezi rychlostí a texturou vozovky [30]

2.4. Měření mikrotextury povrchu vozovky

Kvalita mikrotextury zkoušeného povrchu se vyjadřuje pomocí součinitele tření povrchu vozovky zjištěného kyvadlem (PTV – Pendulum Test Value) a vyjadřuje ztrátu kinetické energie standartní pryžové třecí patky kyvadla po zkoušení povrchu vozovky [28]. Měření se provádí a je definováno v normě ČSN EN 13036-1.



Obr. 29 – Zkušební zařízení – kyvadlo [27]

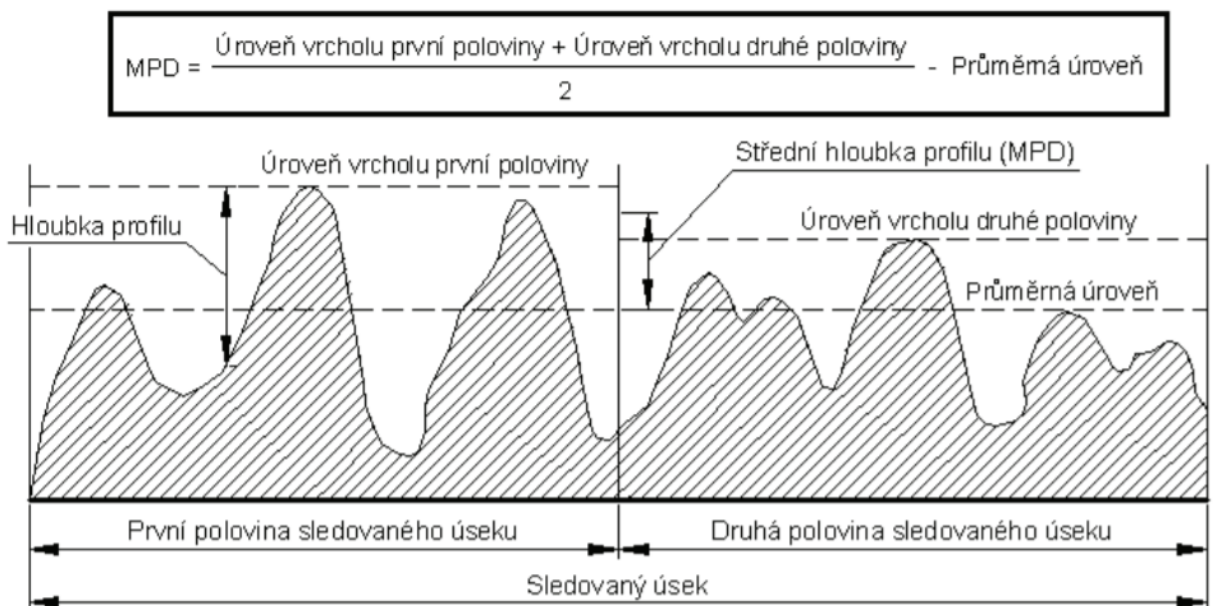
2.5. Měření makrotextury povrchu vozovky

Střední hloubka textury zjištěná odměrnou metodou (MTD – Mean Texture Depth)

Na zkoušený materiál se rozprostře předem známý objem normovaného materiálu (skleněné kuličky, písek), který vyplní bezezbytku prohlubně na povrchu vozovky. Poté změříme plochu rozprostřeného materiálu. Hodnota MTD vyjadřuje velikost makrotextury měřeného povrchu. Výsledek této metody je pouze orientační, silně závislý na zkušenostech obsluhy provádějící zkoušku a na výběru testovaného místa [31].

Střední hloubka profilu povrchu vozovky (MPD – Mean Profile Depth)

Jedná se o velmi přesnou metodu. Hodnota je vypočítaná z podrobného podélného profilu makrotextury snímané pomocí laserových systémů na filtrované délce od 0,5 mm do 50 mm. Vyhodnocení se provádí obdobně jako u měření PTV. Nicméně z výsledků nelze vyhodnotit přesné hodnoty protismykových vlastností povrchu.



Obr. 30 – Princip výpočtu střední hloubky povrchu vozovky (MPD) [28]

3 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU STATICKÉHO ADHEZORU

Univerzita Pardubice je vybavena statickým adhezorem typ SA-1, výr.č. 2479/13 vyrobeným firmou VÚB a. s. Ústí nad Orlicí. Jedná se o stroj s ramenem pro uchycení pneumatiky, které je zatěžováno ve vertikálním směru pomocí hydraulického okruhu. Díky tomu lze měřit působící síly na desku při zatížení pneumatiky. Zatěžování je možné i při částečném zatížení jedné strany koruny pneumatiky jak při příklonu, odklonu tak i v kombinaci s natočením kola vůči podložce. Rameno je možno úhlově naklápět v příčné ose v rozsahu -15° až $+15^\circ$ (příklon/odklon kola) a ve svislé ose v rozsahu -30° až $+30^\circ$ (sbíhavost/rozbíhavost kola). Pro snazší odečítání odklonu kola jsou na rameni nakresleny dvě stupnice. Pro změnu úhlu je potřeba vždy povolit celkem osm inbus šroubů a pomocí čtyř aretačních inbus šroubů 16 x 150 nastavit požadovaný úhel.



Obr. 31 – Statický adhezor SA-1

Posuvná konzola je pomocí ručního ovládní posuvná ve dvou osách (X a Y). Maximální možný posuv v ose X je 140 mm a v ose Y 120 mm. Pomocí takto vyvolaných sil je umožněno měření bočního a torzního obvodového zatížení, měření momentů a torzní podélnou deformaci a tuhost. Na konci ramena je připevněn výměnný redukční kotouč pro osazení ráfku s pneumatikou. Pro větší variabilitu zkoušených disků s pneumatikami existují dva redukční kotouče s různou roztečí a počtem děr.

- 5 x 110 M14 x 1,5
- 5 x 112 M14 x 1,5
- 5 x 98 M14 x 1,5
- 4 x 130 M14 x 1,5
- 4 x 95 M12 x 1

Hydraulický systém se skládá z hydraulické ruční pumpy P157D s vestavěným čtyřcestným, ručně ovládaným ventilem [33] a dvojčinným hydraulickým válcem HM-40/22-500-R.

Snímání kontaktní plochy pneumatiky pomocí fotoaparátu není u tohoto typu statického adhezoru možné, protože plocha pneumatika-podložka není průhledná. Bude tedy nutné, použít odlišnou technologii. Měřící zařízení zatím není vybaveno snímači pro zachycení působících sil, posuvů, a proto ještě není možné vyhodnocovat měření v plném rozsahu.



Obr. 32 – Detail ramena s uchyceným kolem

4 NÁVRH ÚPRAV STÁVAJÍCÍHO STATICKÉHO ADHEZORU

Na statickém adhezoru je v současném stavu možno provádět zkoušky jen pro názorné vizuální demonstrování deformace pneumatiky. Dále je možné pomocí optického bezkontaktního měřicího systému ARAMIS od firmy GOM měřit reálné 3D deformace. Popřípadě sejmout otisk pneumatiky na tlakocitlivou fólii. To vše bez jakékoliv možnosti snímání hodnoty zatěžovací síly a dalšího vyhodnocování.

Proto by bylo vhodné sestavit návrh volby senzorů pro snímání zatížení, posuvů a sil tak, aby bylo se zařízením možné provádět kompletní zkoušky včetně vyhodnocení. Pro další návrh je potřeba si ujasnit, co vše bude potřeba měřit a jaké snímače s dostatečnou přesností a rozsahem budou vhodné.

Pro měření radiální deformační charakteristiky, údajů o dotykové ploše a rozložení kontaktního tlaku je potřeba zaznamenávat:

- posuv zatěžovacího ramena vůči podložce,
- působící síly na posuvný stůl,
- snímání síly zatěžující rameno,
- vychýlení podložky ve směru X a Y,
- tlak mezi pneumatikou a podložkou.

4.1. Měření posuvu zatěžovacího ramena

Při měření pružících a tlumících vlastností pneumatiky je pro zjištění boční deformace pneumatiky potřeba osadit testovací stav snímačem vzdálenosti. Existuje několik možných variant provedení snímání. Přenos informace, snímané jako fyzikální veličina, pomocí čidla je zpracován tak, aby na výstupu byl signál vhodný pro další zpracování. Pro přenos i zpracování se používají unifikované signály, zpravidla elektrické. Jedná se o proudový nebo napěťový signál. Základní rozdělení snímačů je na kontaktní a bezkontaktní. U kontaktních snímačů je měřená veličina přenášena např. pomocí kladek, táhel, bowdenů, drátů, ozubených kol, membránami, pístnicemi apod. Naopak u bezkontaktních snímačů je signál přenášen bez mechanické vazby na měřenou veličinu. Výběr vhodného snímače pro měření vzdálenosti závisí na různých kritériích. Ať už požadovaný rozsah měření (změna posuvu v mm, μm), kontaktní/bezkontaktní měření nebo frekvence změny vzdálenosti, která může být kvazistatická nebo vysoká a určuje rychlost měření. Z toho vyplývá, že si můžeme vybrat z nepřeberného množství snímačů, které se na trhu nabízejí. Jedná se např. o lankové, laserové, ultrazvukové, kapacitní, lineární potenciometry anebo magnetostrikční senzory. Pro měření posuvu zatěžovacího ramena navrhuji použití elektromechanického lankového snímače polohy. Výukové a výzkumné centrum v dopravě (dále VVCD) UPCE by mělo být vybaveno několika kusy lankových snímačů polohy od firmy MICRO-EPSILON s označením WDS-500-P60-CR5-P.



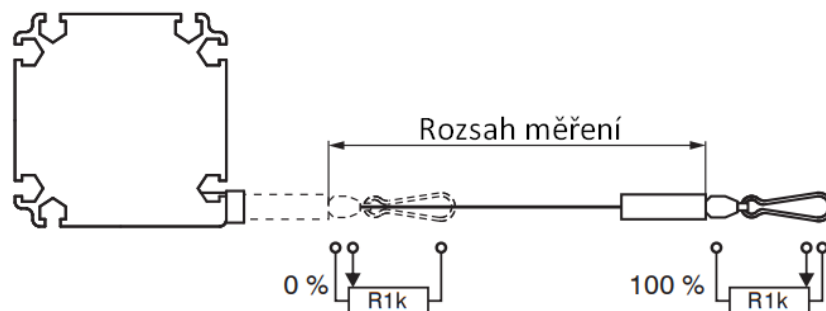
Obr. 33 - lankový snímač MICRO-EPSILON WDS-500-P60-CR5-P

Lankový snímač je zařízení, určené k odměřování délek, lineární dráhy nebo polohy a pohybu objektu pomocí pružného lanka, které se navíjí na odpružený buben uvnitř snímače. Těleso snímače je připevněno k pevné podložce a konec lanka je upevněn na pohybujícím se objektu. Lanko se při pohybu měřeného objektu odvíjí či navíjí na buben, který je mechanicky propojen se snímačem otáčení. Otáčivý pohyb je převáděn na nějaký druh elektrického signálu, ať už analogový nebo digitální, absolutní nebo inkrementální. Signál je úměrný lineárnímu prodloužení lanka nebo rychlosti jeho pohybu. Další zpracování signálu je možné v řídicích jednotkách nebo přímo zobrazit na displeji měřidla. Zpětné navíjení lanka je zajištěno interní pružinou [35]. Výhoda lankových snímačů je nejenom v linearitě měření v celém rozsahu, ale i v tom že lanko může být odkloněno např. přes vratnou kladku. Tato vlastnost odlišuje lankové snímače od ostatních měřících principů, které běžně měří jen v jedné ose.

Tento snímač využívá principu děliče napětí tzn. že odporová dráha snímače je napájena a z jezdcy měříme napětí, které odpovídá určité vzdálenosti na odporové dráze. Jezdec potenciometru kopíruje posuv měřeného objektu. Tento snímač je pasivní, protože při působení měřené veličiny mění svoji charakteristickou vlastnost, která potom ovlivní tok elektrické energie. V tomto případě zvyšuje nebo snižuje odpor na výstupu z jezdcy potenciometru.

Vlastnosti snímače WDS-500-P60-CR5-P (příloha A):

- měřící rozsah 0–500 mm,
- snímací prvek: potenciometr (1 k Ω \pm 10 %),
- napájení max. 32 VDC, 1 W,
- lanko z nerezové oceli \varnothing 0,45 mm,
- nelinearita <0,5 mm z měřícího rozsahu,
- uchycení pomocí drážky pro M4 matice nebo šestihřanné šrouby.

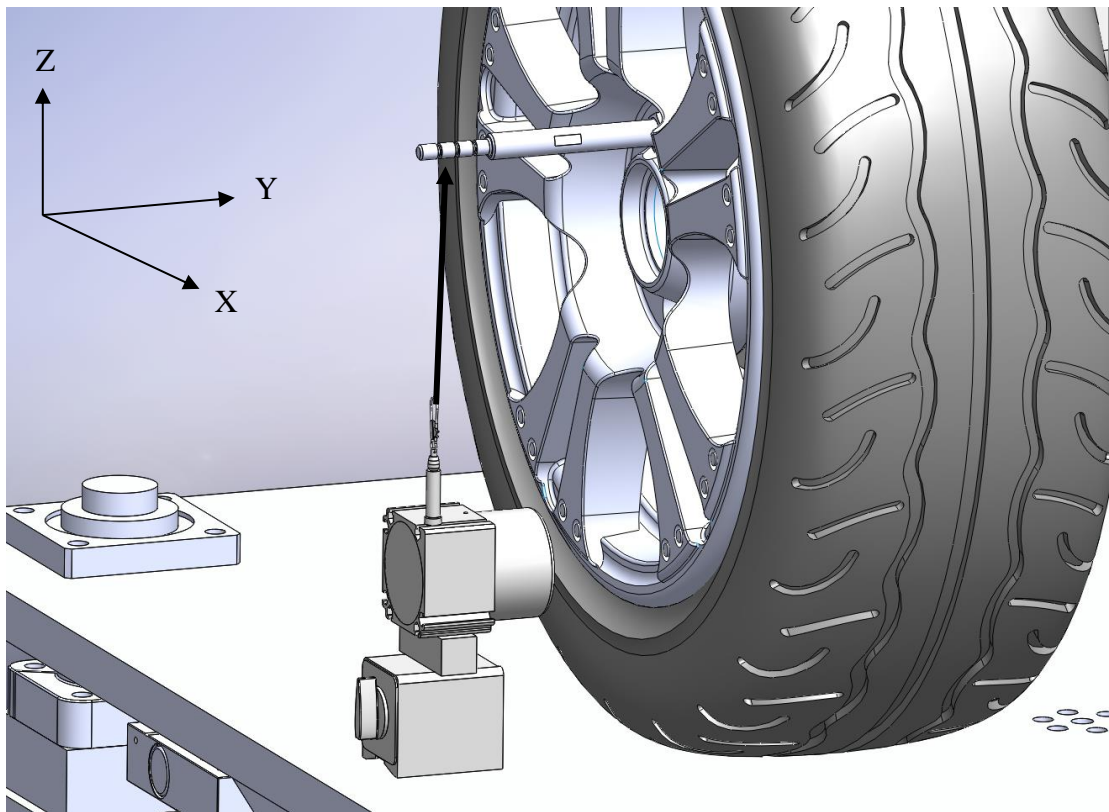


Obr. 34 – Odpor snímače je nejvyšší při plně vytaženém lanku

Navržená sestava je určena pro měření radiální deformace pneumatiky a skládá se:

- přepínatelné magnetické základny od firmy SOMET o rozměrech 58 x 50 x 55 mm s přítláčnou silou až 600 N kat. č. 908.966,
- redukčního členu mezi základnou a lankovým snímačem,
- lankovým snímačem WDS-500-P60-CR5-P popsaném viz výše,
- závitové tyče s drážkovým zakončením a průchozí matice M14 x 1,5,
- spojovacího materiálu.

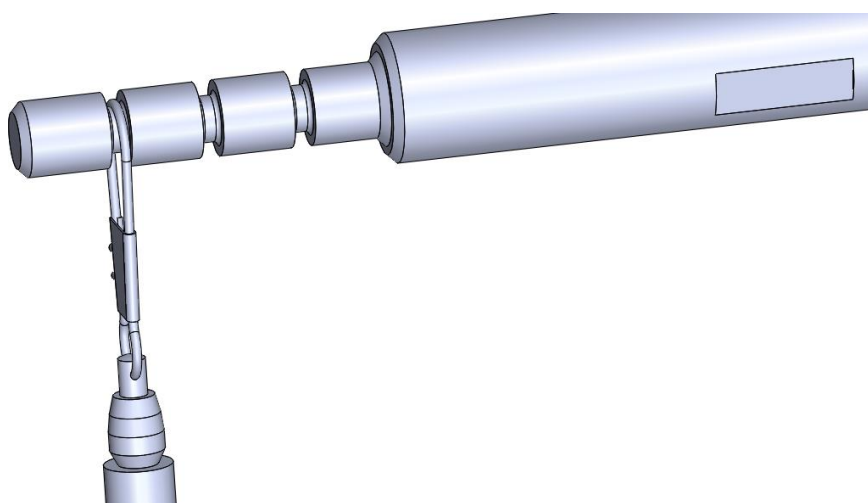
Magnetické upínání bylo zvoleno z důvodu jednoduchosti, časové nenáročnosti a variability upnutí snímače. Vakuový manipulátor nebyl zvolen z důvodu velké drsnosti povrchu desky po obrábění a jeho nestálosti na tomto druhu povrchu. Redukční člen (příloha B) je přichycen k magnetické základně pomocí závrtného šroubu o délce 20 mm a závitu M8. Dále k redukčnímu členu je přišroubován lankový snímač pomocí dvou šroubů M4 x 20, které jsou zašroubované do matic M4 uložených v drážkách snímače.



Obr. 35 - Sestava držáku lankového snímače

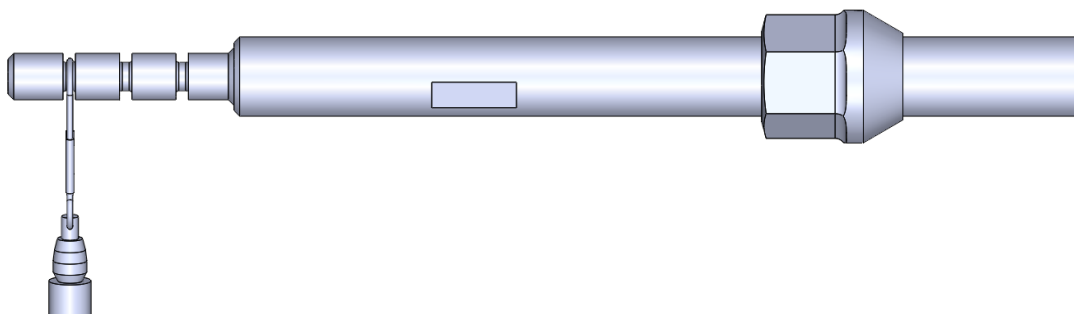
Při první montáži je důležité nejprve přišroubovat redukční člen k lankovému snímači a poté snímač s redukčním členem k magnetické základně. V případě opačném postupu není možné snímač přišroubovat k redukčnímu členu.

Druhý konec lankového snímače je přichycen v drážce na konci tyče se závitem (příloha C), která je našroubovaná místo jednoho kolového šroubu do redukce na konci ramene statického adhezoru pomocí průchozí kolové matice M14 x 1,5 a to buď s kuželovou, nebo kulovou dosedací plochou v závislosti na osazeném kole. Pro snazší montáž a následné dotažení jsou na tyči dvě vybrání pro stranový klíč velikosti 13 mm. V případě potřeby je možné sponku z lankového snímače přemístit do jedné z dalších dvou drážek.



Obr. 36 – Detail uchycení sponky lankového snímače

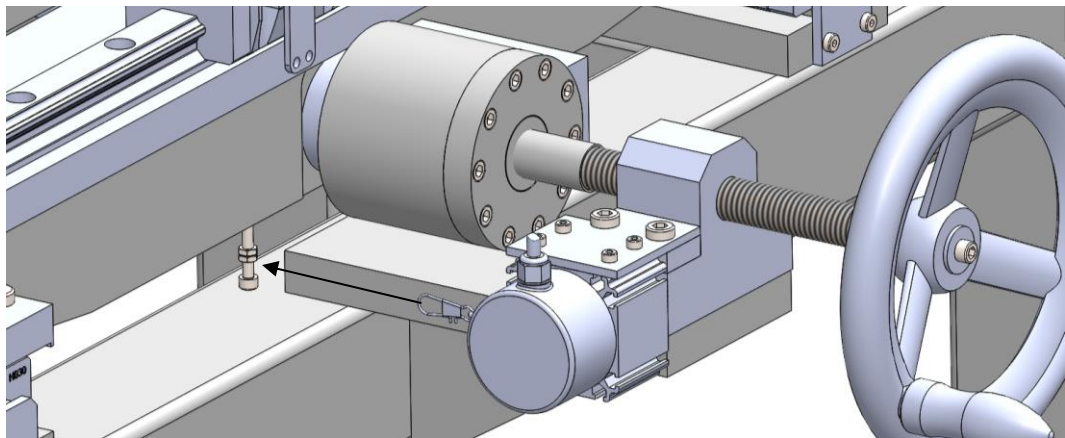
Při montáži je nutno dbát na to, aby směr pohybu měřeného objektu byl paralelní s táhlem snímače. Maximální odchylka musí být maximálně $\pm 3^\circ$.



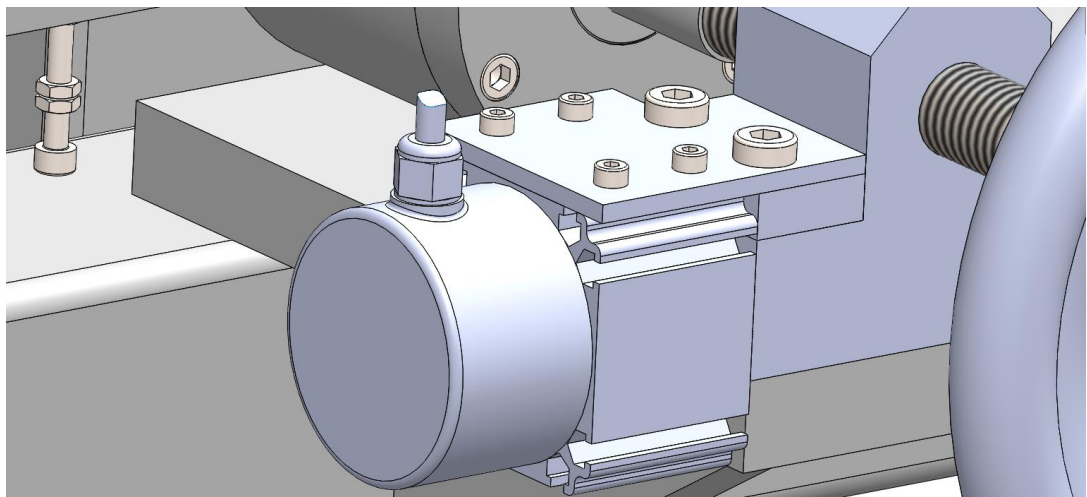
Obr. 37 – Zobrazení drážkovaného šroubu včetně průchozí matice M14 x 1,5

4.2. Měření posuvu desky

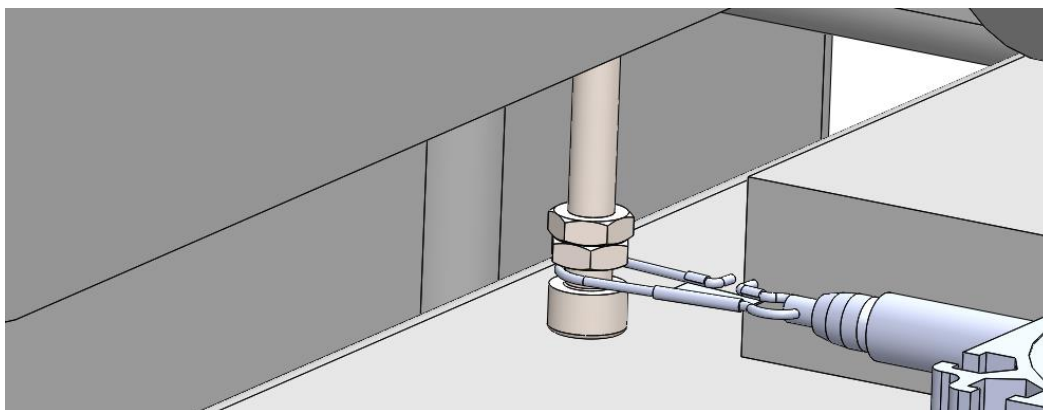
Změna vzdálenosti desky je měřena pomocí dostupných lankových snímačů od firmy Micro-Epsilon s označením WDS-500-P60-CR5-P. Jeden snímač slouží pro měření vzdálenosti v ose X a další v ose Y. Lankový snímač pro měření posuvu v ose X je přichycen čtyřmi šrouby M4 x 10 k desce (příloha D), která je přes distanční podložku (příloha E), přišroubována šrouby M8 x 45 k základnímu rámu (díl UNI-002-011). Klipsa lankového snímače se opírá o šroub M5 x 40 a proti pohybu má vymezený prostor dvěma matkami. Tento šroub je uchycen v žebro střední konzoly (příloha F).



Obr. 38 - Celkový pohled na osazení lankového snímače pro měření vzdálenosti v ose X

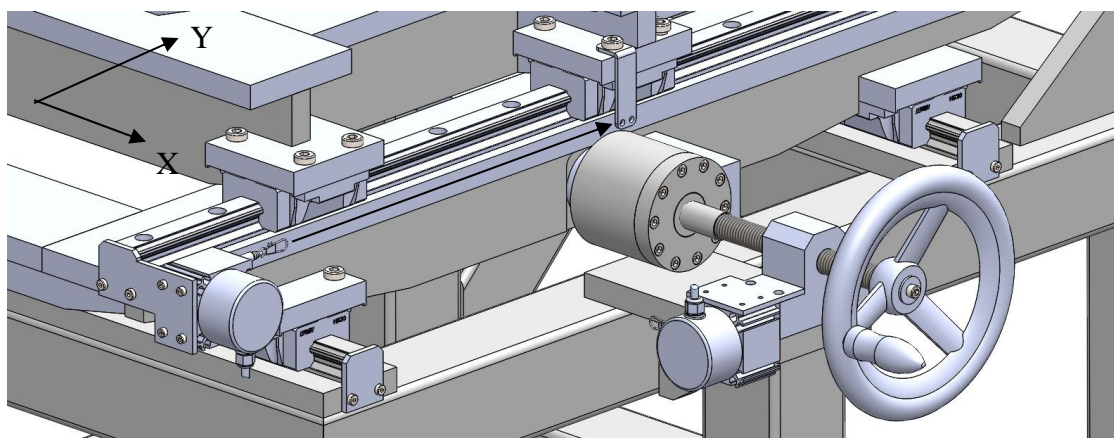


Obr. 39 - Detail na uchycení lankového snímače WDS-500-P60

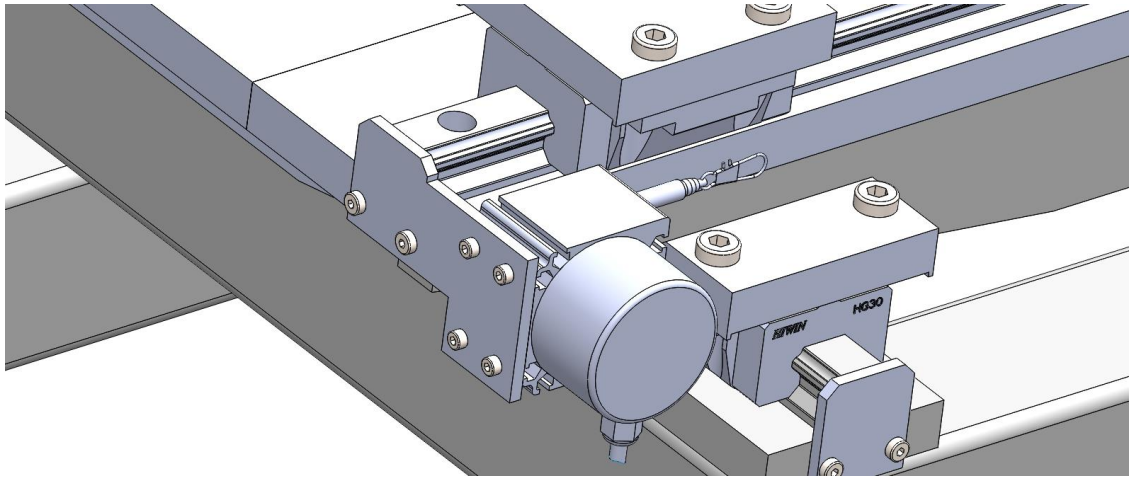


Obr. 40 - Detail aretace klipsy lankového snímače

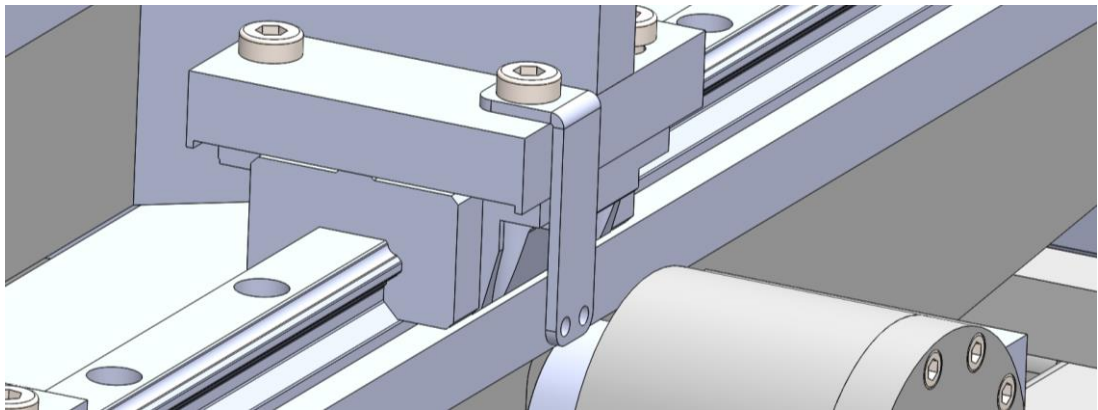
Lankový snímač pro měření v ose Y je přichycen čtyřmi šrouby M4 x 10 k desce (příloha G) nahrazující původní zarážku kolejnice HGR30R UNI-002-084. Deska je přišroubována na původní pozici zarážky UNI-002-084. Klipsa konce lankového snímače je provlečena otvorem v držáku (příloha H), který je přichycen k podložce mezi středovou konzolí a HGW přírubovým vozíkem. Měřicí rozsah snímače nebude překročen, protože maximální vzdálenost držáku od lankového snímače je 367 mm při posunu stolu v ose Y až na zarážku kolejnice.



Obr. 41 - Celkový pohled na osazení lankového snímače pro měření vzdálenosti v ose Y



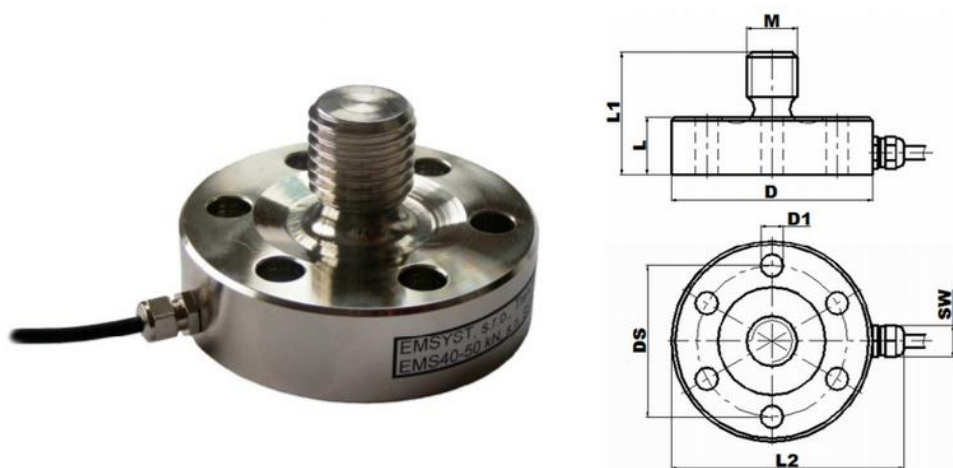
Obr. 42 – Detail na uchycení lankového snímače WDS-500-P60



Obr. 43 - Detail držáku klipsy lankového snímače

4.3. Měření sil působících na posuvný stůl

Měření síly působící na posuvný stůl v horizontálním směru lze vcelku jednoduše aplikovat na současný statický adhezor, protože při výrobě bylo počítáno s umístěním snímačů mezi ložiskový domek otočného prvku a rám. Původní návrh počítá s použitím univerzálních membránových tenzometrických snímačů EMSYST EMS-40 (příloha I) [37]. Tyto tenzometry jsou relativně malé, levné a na statickém adhezoru je pro ně připraveno uchycení. V současné době jsou tyto tenzometry nahrazeny atrapami o stejných rozměrech, aby bylo umožněno fungování pojezdu posuvných desek. Náhraza těchto snímačů snímači, které jsou dostupné ve VVCD je možná, ale samotné provedení je velmi náročné a po finanční stránce je výhodnější osadit statický adhezor tenzometry EMS-40.



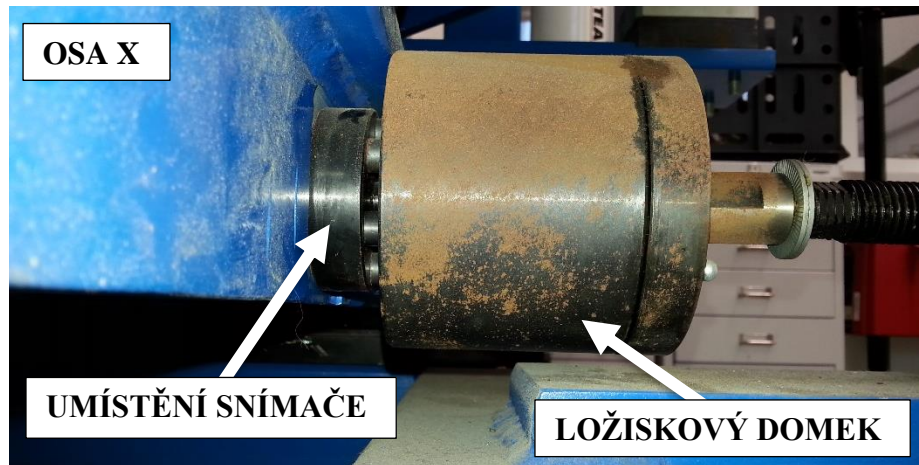
Obr. 44 – Tenzometrický snímač síly EMS40 [37]

Vlastnosti:

- rozsah měření 20 kN,
- citlivost $1,5 \text{ mV/V} \pm 2 \%$,
- nominální napájecí napětí 10 V, max. 15 V,
- úplné můstkové zapojení.

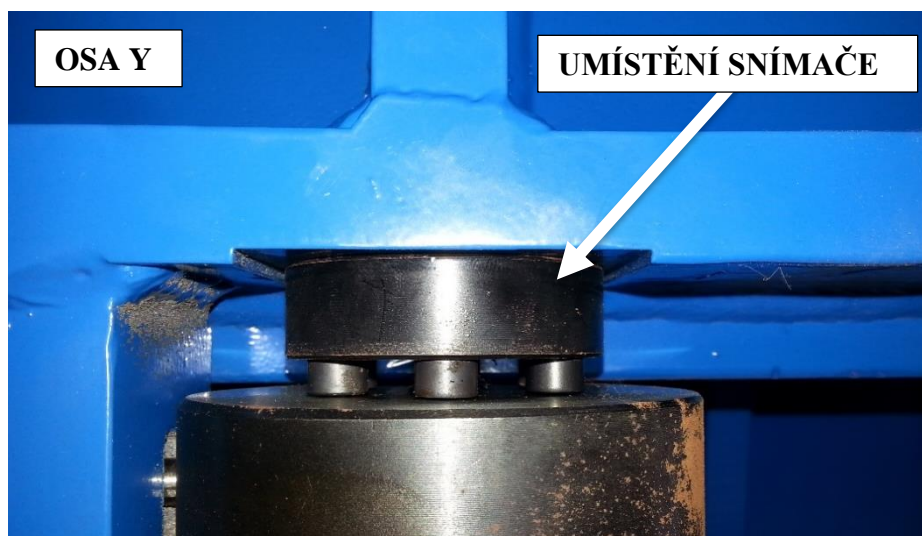
Snímač EMS40 je určený pro měření tahových a tlakových sil vůči podložce. Rozsah 20 kN by měl být dostatečný. Obecně membránové snímače jsou jednodušší konstrukce, jsou levnější a dobře snášejí přetěžování. Každý snímač je z jedné strany přišroubován do konzole šesti šrouby M6x1 délky 26 mm s hlavou s vnitřním šestihranem a z druhé strany zašroubován do spojkového domku s ložisky přes závit M14.

Tenzometrické snímače jsou určeny k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součásti prostřednictvím měření deformace. Tenzometr je pasivní prvek obvodu, který převádí deformaci na veličinu zpracovatelnou elektronickou jednotkou na zpracování signálu.



Obr. 45 – Pozice snímače pro měření síly v ose X

Jelikož tenzometr měří pouze deformaci, tak mechanické napětí se vypočítá z Hookova zákona a pro snímání deformace se tenzometr připevňuje přímo na povrch zatěžovaného tělesa.



Obr. 46 – Umístění snímače pro měření síly v ose Y

Typ převedené veličiny závisí na druhu použitého tenzometru. Vlivem deformace se u odporových tenzometrů mění jejich odpor. Protože změna odporu je značně malá, tak se tenzometry umísťují na místa s maximálním napětím ve směru hlavních napětí. Velmi malé změny odporu nejsou vhodné pro přímé měření odporu. Obvykle se tenzometry zapojují do můstkového zapojení a měří se napěťová nevyváženost můstku. Také existují i optické

tenzometry u kterých se vlivem deformace mění vlnová délka světla, která jimi prochází. Tenzometry v navrhovaných snímačích jsou odporové (kovové).

4.4. Náhrada snímačů EMS40 snímači Utilcell M350

Momentálně jsou ve VVCD dostupné snímače sil od firmy UTILCELL, model 350n s rozsahem měření do 500 kg (příloha J). Tyto snímače byly již dříve použity pro měření ohybu klanic. Díky tomu je možno použít větší množství těchto snímačů na dovybavení statického adhezoru. Dále se v této práci budeme zabývat těmito snímači.



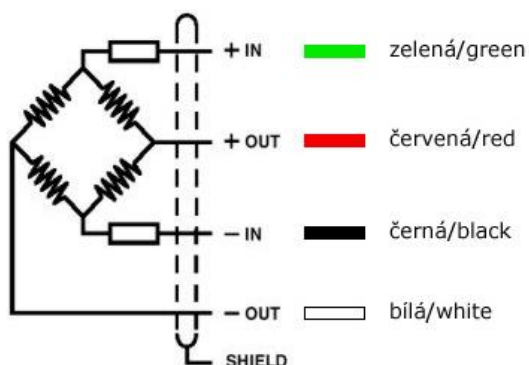
Obr. 47 - Snímač Utilcell M350

Vlastnosti:

- rozsah měření 500 kg,
- citlivost $2 \text{ mV/V} \pm 0,05 \%$,
- napájecí napětí 10 V, max. 15 V,
- maximální průhyb snímače 0,2 - 0,4 mm,
- tělo snímače vyrobeno z poniklované oceli,
- úplné můstkové zapojení,
- plní standart krytí IP 66.

Tenzometrický snímač sil je interně zapojen jako odporový můstek, který se při zatížení snímače rozvažuje. Ze snímače vede čtyř vodičový kabel. Někdy jsou tyto snímače osazeny i šesti vodičovými přívodními kabely. Při použití snímače se čtyřmi vodiči se předpokládá, že vyhodnocovací jednotka bude poblíž. Dvěma vodiči je můstek napájen ze zdroje napětí (přímo vyhodnocovací jednotka nebo externí napájecí zdroj) a dalšími dvěma vodiči se snímá signál, který je přímo úměrný změně hmotnosti nebo síly působící na snímač. Pro účely měření, lze považovat vztah mezi silou (hmotností) působící na snímač a změnou výstupního napětí

ze snímače za lineární. Pokud je snímač osazen šesti vodičovým kabelem, tak další dva vodiče slouží jako měřicí vodiče, kterými se měří napájecí napětí přímo u snímače. Díky tomu je možno upravovat změny napájecího napětí, ke kterému dochází díky úbytkům na přívodních vodičích, přímo vyhodnocovací jednotkou. Nevýhoda tohoto zapojení spočívá v nutnosti vlastnit speciální vyhodnocovací elektronikou pro efektivní využití těchto dvou dalších vodičů často nazývaných SENSE.

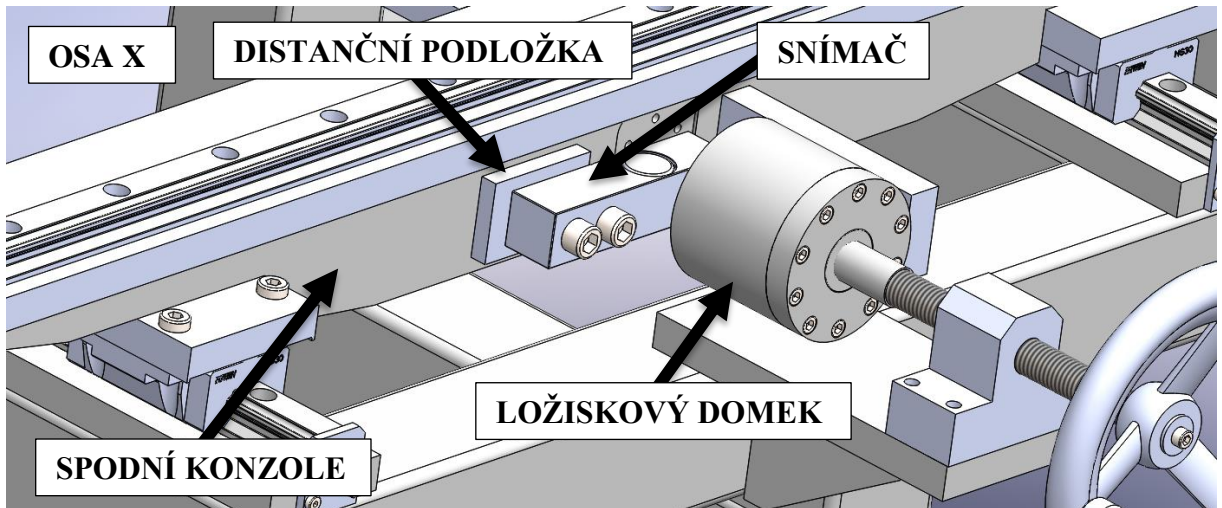


Obr. 48 Schéma zapojení čtyř vodičového snímače utilcell M350

Výrobce doporučena nominální napájecí napětí je 10 V DC. To znamená, že při citlivosti snímače 2 mV/V bude maximální výstupní napětí rovnou 20 mV ($2\text{mV/V} \times 10\text{ V} = 20\text{ mV}$). Protože přesné citlivosti 2 mV/V nemusí být docíleno, snímače jsou dodávány s informací o přesné hodnotě citlivosti, tudíž je možné získat velmi přesně maximální výstupní napětí ze snímače za předpokladu nezměněné délky vodiče. Citlivost tohoto typu snímače je také závislá na délce vodiče. Poslední důležitou informací je, že přívodní kabel snímače je stíněný, ale na straně snímače stínění není spojeno na kostru snímače. Proto je nutné dbát na správné zapojení stínění při prvotní instalaci snímače, protože při tak malém signálu ze snímače mohou i slabé indukce do vodičů úplně znehodnotit měření.

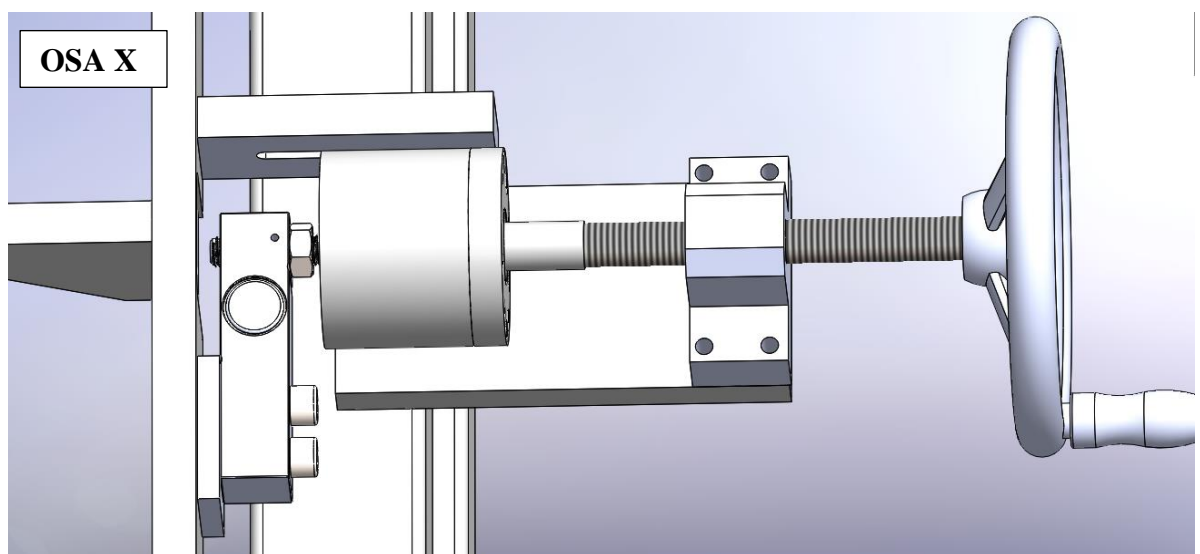
Na obrázku č. 49 a 51 je vyobrazen návrh řešení náhrady původně navrhovaných snímačů EMS40 snímači Utilcell 350n. Pro měření působící síly v ose X je potřeba prodloužit díl č. UNI-002-073 z původních 90 mm na 135 mm (příloha K) a prodloužit drážku pro aretační kolíky ložiskového domku. Zároveň tento držák je ke konstrukci přivařen, a proto je nutné původní svár odstranit a nově vyrobený držák svařit s konstrukcí ve stejné pozici jako původní. Snímač je přišroubován dvěma šrouby M12 x 60 do upraveného dílu UNI-002-24 (příloha L) přes distanční podložku od tloušťce 10 mm (příloha M), která zajišťuje minimální vzdálenost konce tenzometru od spodní konzole. Spojení ložiskového domku a tenzometru je realizováno

pomocí dílu č. LKU-012 (příloha N), který má z jedné strany vnější závit M12 a z druhé strany závit M14 pro zašroubování do tenzometru a ložiskového domku. Tento díl je jištěn proti povolení kontramaticí M12 vůči tělesu tenzometru.



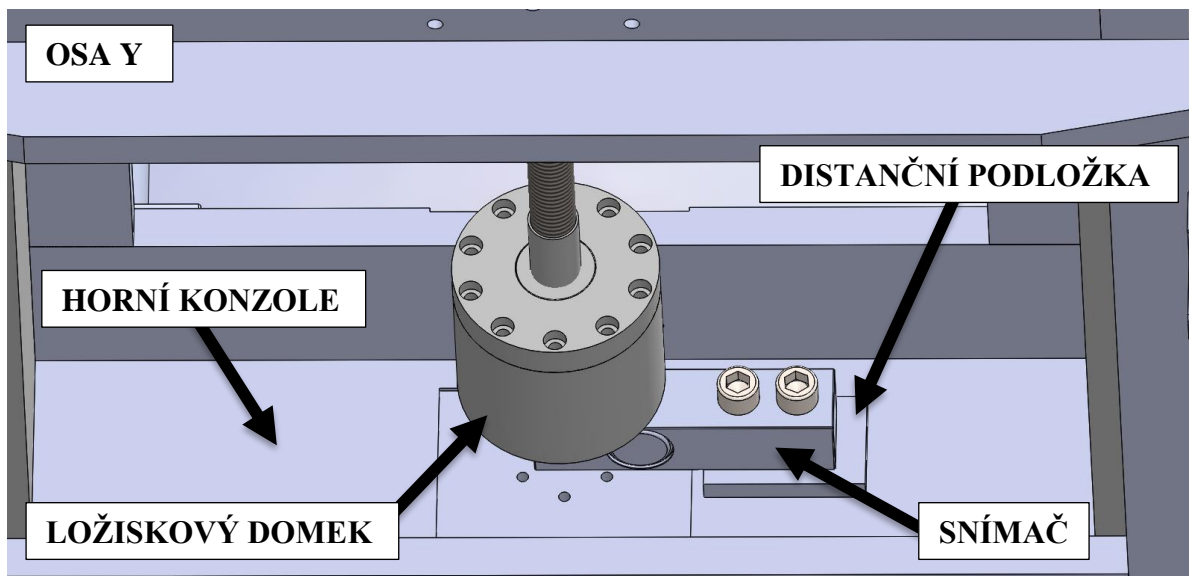
Obr. 49 - Náhrada snímače EMS40 snímačem Utilcell 350n pro měření zatížení konzole v ose X

Výhoda tohoto řešení spočívá, jak již bylo zmíněno, v náhradě původně zamýšleného snímače za jiný, který je dostupný ve VVCD. Nevýhoda tkví v tom, že je nutné upravit několik dílů, které se nacházejí v okolí snímače. Díky dodatečnému oddálení spodní konzole od ložiskového domku o 37,5 mm došlo ke změně maximální možné vzdálenosti, které deska může dosáhnout. Jako poslední bych rád zmínil, že tenzometr s rozsahem cca 4,9 kN by nemusel stačit pro všechna měření. Původně navrhovaný snímač je bohatě dimenzován na 20kN.

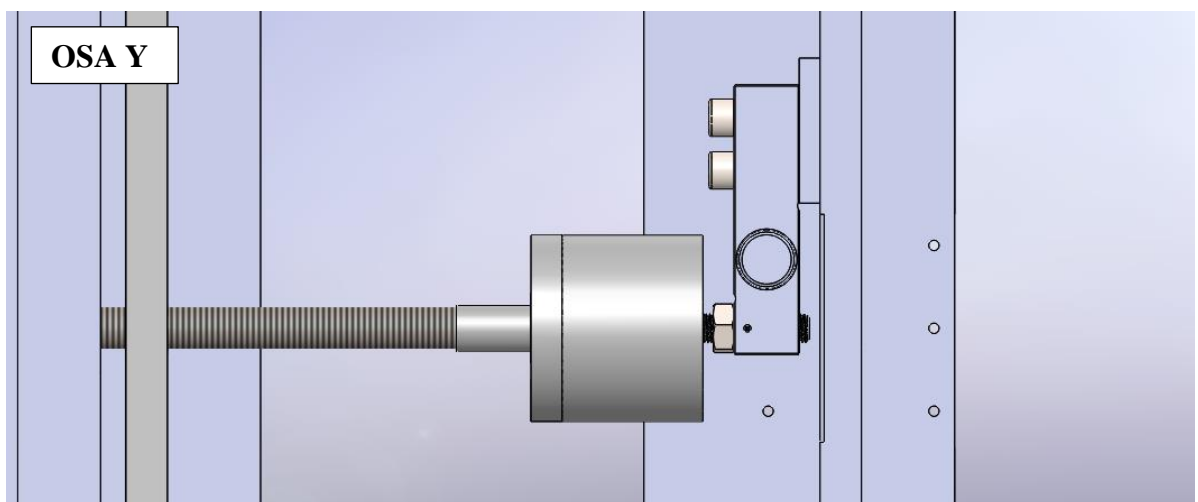


Obr. 50 - Celkový pohled na osazení snímače Utilcell 350n pro osu X

Náhrada tenzometrického snímače síly pro měření zatížení v ose Y není tak komplikované jako pro snímač v ose X. V díle UNI-002-108 je nutné vyhloubit dvě díry a do nich vyříznout dva závity M12. Tenzometr je přišroubován dvěma šrouby M12 x 60 do dílu UNI-002-108 (příloha O) přes distanční podložku od tloušťce 10 mm, která zajišťuje minimální vzdálenost konce tenzometru od základny. Spojení ložiskového domku a tenzometru je realizováno pomocí dílu č. LKU-012, který má z jedné strany vnější závit M12 a z druhé strany závit M14 pro zašroubování do tenzometru a ložiskového domku. Tento díl je jištěn proti povolení kontramaticí M12 vůči tělesu tenzometru.



Obr. 51 - Náhrada snímače EMS40 snímačem Utilcell 350n pro měření zatížení konzole v ose Y



Obr. 52 - Celkový pohled na osazení snímačem Utilcell 350n pro osu Y

4.5. Měření síly zatěžujícího ramena

Pro měření radiální síly působící na pneumatiku je možné využít některou z variant:

- měření dílenskou váhou,
- tenzometrický snímač umístěný uprostřed pracovní desky,
- tenzometrické snímače umístěné na prostřednímu rámu.

4.6. Měření dílenskou váhou

Zatížení pneumatiky může být měřeno digitální váhou vloženou pod pneumatiku (např. Intercomp SW-20K, Longacre Matrix). VVCD UPCE je vybaveno nájezdovými vahami DINI ARGEO s vyhodnocovací jednotkou DFWKR. Hodnota zobrazená na váze bude odpovídat radiální síle v pneumatice.

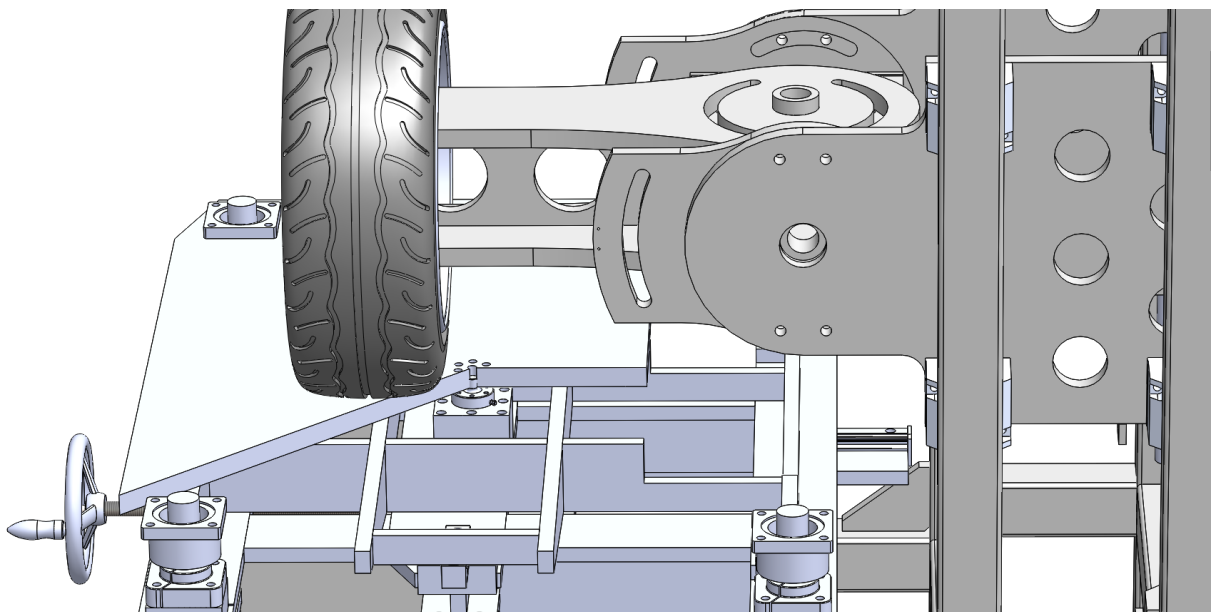


Obr. 53 - Nájezdové váhy DINI ARGEO DFWR

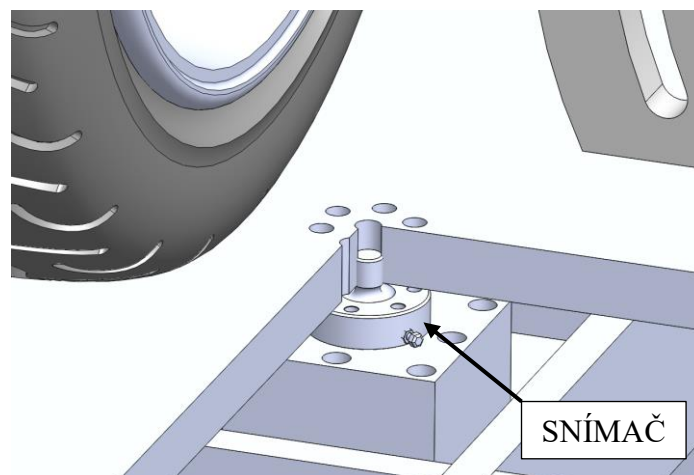
Nevýhoda tohoto uspořádání spočívá v nemožnosti měřit zatěžující sílu při výměně podložky za typ s jiným povrchem nebo při vložení podložky s nerovností. Další nevýhoda je nízká maximální neměřitelná hmotnost některých digitálních vah. Např. Longacre Matrix je vhodný pro měření do zátěže maximální 500 kg/podložka, Intercomp SW-20K je konstruován pro měření až 10 000 kg/podložka. Zároveň jednoúčelové využití digitálních vah pro trvalé používání na statickém adhezoru je neekonomické.

4.7. Snímač umístěný uprostřed pracovní desky

Další možností je měřit vzniklou sílu mezi deskou (horní konzole) o kterou se opírá pneumatika a střední konzolí statického adhezoru pomocí snímače EMS40. Při návrhu statického adhezoru bylo počítáno s osazením membránového snímače mezi tyto konzole. Horní konzole je na čtyřech místech uložena v lineárním vedení FAG 40, které přenáší boční síly na horní konzoli a zároveň umožňuje nepatrný svislý posuv celku. Snímač je z jedné strany uchycen do kostky, která je přišroubovaná ke střední konzole a z druhé strany upevněn v horní konzole pomocí závitu M14. Uložení bylo navrženo pro použití univerzálního membránového snímače EMSYST EMS-40 [37], stejného jako pro měření bočních sil.

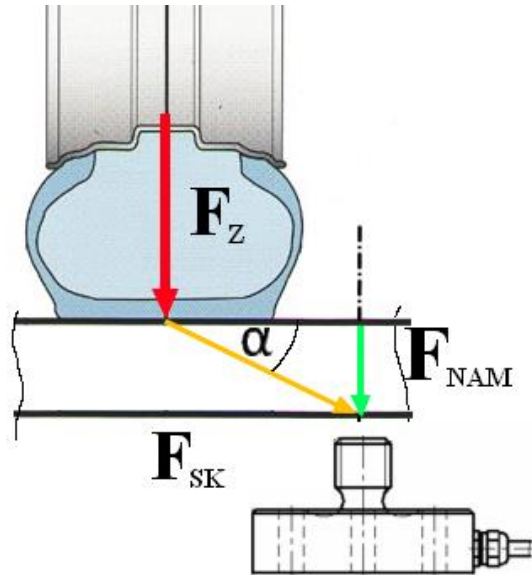


Obr. 54 – Pohled na spodní stranu konzoly desky se snímačem EMS40



Obr. 55 - Detail umístění snímače EMS40

Nevýhoda tohoto uspořádání spočívá v tom, že měřená síla není v ose snímacího tenzometru, ale je k ní orientována pod úhlem menším než 90°. Je-li síla orientována nad úroveň měřicí roviny, vnáší do měření záporné hodnoty a chování snímačů sil je v tomto případě těžko určitelné. Přesto je měření možné, avšak je potřeba použít přepočítání a počítat s tím, že do celého měření je vnesena chyba způsobená nerovnoběžností vektorů měřené a gravitační síly.



Obr. 56 – Měření sil ve směru jiném než kolmém

Vzorec pro přepočítání naměřené hodnoty na skutečnou:

$$F_{SK} = \frac{F_{NAM}}{\sin \alpha} \quad (8)$$

kde: F_{NAM} [N] naměřená hodnota síly
 F_{SK} [N] skutečná hodnota síly
 α [°] úhel odklonu síly od roviny měření

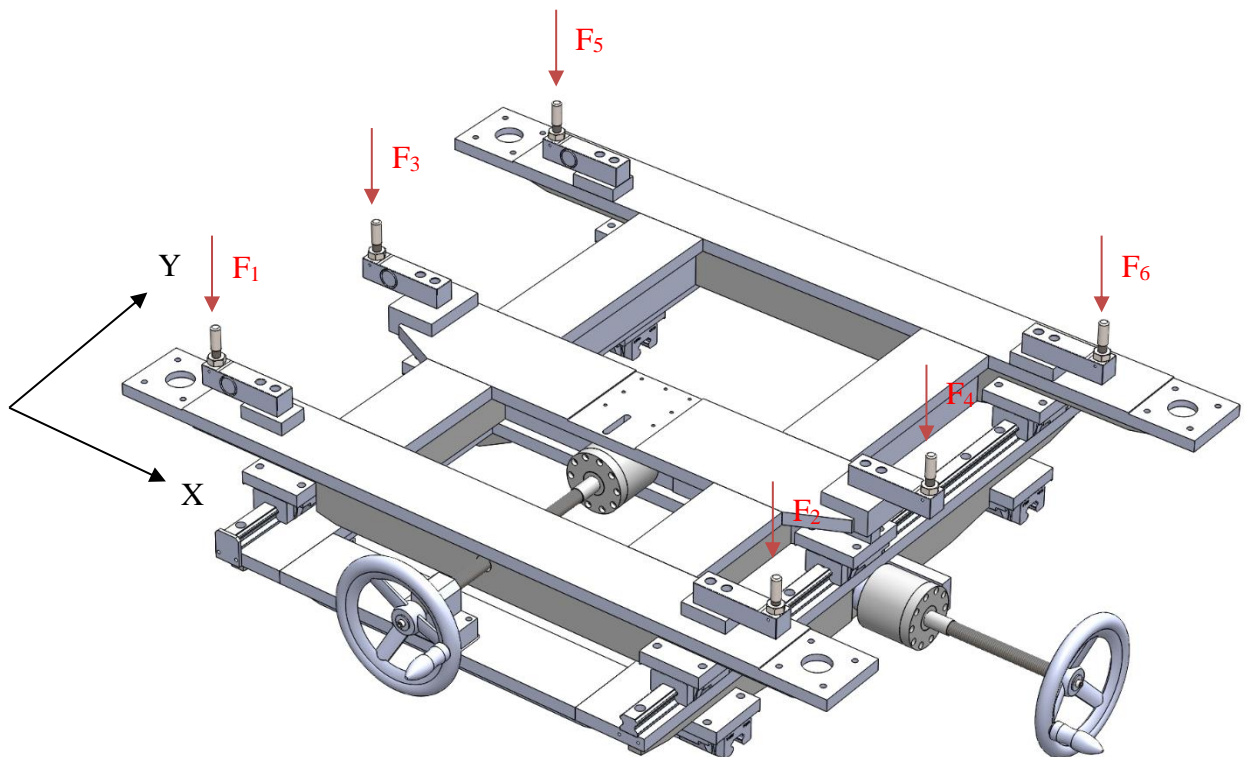
Jak již bylo zmíněno, tak měření takovýchto sil není nejpřesnější. Kvůli odklonu vektorů měřené a gravitační síly a kvůli nutnosti pracování s přesnou znalostí úhlu. Změní-li se v průběhu měření úhel, změní se i převodní koeficient funkce sinus. Bylo by také vhodné zvolit jiný typ snímače. Místo membránového použít platformový snímač (tzv. singlepoint), který je vhodnější díky větší toleranci nestředného zatížení. Tak jako tak tento typ měření nese rizika snížení přesnosti měření [37]. Bohužel je zde ještě další problém. Uložení horní desky

a umístění snímače tak, jak jsou nyní provedena by způsobilo nežádoucí naklonění desky. Pokud by se deska nenakláněla, čemuž jednobodovým mimo středním uložením snímače nezabráníme, pak by nebylo nutné se touto skutečností zabývat a cokoliv přepočítávat. Pokud ale silové působení nepůsobí v ose snímače (v tomto případě docela problematické realizovat), potom potřebujeme minimálně 3 měřící body, abychom silové působení nezkresleně zachytili a tento problém vyřešíme použitím několika snímačů připevněných ke středové konzoli.

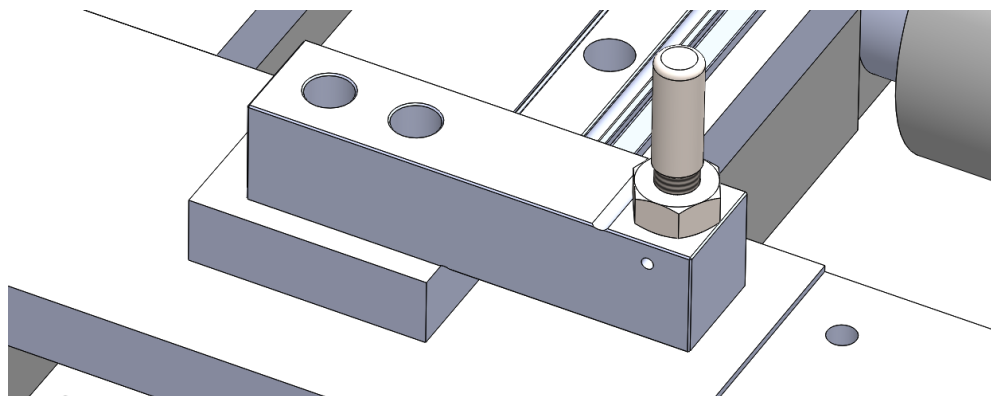
4.8. Tenzometrické snímače umístěné ve středové konzoli

Díky získaným poznatkům o funkci tenzometrických vah, můžeme aplikovat tento model na statický adhezoru. Při stavbě statického adhezoru byla provedena změna, vůči původní dokumentaci. Došlo k prodloužení ramene, které pevně drží měřící kolo s pneumatikou. To je příčina proč původní návrh umístění tenzometru nelze aplikovat. Na desku bude působit síla vyvinutá hydraulickým válcem, přenášená skrz pneumatiku a dále přes vymezovací šrouby tenzometrů (příloha P) na samotné snímače. Osazení všech šesti tenzometrů není nutné. Je možné použít pouze čtyři krajní snímače. Rozložení tenzometrů vychází ze snahy přiblížit se místům nejbližší lineárním ložiskům, kde je předpoklad přenášení sil. Tenzometry nejbližší k nastavovacímu kolečku osy Y budou při většině měření zatěžovány největší silou. Poslední dva tenzometry budou ze všech zatěžovány nejméně, protože většina zatížení se rozloží mezi přední tenzometry díky působení hlavní síly v ose mezi přední a prostřední řadou tenzometrů.

První a třetí řada tenzometrů je uchycena přes přídatnou desku (příloha Q) k prostřední konzole pomocí šroubů M12 x 50. Druhá řada tenzometrů má odlišnou podložku (příloha R), která je více vysutá do prostoru, aby bylo dosaženo stejné osy působení síly na všechny tenzometry. Všechny tyto přídatné desky jsou ke středové konzoli přivařeny.

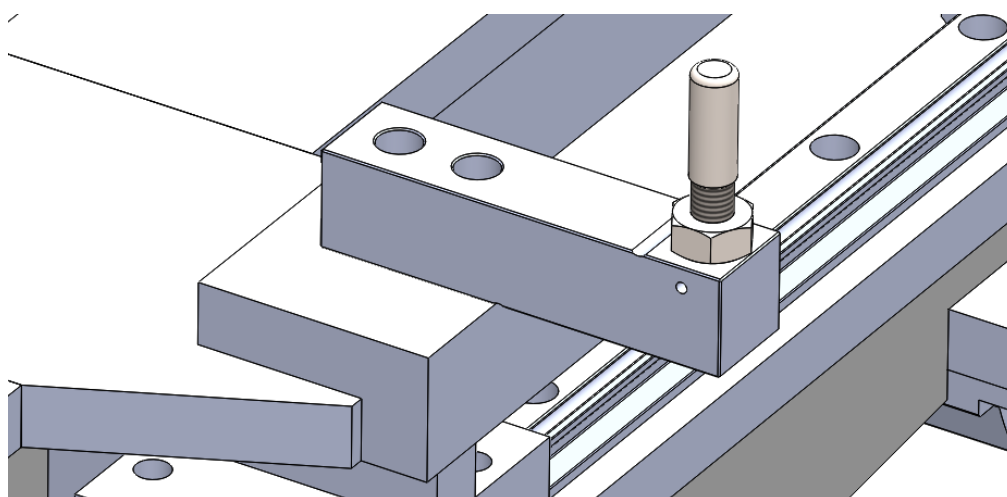


Obr. 57 – Celkový pohled na lokaci snímačů na střední konzoli

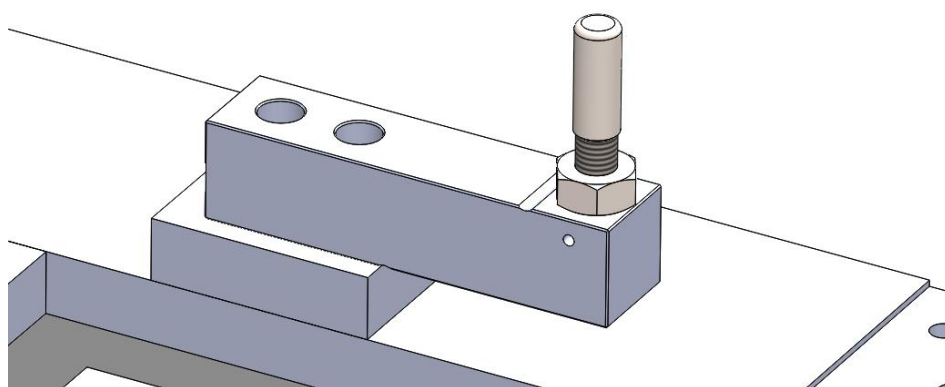


Obr. 58 - Detail umístění předního snímače

První řada snímačů musí být přišroubována šrouby s šestihlannou hlavou. Při použití šroubů s inbusovou hlavou může dojít ke kolizi s horní konzolí.



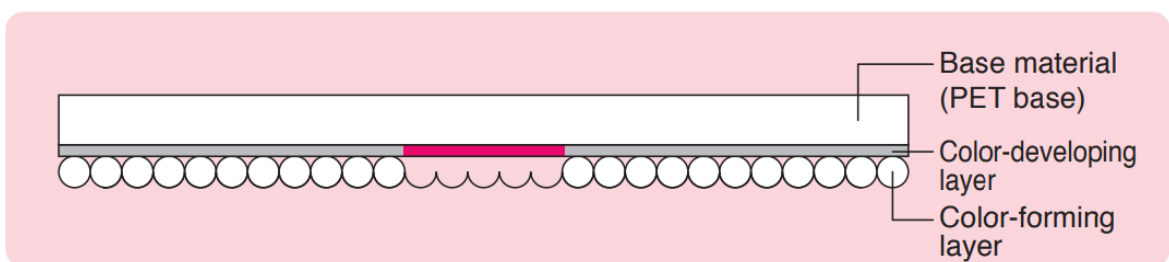
Obr. 59 - Detail umístění prostředního snímače



Obr. 60 - Detail umístění zadního snímače

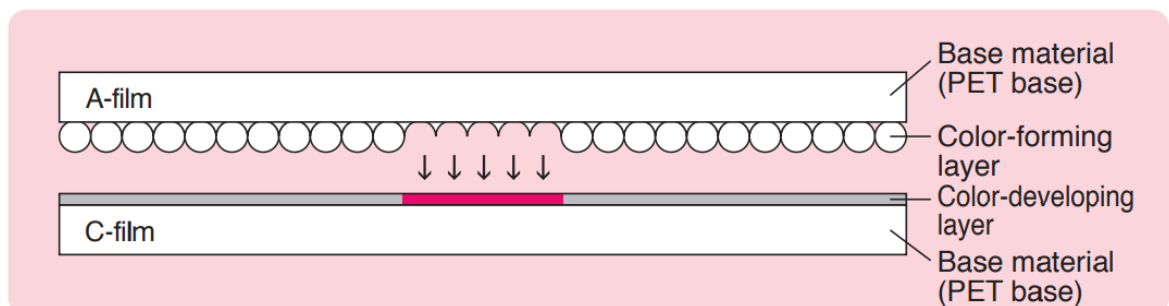
4.9. Měření rozložení tlaku mezi pneumatikou a podložkou

Pro informativní měření vlivu velikosti pneumatiky, jejího huštění a provedení dezénu na velikost stopy pneumatiky je výhodné použít tlakocitlivý film FUJI Prescale. Princip funkce je znázorněn na obrázcích 61 a 62. Tlakocitlivé filmy Prescale se dělí na dva základní typy – jednolistové (mono-sheet) a dvoulistové (two-sheet). Celkem existuje na trhu sedm druhů filmů pro různé rozsahy tlaků (0,05 až 300 MPa). Jednolistový film je složen z vrstvy polyesteru, na které je nanесena vrstva reagující na barvicí látky, které jsou uložené v další vrstvě v mikro kapslích.



Obr. 61 – Princip jednolistového typu tlakocitlivého filmu FUJI Prescale [39]

Dvoulistový film se skládá ze dvou polyesterových vrstev, jež se k sobě přiloží před započítím měření. Tenká fólie (100 μ m x2) se vloží pod měřený objekt a po aplikaci tlaku dojde k porušení mikro kapslí, které obsahují barvicí látky. Destrukce kapslí je navržena tak, aby jejich porušení probíhalo v závislosti na aplikovaném zatížení. Intenzita výsledného zabarvení odpovídá výši působícího tlaku. Hodnoty intenzity barvy se pak porovnávají s barevnou škálou hodnot zatížení a výsledný působící tlak se určí odečtením z grafu závislosti na zabarvení a okolních podmínkách měření.



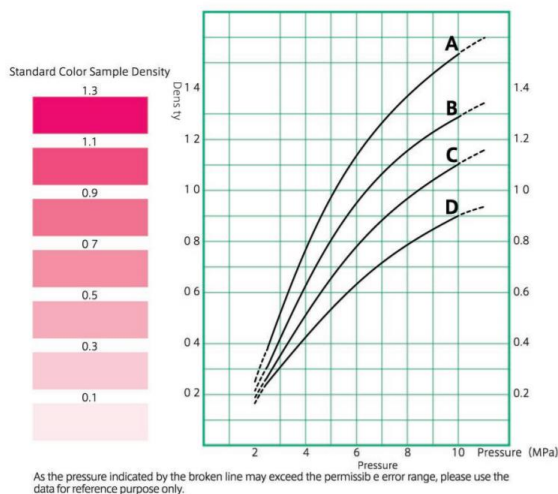
Obr. 62 – Princip dvoulistového typu tlakocitlivého filmu FUJI Prescale [39]

● **Momentary pressure**

Measurement pressure range: Low pressure (2.5~10 MPa)

Pressure application condition: Time to reach the pressure 5 sec.

Time of retention at the pressure 5 sec.



Obr. 63 – Graf pro vyhodnocení tlaku podle zabarvení míst na fólii [39]

Jako vhodné se jeví zvolit film Fujifilm PRESCALE LLLW R270. Její rozsah 2 až 6 kg/cm² (0,2 – 0,59 MPa) by měl být dostatečný pro měření většiny pneumatik pro osobní automobily. Při výběru vhodného filmu je možné se orientačně řídit tím, že hodnota tlaku ve styčné ploše pneumatiky je přibližně rovna vnitřnímu tlaku huštění pneumatiky. Typická přesnost zaznamenávaného tlaku je v rozmezí ± 10 % při okolní teplotě 23 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu.

Film type	Pressure range [MPa]								Product size W(mm)×L(m)	
	0.05	0.2	0.5	0.6	2.5	10	50	130		300
Extreme Low Pressure (LLLLW)	█									310×3
Ultra Super Low Pressure (LLLW)		█								270×5
Super Low Pressure (LLW)			█							270×6
Low Pressure (LW)				█						270×12
Medium Pressure (MW)					█					270×12
Medium Pressure (MS)						█				270×12
High Pressure (HS)							█			270×12
Super High Pressure (HHS)								█		270×12

Obr. 64 – Tabulka s rozsahy tlakocitlivých filmů [39]

Vyhodnocení velikosti plochy může být provedeno pomocí elektronického zpracování otisků v programu FPD-8010E od společnosti FUJIFILM anebo v programu AutoCAD, SolidWorks pomocí výpočtu zabarvené plochy. Výhoda tohoto řešení může být v pozdějším použití na upraveném statického adhezoru pro měření na různých površích.

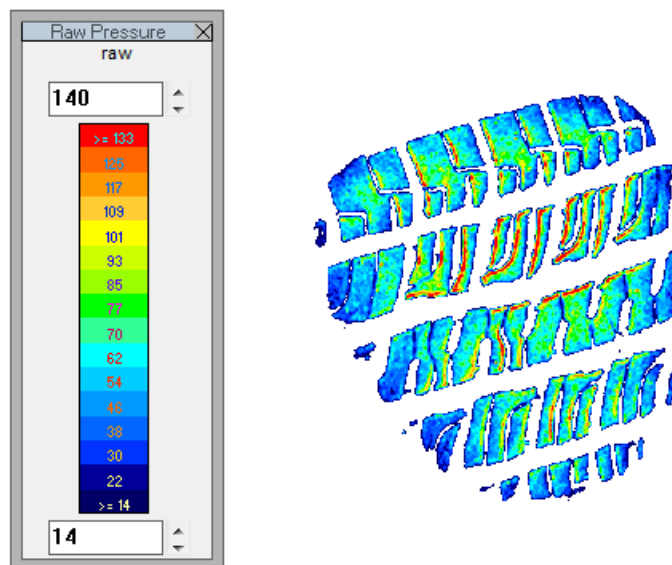
Alternativa pro měření otisku pneumatiky může být systém TireScan™ CrossDrive od společnosti Tekscan. Systém se skládá ze 250 000 snímacích elementů na ploše

508 x 508 mm, využívá rezistivní snímače s přesností $\pm 5 \%$ a rozsahem měřeného tlaku 0 až 41 MPa. Díky tomu je možno měřit tlak ve stopě během působení sil při zrychlení, zpomalení a při statických měření [39].



Obr. 65 – TireScan™ VersaTek™ určený pro měření osobních a lehkých nákladních vozidel [40]

Výhoda tohoto systému je v rychlosti získaných dat a opakovatelnosti měření vůči Prescale systému od FUJIFILM. Všechna data je možné zpracovávat ihned po naměření v reálném čase bez nutnosti skenovat tenký film, který není možné po aplikaci opětovně použít. Hlavní nevýhoda, kromě finanční náročnosti, spočívá v nemožnosti použití speciální podložky umístěné na desce statického adhezoru při budoucím rozšíření o měření na odlišných površích.



Obr. 66 – Ukázka výsledku rozložení sil zpracovaných v počítači [41]

4.10. Hydraulické zařízení

V současné době je statický adhezor osazen hydraulickou ruční pumpou P157D od výrobce SPX Flow inc. Tato pumpa je spojena jako jeden komplexní celek se zásobníkem hydraulické kapaliny o objemu 2491 cm³, čtyřcestným rozdělovacím ventilem (slouží ke změně směru pohybu přímočarého válce) a přetlakovým ventilem. Jeden pracovní zdvih odpovídá 10,7 cm³ hydraulické kapaliny a maximální tlak při použití prvního stupně 9,7 MPa.



Obr. 67 - Hydraulická ruční pumpa P157D

Vedení tlakového média je uskutečněno ve vysokotlakých hadicích na obou koncích opatřených koncovkami se závitem 3/8“ NPTF. Okruh je uzavřen dvojčinným hydraulickým válcem HM-40/22-500-R (lineární hydromotor), který mění tlakovou energii kapaliny na energii mechanickou. Hydraulický válec vertikálně zatěžuje zkoumanou pneumatiku. Válec má průměr vnitřního válce 40 mm, zdvih 500 mm, maximální pracovní tlak 13 MPa (daný limitem ruční pumpy) a maximální výsuvnou silou 16,64 kN.

For Use With	Order No.	Stage	Volume & Pressure				Handle or Foot Lever Effort		Type	Reservoir				Product Weight	
			Volume per stroke		Maximum Pressure					Oil Capacity		Usable Oil Capacity			
			In. ³	cm ³	psi	bar	lbs.	kg		In. ³	cm ³	lbs.	kg.		
Double Acting Cylinders	P157D	1	0.650	10.7	1400	97	140	63.5	B	152	2491	137	2245	28.8	13.1
		2	0.160	2.6	10000	700									
(Pump includes 4-Way Valve)	P159D	1	2.600	42.6	325	22	140	63.5	B	152	2491	137	2245	27.9	12.7
		2	0.160	2.6	10000	700									
	P300D	1	2.600	42.6	325	22	140	63.5	C	1.5 gal.	5.71	310	5081	57.0	25.9
		2	0.160	2.6	10000	700									
P460D	1	7.350	120.5	325	22	90	40.8	D	2.5 gal.	9.51	460	7539	57.9	26.3	
	2	0.294	4.6	10000	700										

Obr. 68 – Tabulka parametrů hydraulické ruční pumpy P157D

Výpočet síly hydraulického válce při vysouvání a maximálním tlaku 13 MPa:

$$F_n = S \cdot p - F_{tr} = 1,256 \cdot 10^{-3} \cdot 13 \cdot 10^6 = 16,336 \text{ kN} \quad (6)$$

Zpětný zdvih:

$$F_n = S' \cdot p - F_{tr} = 876,504 \cdot 13 \cdot 10^6 = 11,394 \text{ kN} \quad (7)$$

kde:

$$S = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} [\text{mm}^2] \quad \text{účinná plocha při vysouvání pístu}$$

$$S' = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} [\text{mm}^2] \quad \text{účinná plocha pístu na straně pístnice při zasouvání}$$

$$F_n [\text{N}] \quad \text{efektivní síla pístu}$$

$$p [\text{MPa}] \quad \text{pracovní tlak}$$

$$D [\text{m}] \quad \text{vnitřní průměr pístu}$$

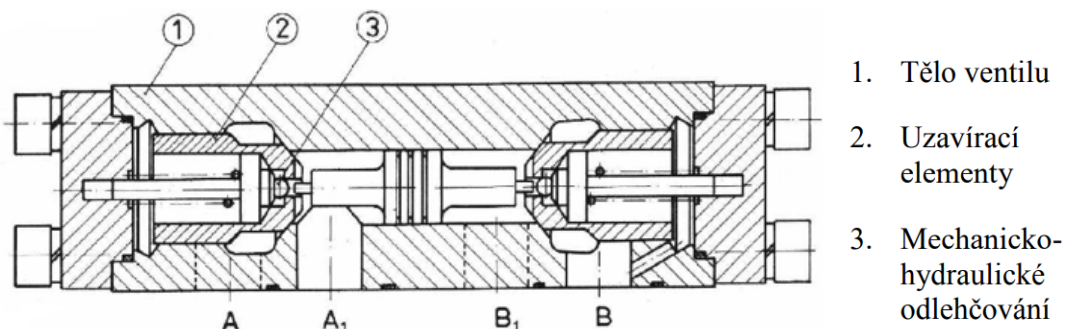
$$d [\text{m}] \quad \text{průměr pístnice}$$

Z předběžných výpočtů plyne, že teoretická maximální radiální síla vyvinutá na pneumatiku bude cca 11,4 kN, tj. přibližně 1161 kg (bez přičtení hmotnosti ramena – cca 262 kg a zanedbání hydraulických ztrát). Dle tabulek bude tato hodnota dostatečná pro testování pneumatik osobních vozidel s nejvyšším indexem nosnosti Li (load index) 101, což odpovídá nosnosti 825 Kg, a i při zatížení na 125 % Li dle normy se dostaneme s rezervou na 1031,25 kg. Pokud bychom chtěli testovat při zatížení 150 % Li (např. pro studium deformace silně přetížené pneumatiky), budeme muset použít pneumatiku s adekvátně nižším indexem nosnosti. Větší zatěžovací sílu získáme tehdy, když hydraulický válec otočíme opačně. Pokud bude dostatečná délka přívodních hadic, tak jediná nevýhoda toho řešení bude ve zvýšeném namáhání přívodních hadic a jejich předčasném opotřebení. Díky této jednoduché a nenáročné modifikaci bychom měli k dispozici sílu o velikost 16,3 kN místo původní 11,4 kN. Přírůstek síly je 43 % což je 4,9 kN, a to není zanedbatelný rozdíl.

Během testování statického adhezoru bylo zjištěno, že rameno začne nekontrolovaně klesat při přepnutí ručního ventilu do pozice „dolů“. Tento jev lze minimalizovat otočením páky

do neutrální polohy. V tento moment jsou ve čtyřcestném ventilu všechny cesty zavřeny. Následným vychýlením páky o pár stupňů do pozice dolů lze regulovat klesání ramene, ale v tento moment není možné, jakkoliv urychlovat/zpomalovat klesání tímto směrem za pomoci zvyšováním tlaku na vstupu do čtyřcestného ventilu. Na jedné straně je to způsobeno tím, že samotné rameno váží cca 262 kg, což není zanedbatelná hmotnost a za druhé, přirozená vlastnost čtyřcestného ventilu je propojení vždy dvou cest mezi sebou anebo zavření všech. Když otočíme páku do pozice dolů, tak spojíme spodní část pístu napřímo s vyrovnávací nádobou. V této cestě není žádná restrikce, tudíž rameno svojí vahou vytlačuje hydraulickou kapalinu, která se nachází pod pístem.

Problém je možno vyřešit dvěma způsoby. Buď tak, že do hydraulického okruhu se zapojí tzv. hydraulický zámek. Hydraulický zámek vznikne spojením dvou neřízených zpětných ventilů, které mají propojené jejich uzavírací elementy. Tímto dosáhneme prvku, který obvod fixuje. V případě, že do okruhu nepřitéká médium, tak z něj žádné neodchází. Velmi často se tímto prvkem setkáme u zvedacích zařízení, protože zamezí pádu břemene, a proto se instaluje co nejbliž hydromotoru.



Obr. 69 - Konstrukce hydraulického zámku [43]

V těle ventilu 1 jsou vytvořené dvě dosedací plochy pro uzavírací elementy (kuželky). Uzavírací elementy jsou tvořené tělesem, v kterém je vytvořené sedlo pro nízko průtokový mechanicko-hydraulický odlehčovací systém 3 (kulička s pružinou). Odlehčovací systém zlepšuje dynamické vlastnosti hydraulického okruhu. Kuželky jsou tlačeny pružinami do sedla. Otevření kuličky v závěrném směru průtoku je prováděno hydraulicko-mechanickým pohybem dvojčinného pístu ve směru tlakového spádu proti uzavřené kuličce. Otevření hlavní kuželky 2 je zabezpečované hydraulicky vznikem tlakové diference. Velikost tlaku $p_p = p_{ak}$ (resp. p_B) potřebného k otevření kuličky ve směru průtoku B1-B (resp. A1-A) při tlaku p v přípojce B1 (resp. A1) je možné vyčíst v grafech od výrobce daného hydraulického zámku. Ventily

se prakticky používají pro hermetické uzavření dvou větví hydraulického obvodu. Tudiž v libovolné klidové poloze nedochází k plazivému pohybu břemena dlouhodobě zatíženého hydromotoru. Pro bezpečné uzavření obou kuliček je potřeba v klidové poloze rozvaděče zajistit propojení obou přívodů kapaliny (A, B) s vratnou větví obvodu [43].

Druhý způsob řešení padání ramene je odstranění ruční pumpy a nahrazení ji kompaktním hydraulickým agregátem a jiným rozvaděčem. Tímto bude při provozu čerpadla zajištěn stálý přísun tlaku jak před píst, tak za píst a nemělo by docházet k nekontrolovanému podání měřeného ramene. Doporučuji se vydat směrem instalace hydraulického zámku, protože jeho pořízení je mnohem levnější, než koupě kompaktního hydraulického agregátu a všemu, co je k jeho provozu potřeba. Je možné, že i k této variantě bude zapotřebí nainstalovat hydraulický zámek poblíž hydromotoru. Navíc pro většinu měření bude dostatečné změření jen určitých bodů na výsledné křivce.

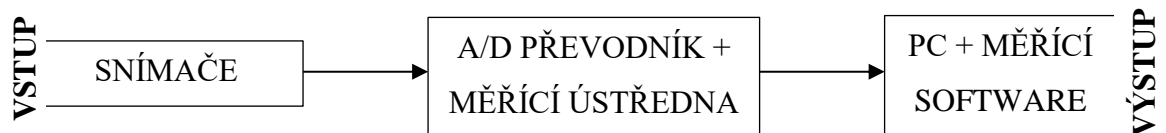


Obr. 70 - Kompaktní hydraulický agregát BHA-040-005-1 [44]

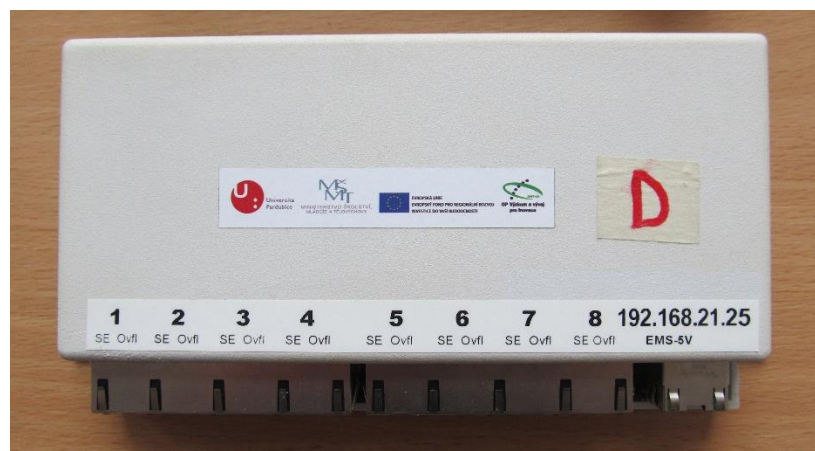
5 ZKOUŠKY NA STATICKÉM ADHEZORU

5.1. Zpracování signálů

Všechny signály ze snímačů budou zpracovávány pomocí tří osmikanálových měřících modulů EMS, které budou zapojeny do ethernetového switche (PoE switch). Do tohoto switche bude také zapojen měřící notebook, který bude zaznamenávat všechna data.



Dva měřící moduly EMS-SG budou určeny k měření tenzometrických snímačů (celomostové i půlmostové zapojení). Jeden modul EMS-VI bude určen pro měření napětí 0 - 5 V, což je vhodné např. pro potenciometrické snímače (v našem případě lankové snímače). Oba typy měřících modulů mají nastavitelný rozsah měření. Systém měřících modulů EMS je možné v případě potřeby rozšířit na maximálně 32 měřících modulů, nebo jejich ekvivalentů. Celkem bude zapojeno 11 snímačů. Lankové snímače pro měření polohy budou tři.



Obr. 71 - Měřící modul EMS-VI

Technická data:

Počet kanálů:

8

Max. vzorkovací frekv. každého kanálu

4000 vzorků/s (pomocí SW je možné individuálně nastavit vzorkovací frekvenci u každého kanálu od 0,01 Hz)

Vstupní rozsah - tenzometry	$\pm 2 \text{ mV/V}$, $\pm 1 \text{ mV/V}$, $\pm 0,5 \text{ mV/V}$, $\pm 0,25 \text{ mV/V}$
- napěťové vstupy	+ 5 V, + 2,5 V, + 1,25 V, + 0,625 V
Vstupní režim - tenzometry	Celomostové a půlmostové zapojení volitelné pomocí vstupního adaptéru, 120 Ω až 350 Ω
- napěťové vstupy	Unipolární a diferenciální vstup nastavitelný SW
Rozlišení	12bit
Přenos dat	Protokol TCP/IP
Měřicí software	Umožňuje sběr, numerické zpracování, online grafické zobrazení a ukládání měřených dat. Maximální počet zpracovávaných signálů je 200.
Napájení modulů	45 V DC, (PoE IEEE 802.3af), 5 W



Obr. 72 - Tři měřicí moduly EMS-SG a jeden EMS-VI

5.2. Postup měření na statického adhezoru

Po prvotním osazení všech snímačů, je nutné u celkem šesti snímačů Utilcell 350n nastavit minimální vzdálenost mezi koncem vymezovacího šroubu (opěrného trnu) vedoucího ze snímače a spodní stranou horní konzoly. Je nutné osadit samotný snímač před montáží vymezovacím šroubem s kontramaticí, protože později to nebude možné.

Jednou možností je, použití setinové spárové měřky o tloušťce 0,05 mm a zkontrolování vůle. V případě, že vůle bude menší než 0,05 mm tak provést nápravu povolením kontramatice, vymezení předepsané vůle a opětovného dotažení matice. To samé provést při vůli větší než 0,05 mm. Druhou variantou je lehké zašroubování vymezovacích šroubů rukou. Nedotahování kontramatice a po připojení všech snímačů k měřící ústředně vytvořit na všech šesti snímačích malé předpětí o velikosti několika jednotek N. Poté dotáhneme kontramatici. Nesmíme zapomenou v měřícím softwaru posunout plovoucí nula o tuto hodnotu. Součet zaznamenaných sil na všech šesti snímačích síly bude roven síle působící na pneumatiku.

Ostatní snímače nevyžadují žádnou zvláštní péči před uvedením statického adhezoru do provozu. Stačí se držet doporučeného postupu montáže daného výrobce snímače.

Magnetického držák s lankovým snímačem je nutné přiložit na měřící desku až po tom, co bude namontována obutá testovací pneumatika na náboj a dotažena pomocí standardně používaných kolových šroubů, kromě jednoho. Ten je potřeba nahradit speciálním držákem s drážkovým zakončením a průchozí matice. Nejprve se samotné tělo drážkovaného šroubu za pomocí stranového klíče č. 13 zašroubuje do náboje. Pak se dotáhne průchozí maticí kolo. V tento moment můžeme klipsu na konci lankového snímače zaháknout přes drážku na konci šroubu. Následně je potřeba zkontrolovat kolmost ocelového lanka vycházející ze snímače tak, aby jeho osa bylo kolmé k podložce. Popřípadě s maximální odchylkou $\pm 3^\circ$.

Měření např. úplné deformační charakteristiky pneumatiky probíhá, za předpokladu vybavení hydromotoru hydraulickým zámekem, bez problémů o rychlost zatěžování, která by dle ČSN 63 1511 měly být rozmezí 0,8 až 2,5 mm není problém dodržet sledováním vytvořené funkce rychlost zatěžování v měřícím softwaru. Pro úplnost měření je potřeba vykonat několik měření s rozdílným vnitřním tlakem v pneumatice. Výsledkem měření je graf úplné deformační charakteristiky zobrazený na obrázku č. 18 v kapitole 1.10.

5.3. Stanovení statické radiální tuhosti a statického poloměru

Obecně se skládá z prohlídky pneumatik, odležení před zkouškou, montáže na ráfek a stanovení vzduchotěsnosti. Doporučená příprava k provádění zkoušek na statickém adhezoru podle normy ČSN 63 1502 [41]. Dále je dobré zmínit, že testováním pneumatik se zabývají i další normy ČSN 63 1001-4, ČSN 63 1509 a ČSN 63 1511.

1) Prohlídka pneumatik

Je nutné podrobit pláště, duše a ochranné vložky pneumatiky vizuální prohlídce za účelem zjištění vad, které mohou ovlivnit výsledky zkoušek.

2) Kondicionování pneumatik před zkouškami (volitelné)

Před začátkem zkoušek se pláště, duše a ochranné vložky kondicionují v místnosti při teplotě od 5 do 30 °C po dobu 24 hodin. Posledních 12 h se pneumatiky kondicionují ve zkušebně při teplotě 25 ±5 °C.

3) Montáž pneumatik na zkušební ráfek

Pokud zadavatel zkoušek nedodá pneumatiky na ráfku odpovídajícího rozměru, tak se pneumatiky namontují na ráfek vhodného rozměru dle uvážení obsluhy. Tímto se vyloučí možnost poškození pláště, duše nebo ochranné vložky. Pro lepší dosednutí patky na ramínko ráfku je přípustné během montáže zvýšit huštění na dvojnásobek nejvyššího dovoleného huštění pro daný typ pneumatiky. Nejvýše však na 1200 kPa.

4) Kontrola vzduchotěsnosti (volitelné)

Po montáži pneumatiky na ráfek se pneumatika nahustí na hodnotu odpovídající nejvyšší dovolené nosnosti. K měření tlaku v pneumatice (huštění) se může použít tlakoměr podle normy ČSN 25 7201 s třídou přesnosti 1, přičemž měření hodnoty se musí pohybovat v oblasti druhé třetiny rozsahu ukazatele přístroje. Tlak se měří poprvé za 15 min od nahuštění, podruhé za dvě hodiny a potřetí až za 12 hodin po prvotním nastavení hodnoty tlaku v pneumatice.

Tlak v pneumatice nesmí poklesnout o více než 5 % z původní hodnoty. Zároveň tato hodnota nesmí překročit 20 kPa. Při změně okolního tlaku vlivem kolísání teploty okolního vzduchu nebo změnami rozměrů pneumatik je přípustná hodnota naměřeného tlaku vyšší než 20 kPa.

Jestliže je pokles tlaku v pneumatice vyšší, určí se příčina netěsnosti. Pokud lze vadu odstranit, odstraní se anebo se vymění pneumatika (duše).

5) Stabilizace nových pneumatik zajížděním

Při testování nově vyrobených a nikdy nepoužitých pneumatik se provádí zajíždění na bubnovém zkušebním stroji podle těchto podmínek:

- zatížení pneumatik musí odpovídat 80 % nejvyšší dovolené nosnosti,
- tlak v pneumatice musí odpovídat nejvyšší dovolené nosnosti,
- pro osobní automobily a motocykly musí být odvalovací rychlost 80 km.h⁻¹ a pro ostatní pneumatiky 40 km.h⁻¹,
- doba zajíždění dvě hodiny.

Pokud zadavatel má podmínky pro zajíždění stanoveny ve vlastních normách pro zkoušení, provádí se zajíždění pneumatik podle požadavků těchto norem.

K měření statické radiální tuhosti a statického poloměru se používá:

- zkušební zařízení – statický adhezor,
- měřicí pásmo s dělením po 1 mm,
- tlakoměr k měření huštění – třída přesnosti 1,0.

5.4. Postup zkoušky

Před samotným zatížením pneumatiky se změří její volný obvod měřícím pásmem. Poté se pneumatika přitlačí k opěrné podložce. Rychlost zatěžování v průběhu testu musí být v rozmezí 0,8 až 2,5 mm/s dle normy ČSN 63 1511. Deformace se zaznamenává na zaznamenávacím zařízení od doteku pneumatiky s podložkou do hodnoty radiálního zatížení, které převyšuje 1,25krát nevyšší dovolenou nosnost pneumatiky udávanou výrobcem. Radiální deformace pneumatiky se určuje při postupném zatěžování pneumatiky. Zkoušku je vhodné provést nejméně na čtyřech různých radiálních průřezech rovnoměrně rozložených po obvodu pneumatiky. Během zkoušky se tlak v pneumatice neupravuje [42].

5.5. Vyhodnocení výsledků zkoušky

Z výsledků měření se vypočte aritmetický průměr hodnot radiální deformace při zatížení, které odpovídá 75, 100 a 125 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky. Z hodnoty aritmetického průměru radiální deformace se vypočte radiální tuhost pneumatiky c_r podle vzorce:

$$c_r = \frac{9,81 \cdot (F_{r125} - F_{r75})}{S_{r125} - S_{r75}} \quad (9)$$

kde:

F_{r75} [N]	radiální zatížení odpovídající 75 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky
F_{r125} [mm]	radiální zatížení odpovídající 125 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky,
S_{r75} [mm]	aritmetický průměr hodnot radiálních deformací pneumatiky při radiálním zatížení odpovídajícím 75 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky,
S_{r125} [mm]	aritmetický průměr hodnot radiálních deformací pneumatiky při radiálním zatížení odpovídajícím 125 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky,
$9,81$ [m.s ⁻²]	zrychlení volného pádu.

Statický poloměr pneumatiky r_s se vypočte podle vzorce:

$$r_s = \frac{l_o}{s_r \times \pi} - s_r \quad (10)$$

kde: l_o [mm]	je volný obvod pneumatiky,
r_s [mm]	statický poloměr pneumatiky,
S_r [mm]	aritmetický průměr hodnot radiálních deformací pneumatiky při radiálním zatížení odpovídajícím nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky.

5.6. Náležitosti protokolu zkoušky

Zápis o provedené zkoušce by měl obsahovat následující údaje:

- a) označení pneumatiky;
- b) výsledky prohlídky pneumatiky;
- c) podmínky kondicionování pneumatiky před zkouškami (skutečná teplota a doba kondicionování);
- d) hmotnost pláště, duše a ochranné vložky;
- e) vzduchotěsnost pneumatiky;
- f) podmínky stabilizace pneumatiky zajižděním;
- g) závěr o vhodnosti pneumatiky k provedení zkoušek;
- h) obecnou charakteristiku pneumatiky podle norem na pneumatiky;
- i) označení měřicího ráfku;
- j) charakteristiku zkušebního zařízení;
- k) výsledek zkoušek ve formě tabulek naměřených hodnot nebo grafu závislosti radiální deformace na radiálním zatížení;
- l) hodnoty radiálního zatížení a deformace nutné pro výpočet statické radiální tuhosti pneumatiky a vypočtenou radiální tuhost;
- m) hodnotu volného obvodu pneumatiky;
- n) hodnotu radiálního zatížení a deformace nutné pro výpočet statického poloměru pneumatiky a výpočtový statický poloměr;
- o) datum zkoušky [42].

ZÁVĚR

Práce měla za úkol prověřit možnosti využití statického adhezoru a navrhnout jeho vylepšení. Jako vhodné řešení se ukázalo rozšíření současného zařízení o různé typy snímačů. Důraz byl kladen hlavně na možnosti využití vybavení, které již univerzita vlastní. Jedná se především o snímače od firmy Utilcell model 350n s rozsahem měření do 500 kg a lankové snímače od firmy Micro-Epsilon s označením WDS-500-P60-CR5-P a rozsahem měření do 500 mm. Dále možnost využití nájezdových podlahových vah DINI ARGEO DFWKR a využití tenzometrické ústředny složené ze dvou osmi kanálovým měřicích modulů EMS-SG a měřicího modulu EMS-VI.

Potvrdilo se, že použití původně navrženého řešení s použitím dvou snímačů EMS40 pro měření síly vynaloženou na deformaci testované pneumatiky nevyžaduje změny. Nedoporučuji tyto snímače nahrazovat navrhovaným řešením za pomoci snímačů Utilcell 350n. Tato konfigurace vyžaduje zásah do konstrukce konzoly statického adhezoru a měřicí rozsah snímače není vyhovující pro požadavek na co nejuniverzálnější měření. Původní řešení pro měření zatěžovací síly, kterou působí pneumatika na zkušební desku, za použití snímače EMS40 namontovaným mezi horní konzoli a desku doporučuji nahradit řešením novým, za použití šesti snímačů Utilcell 350n.

Použitím lankového snímače WDS-500-P60, uchyceného na magnetické základně, získáme hodnotu vzdálenosti mezi ramenem, na kterém je uchyceno kolo, a zkušební deskou. Zpracování elektrických signálů od snímačů (celkem 11 ks) je prováděno tenzometrickou ústřednou. Pomocí ethernetového rozhraní jsou data posílána ke zpracování do měřicího notebooku s nainstalovaným měřicím softwarem. Všechny tyto vstupy využijeme pro sestavení deformačních charakteristik pneumatiky, které mohou pomoci k porovnání vlastností pneumatik různých výrobců. Dalším přínosem je možnost osazení zkušební desky tlakocitlivým mikrofilmem, který umožní měření rozložení tlaku v dezénu pneumatiky. Ještě přesnějšího výsledku lze dosáhnout použitím měřicí podložky TireScan™ od společnosti Tekscan.

V rámci komplexního pojetí problému je část práce věnována i normě ČSN, která pojednává o stanovení statické radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky. Dodržování těchto zásad by mělo zaručit dosažení stejného výsledku měření na různých zařízeních, což umožní snazší porovnávání pneumatik od více výrobců.

Při řešení práce vyplynula další možná rozšíření. Jedním z nich je doplnění statického adhezoru o více redukčních podložek pro zvýšení různorodosti testovaných disků. Doporučil bych se zaměřit na tvorbu náhradního řešení pro upnutí kola. Tento postup by přinesl zjednodušení uchycení disku k rameni. Dále bych doporučil použití systému Aramis 4M pro zaznamenávání 3D deformace bočnice pneumatiky v reálném čase. Přínosem by bylo i rozšíření statického adhezoru o možnost měření pneumatik na jiném typu povrchu, než je ocel. Zároveň s tím by mohla souviset výroba různě tvarovaných překážek, které by bylo možné upevnit na zkušební desku.

Cíl práce, tedy navrzení vylepšení současného zařízení statického adhezoru, považuji za naplněný. Podařilo se najít vhodná řešení za použití stávajícího vybavení. Jeho využití při měření je dále zdokumentováno příloženými výkresy a podchyceno v navržené metodice měření. V době dokončení této práce univerzita již snímač Utilcell model 350n nevlastní, proto nebylo možné doplnit výstupy této práce o praktická měření. Ta by však mohla být tématem nějaké navazující práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BERTMAN, Stephen. *Handbook to life in ancient Mesopotamia*. New York: Oxford University Press, 2005. 35 s. ISBN 9780195183641.
- [2] *Robert William Thomson* [online]. [cit. 2017-02-10]. London: Ben Johnson, 2016. Dostupné z: <http://www.historic-uk.com/HistoryUK/HistoryofScotland/Robert-William-Thomson>
- [3] *Zrození pneumatiky 1/2* [online]. [cit. 2017-03-17]. Vacek, 2009. Dostupné z: <http://veteran.auto.cz/clanek/89/zrozeni-pneumatiky-1-2-robert-william-thomson-john-boyd-dunlop>
- [4] *Our 124-year journey* [online]. [cit. 2017-03-18]. c2017. Dostupné z: <http://www.dunloptires.com/en-US/company/tire-history>
- [5] CLARK, Samuel K. *Mechanics of pneumatic tires*. [Rev. ed.]. Washington, D.C.: For sale by the Supt. of Docs., U.S.G.P.O., 1981 38 s.
- [6] *MATERIÁLY III. VISKÓZA, RAYON, UMĚLÉ HEDVÁBÍ* [online]. [cit. 2017-03-18]. Studená, 2013. Dostupné z: <https://www.perfektnipradlo.cz/Tema/Poradna/MATERIALY-III-Viskoza-rayon-umele-hedvabi>
- [7] *CARIAGE WHEELS SPECIFICATION A.D. 1845 No 10,990* [online]. [cit. 2017-03-20]. In.: LONDON. Dostupné z: https://www.dpma.de/docs/service/klassifikationen/ipc/auto_ipc/gb001845010990a.pdf
- [8] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [9] ČSN 63 1001-4 (631001). *Názvosloví pneumatik. Zkoušení*. 1980.
- [10] KRMELA, Jan. *Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I.: [System approach to computational modelling of tyres - I. part]*. Brno: Tribun EU, 2008. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7399-365-8.
- [11] *SILIKA SMĚS* [online]. c2016. Dostupné z: <https://www.pneupremium.cz/silika-smes>
- [12] *SÚ PNEUMATIKY M+S ZIMNÉ?* [online]. [cit. 2017-04-05]. c2013. Dostupné z: <http://www.ortuspneu.sk/su-pneumatiky-m+s-zimne>
- [13] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [14] *Radial force variation* - Wikipedia. [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Radial_force_variation

- [15] REIMPELL, Jörnßen., Helmut. STOLL a Jürgen W. BETZLER. *The automotive chassis: engineering principles: chassis and vehicle overall, wheel suspensions and types of drive, axle kinematics and elastokinematics, steering, springing, tyres, construction and calculations advice*. 2nd ed. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 2001. ISBN 07-680-0657-0.
- [16] DOČKAL, Vladimír, Jan KOVANDA a František HRUBEC. *Pneumatiky*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01882-2.
- [17] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-X.
- [18] *Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky* [online]. [cit. 2017-03-20]. 2017. Dostupné z: http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce_funkce_a_vyroba_pneumatiky.html
- [19] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [20] *Speak fluent 'tyre' in one minute* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.michelin.ie/tyres/learn-share/tyre-basics/how-to-read-a-tyre-side-wall>
- [21] *UNECE Regulation No 117* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp29grrf/GRRF-71-10e.pdf>
- [22] *Pneumatiky - konstrukce* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/12->
- [23] *Winter tyre marking* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.nokianheavytyres.com/tyres/trucks-and-buses/winter-tyre-markings/>
- [24] *Universal Tyre Test Machine UTTM Stiffness Tester* [online]. [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.testingservice.de/index.php/automotive/tire-wheel/universal-tyre-test-machine-uttm-stiffness-tester>
- [25] *Introduction To Standards Testing Laboratories - Machinery Division* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.stllabs.com/machinery/>
- [26] JÍLEK, Antonín. *Zkušební zařízení pro testování pneumatik silničních vozidel* [online]. [cit. 2017-04-03]. Univerzita Pardubice, 2014. Dostupné také z: http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/59008/JilekA_Zkusebnizarizeni_JK_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [27] *Attrezzature e risorse: Prova di aderenza con British Pendulum (norma CNR. n. 105/85)* [online]. In: [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.dicea.unifi.it/vp-365-attrezzature-e-risorse.html>

- [28] NEKULA, Leoš. *Povrchové vlastnosti vozovek* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.sdruzeni-silnice.cz/Download.aspx?param=jx3godhnp7M1LWTdfUhReKjnbflatd%2F%2FbMnn3ei4oUOIy%2BKUWAGt1GA63wBsUp3dOsOevKb4trvIxgeCjGb0NiY1ErDOq1p7H05EbzKXyDDzx8msoixo%2BqA17M1NshFkScstQw%2Fr0rSBiS6O3zbIZChs1YCKiYe9ShncbbhA4rt3BBuendj%2B07bxN2EDi%2FkrQ55Shl3BgfUGTOL92GnUSQgdFJ3lyEbSJcesA%2F8UUZQEOJ%2FHnLnO89zzyHWkLIQBt3VEQj6JCgn8qIcxkOifl2L715JZttTbfNREBanRpW9umX%2Bu0a6dtaFOYd%2BcIxNUeltCNyAhmBF%2BcUBH7x97ihTUaBhO2%2FfLTMqvRqDF7mR47fv4lRuv2pC4I915DY6UvmcazXNpI8qw4JL5RrMkn0QGjHt2IHZdARULZJd>
- [29] ČSN 73 6177 (736177) [kat: 83937]. *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek*. 2015.
- [30] *Meranie a hodnotenie drsnosti vozoviek pomocou zariadení: SKIDDOMETER BV11 a PROFILOGRAPH GE* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tp2006/tp_14_2006.pdf
- [31] BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. Brno: CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-x.
- [32] ČSN ISO 13473-1. *Popis textury vozovky pomocí profilů povrchu - Část 1: Určení průměrné hloubky profilu*. 2004.
- [33] *Hydraulické ruční pumpy* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.ulbrich.cz/hydraulic-other-tools/cze/Katalogovy_list_rucni_pumpy_pro_dvojcinne_valce.pdf
- [34] *Potentiometric Displacement Sensor: Model 8719* [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: https://www.burster.com/fileadmin/user_upload/redaktion/Documents/Products/Data-Sheets/Section_8/8719_EN.pdf
- [35] *Lankové snímače - elektromechanické měření vzdálenosti* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/lankove-snimace-elektromechanicke-mereni-vzdalenosti>
- [36] *Lankové snímače pro integraci a OEM* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.micro-epsilon.cz/download/products/_wireSENSOR/dax--wireSENSOR-MK30--en.html
- [37] *Membránové snímače síly: Tenzometrický snímač síly EMS40* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.emsyst.sk/sk/products_membrane_force_sensors_sk.php
- [38] *Měření sil ve směru jiném, než kolmém* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.utilcell.com/content/mereni-sil-ve-smeru-jinem-nez-kolmem>

- [39] *Pressure measuring film FUJI PRESCALE FILM* [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: https://www.fujifilm.eu/fileadmin/products/prescale/media/Two_sheet_Type_for_Ultra_Super_Low_Pressure_klein.pdf
- [40] *TireScan VersaTek System* [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/tirescan-crossdrive-system?tab=description>
- [41] ČSN 63 1502 (631502). *Zkoušení pneumatik. Směrnice pro přípravu pneumatik k provádění zkoušek na laboratorních zařízeních*. 1989.
- [42] ČSN 63 1511 (631511). *Zkoušení pneumatik. Stanovení statické radiální tuhosti a statického poloměru*. 1983.
- [43] *Hydraulický zámok (HZ)* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <http://www.sbjainmart.sk/new/slovak/hydraulicky-zamok.html>
- [44] *Kompaktní hydraulický agregát* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: http://www.ehydraulika.cz/hydraulika_cz/eshop/14-1-Kompaktni-hydraulicke-agregaty/0/5/175-Kompaktni-hydraulicky-agregat

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Ukázka z patentu na vzduchem plněnou pneumatiku Roberta Williama [7]	11
Obr. 2 – Vývoj pevnosti pneumatiky s rayonem [5].....	12
Obr. 3 – Souhrn všech požadavků na pneumatiky [10].....	14
Obr. 4 – Příklad typů dezénů pneumatik [10].....	17
Obr. 5 – 3PMSF piktogram [20].....	18
Obr. 6 – Přehled zkoušek pneumatik jako celku [10].....	20
Obr. 7 – Zkušební zařízení pro měření radiálních a bočních deformací pneumatik [13]	20
Obr. 8 – Směry zatěžování pneumatik [14]	21
Obr. 9 – Rozdíl v konstrukci plášťů pneumatik.....	22
Obr. 10 – Změna přilnavosti diagonální pneumatiky při dočasném přetížení [21]	22
Obr. 11 – Vedení stopy radiální pneumatikou [21]	23
Obr. 12 – Konstrukce radiální pneumatiky [15]	24
Obr. 13 – Testovací stroj firmy TS TestingService [23]	26
Obr. 14 – Deformace pneumatiky v čelním řezu [10]	27
Obr. 15 – deformace pneumatiky v osovém řezu [10]	27
Obr. 16 – Deformace znázorněná tvarem dotykové plochy [10].....	27
Obr. 17 – Radiální tuhost pneumatiky [16]	28
Obr. 18 – Úplná deformační charakteristika pneumatiky [16]	29
Obr. 19 – Torzní tuhost pneumatiky [16]	30
Obr. 20 – Závislost torzní tuhosti na tlaku huštění [16]	30
Obr. 21 – Boční deformační charakteristika pneumatiky [16]	31
Obr. 22 – Závislost boční tuhosti na tlaku huštění (vlevo radiální pneumatika, vpravo diagonální pneumatika) [16].....	31
Obr. 23 – Mechanika přenosu sil ve styku kolo - vozovka [17].....	32
Obr. 24 – Vliv skluzu kola na součinitel adheze [31].....	33
Obr. 25 – Adhezní elipsa [31].....	33
Obr. 26 – Mezní situace - adhezní elipsa [31]	34
Obr. 27 – Schéma zařízení pro měření součinitele podélného a bočního tření [28].....	35
Obr. 28 – Vztah mezi rychlostí a texturou vozovky [30]	36
Obr. 29 – Zkušební zařízení – kyvadlo [27]	36
Obr. 30 – Princip výpočtu střední hloubky povrchu vozovky (MPD) [28].....	37
Obr. 31 – Statický adhezor SA-1	38

Obr. 32 – Detail ramena s uchyceným kolem.....	39
Obr. 33 - lankový snímačů MICRO-EPSILON WDS-500-P60-CR5-P.....	41
Obr. 34 – Odpor snímače je nejvyšší při plně vytaženém lanku	42
Obr. 35 - Sestava držáku lankového snímače	43
Obr. 36 – Detail uchycení sponky lankového snímače.....	44
Obr. 37 – Zobrazení drážkovaného šroubu včetně průchozí matice M14 x 1,5	44
Obr. 38 - Celkový pohled na osazení lankového snímače pro měření vzdálenosti v ose X	45
Obr. 39 - Detail na uchycení lankového snímače WDS-500-P60	45
Obr. 40 - Detail na aretace klipsy lankového snímače	46
Obr. 41 - Celkový pohled na osazení lankového snímače pro měření vzdálenosti v ose Y	46
Obr. 42 – Detail na uchycení lankového snímače WDS-500-P60.....	47
Obr. 43 - Detail na držák klipsy lankového snímače	47
Obr. 44 – Tenzometrický snímač síly EMS40 [37]	48
Obr. 45 – Pozice snímače pro měření síly v ose X	49
Obr. 46 – Umístění snímače pro měření síly v ose Y	49
Obr. 47 - Snímač Utilcell M350	50
Obr. 48 Schéma zapojení čtyř vodičového snímače utilcell M350	51
Obr. 49 - Náhrada snímače EMS40 snímačem Utilcell 350n pro měření zatížení konzole v ose X	52
Obr. 50 - Celkový pohled na osazení snímače Utilcell 350n pro osu X.....	52
Obr. 51 - Náhrada snímače EMS40 snímačem Utilcell 350n pro měření zatížení konzole v ose Y	53
Obr. 52 - Celkový pohled na osazení snímačem Utilcell 350n pro osu Y	53
Obr. 53 - Nájezdové váhy DINI ARGEO DFWKR	54
Obr. 54 – Pohled na spodní stranu konzoly desky se snímačem EMS40.....	55
Obr. 55 - Detail umístění snímače EMS40	55
Obr. 56 – Měření sil ve směru jiném než kolmém.....	56
Obr. 57 – Celkový pohled na lokaci snímačů na střední konzoli	58
Obr. 58 - Detail umístění předního snímače	59
Obr. 59 - Detail umístění prostředního snímače	59
Obr. 60 - Detail umístění zadního snímače.....	59
Obr. 61 – Princip jednolistového typu tlakocitlivého filmu FUJI Prescale [39]	60
Obr. 62 – Princip dvoulistového typu tlakocitlivého filmu FUJI Prescale [39]	60

Obr. 63 – Graf pro vyhodnocení tlaku podle zbarvení míst na fólii [39]	61
Obr. 64 – Tabulka s rozsahy tlakocitlivých filmů [39].....	61
Obr. 65 – TireScan™ VersaTek™ určený pro měření osobních a lehkých nákladních vozidel [40].....	62
Obr. 66 – Ukázka výsledku rozložení sil zpracovaných v počítači [41]	62
Obr. 67 - Hydraulická ruční pumpa P157D	63
Obr. 68 – Tabulka parametrů hydraulické ruční pumpy P157D.....	63
Obr. 69 - Konstrukce hydraulického zámku [43]	65
Obr. 70 - Kompaktní hydraulický agregát BHA-040-005-1 [44].....	66
Obr. 71 - Měřicí modul EMS-VI	67
Obr. 72 - Tři měřicí moduly EMS-SG a jeden EMS-VI.....	68

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A Charakteristické vlastnosti snímače WDS-500-P60-CR-P.....	1
PŘÍLOHA B Výkres redukčního členu	2
PŘÍLOHA C Výkres šroubu s drážkou.....	3
PŘÍLOHA D Výkres deska.....	4
PŘÍLOHA E Výkres podložka	5
PŘÍLOHA F Výkres žebra.....	6
PŘÍLOHA G Výkres držáku lankového snímače	7
PŘÍLOHA H Výkres držáku lankového snímače	8
PŘÍLOHA I Charakteristické vlastnosti snímače síly EMS40	9
PŘÍLOHA J Charakteristické vlastnosti snímače síly 350n	10
PŘÍLOHA K Výkres držáku reakce ložiskového domku.....	11
PŘÍLOHA L Výkres žebra	12
PŘÍLOHA M Výkres distanční podložky.....	13
PŘÍLOHA N Výkres spojovacího šroubu	14
PŘÍLOHA O Výkres žebra	15
PŘÍLOHA P Výkres žebra.....	16
PŘÍLOHA Q Výkres přídatné desky pod snímač tl. 20 mm.....	17
PŘÍLOHA R Výkres prostřední přídatné desky pod snímač	18
PŘÍLOHA S Výkres s rozmístěním snímačů na střední konzole	19

PŘÍLOHA A Charakteristické vlastnosti snímače WDS-500-P60-CR-P

Model	WDS-100-P60	WDS-150-P60	WDS-300-P60	WDS-500-P60	WDS-750-P60	WDS-1000-P60	WDS-1500-P60	
Output	P/U/I							
Measuring range	100mm	150mm	300mm	500mm	750mm	1000mm	1500mm	
Linearity	<0.1% FSO	-	-	-	<0.5mm	<0.75mm	<1mm	<1.5mm
	<0.25% FSO	-	-	<0.75mm	-	-	-	-
	<0.5% FSO	<0.5mm	<0.75mm	-	-	-	-	-
Resolution	quasi infinite							
Sensor element	conductive plastic/ wire potentiometer			hybrid potentiometer				
Temperature range	-20 ... +80°C							
Material	housing	aluminium						
	draw wire	ted polyamid stainless steel (ø 0.45mm)						
Sensor mounting	mounting grooves in the housing							
Wire mounting	wire clip							
Wire acceleration	appr. 10 - 15g (dependent upon measuring range)							
Wire retraction force (min)	6.5N	4.5N	6N	6N	4N	5N	3.5N	
Wire extension force (max)	7.5N	5.5N	7.5N	7.5N	5.5N	7.5N	5.5N	
Protection class	IP 65 (only if connected)							
Vibration	20g, 20Hz - 2kHz							
Mechanical shock	50g, 10ms							
Electrical connection	P	integrated cable, radial, 1m						
	U, I	flange connector, radial, 8-pin, DIN45326						
Weight	appr. 370g							

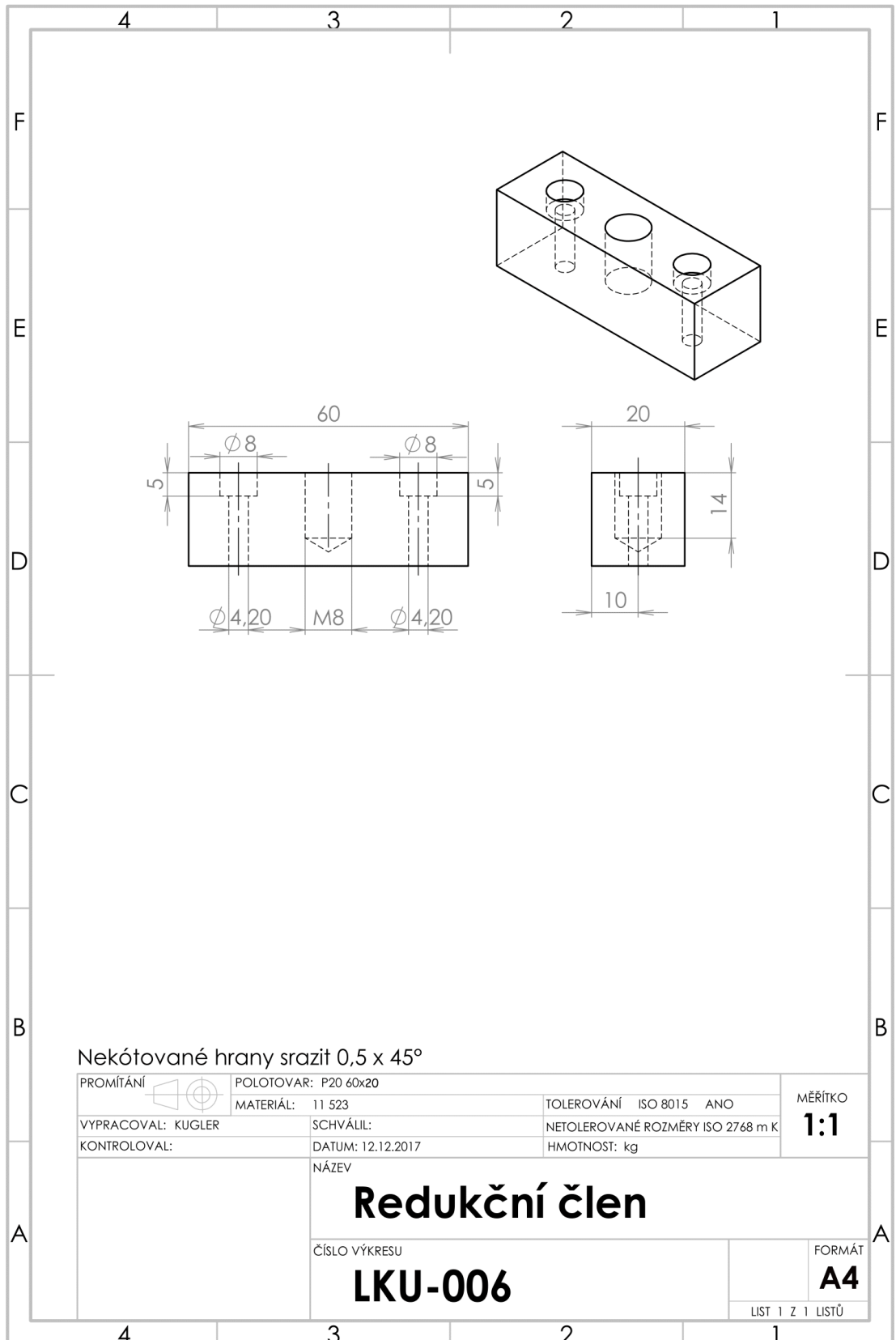
FSO = Full Scale Output

Specifications for analog outputs on page 51.

Article description

WDS -	100 -	P60 -	CR -	P
				Output option: P = potentiometer (with connection CR) U = voltage (with connection SR) I = current (with connection SR)
				Connection: SR: radial plug CR: integrated cable, radial, 1m
				Model P60
				Measuring range in mm

PŘÍLOHA B *Výkres redukčního členu*



Nekótované hrany srazit 0,5 x 45°

PROMÍTÁNÍ		POLOTOVAR: P20 60x20	TOLEROVÁNÍ ISO 8015 ANO	MĚŘÍTKO
VYPRACOVAL: KUGLER	SCHVÁLIL:	MATERIÁL: 11 523	NETOLEROVANÉ ROZMĚRY ISO 2768 m K	1:1
KONTROLOVAL:	DATUM: 12.12.2017	NÁZEV	HMOTNOST: kg	

Redukční člen

ČÍSLO VÝKRESU

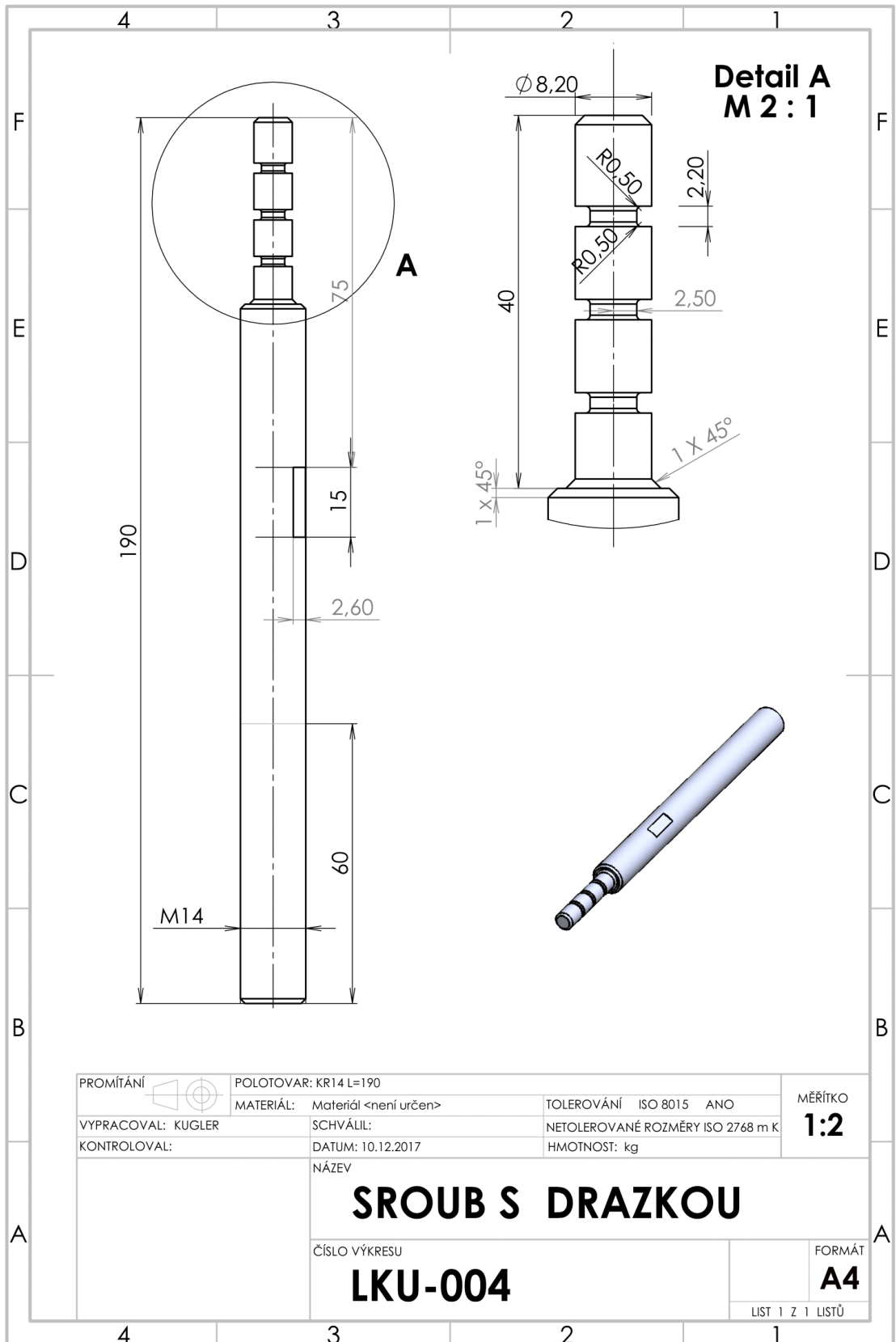
LKU-006

FORMÁT

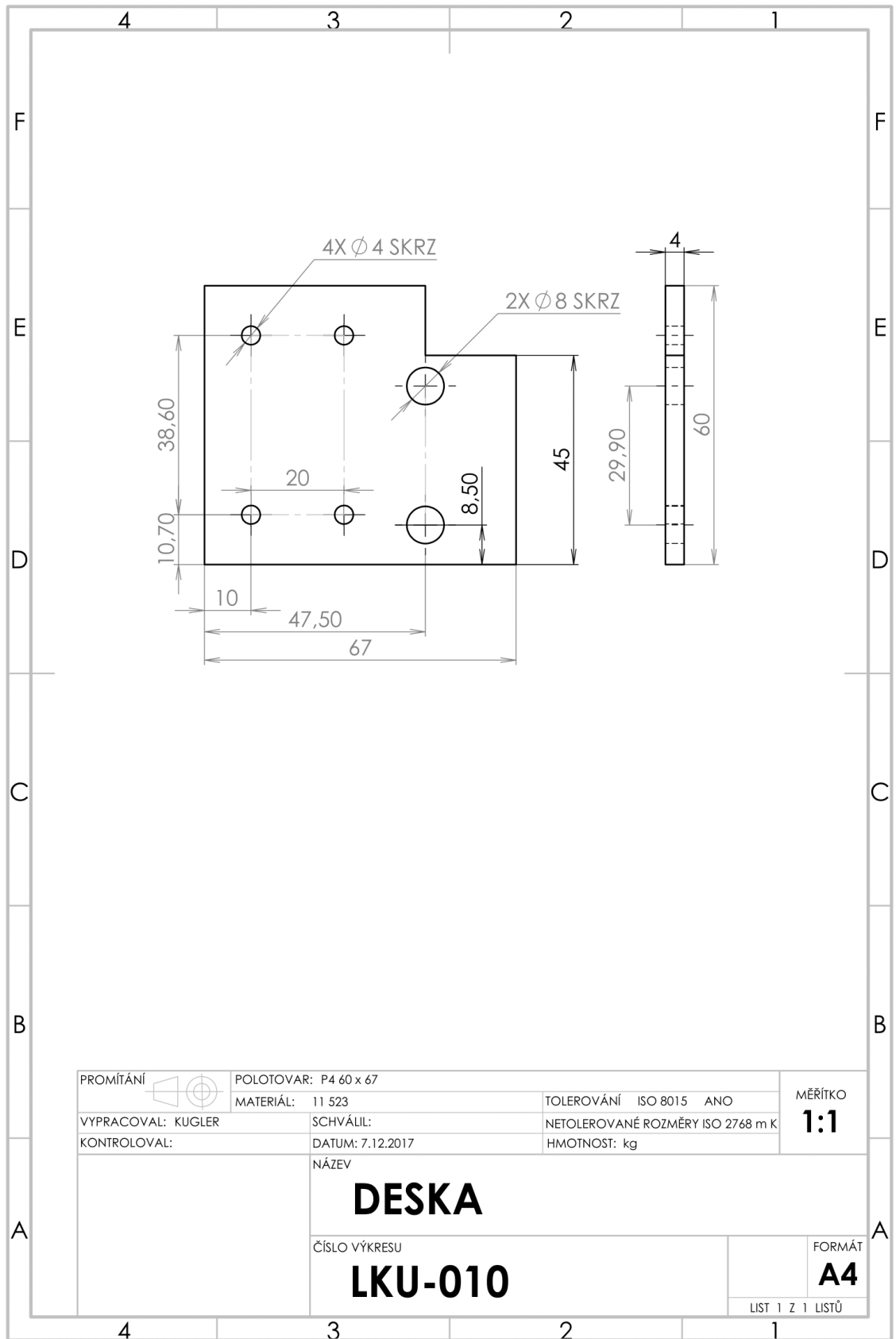
A4

LIST 1 Z 1 LISTŮ

PŘÍLOHA C *Výkres šroubu s drážkou*



PŘÍLOHA D *Výkres deska*



PROMÍTÁNÍ 	POLOTOVAR: P4 60 x 67	TOLEROVÁNÍ ISO 8015 ANO	MĚŘÍTKO
VYPRACOVAL: KUGLER	MATERIÁL: 11 523	NETOLEROVANÉ ROZMĚRY ISO 2768 m K	1:1
KONTROLOVAL:	SCHVÁLIL:	HMOTNOST: kg	
	DATUM: 7.12.2017		

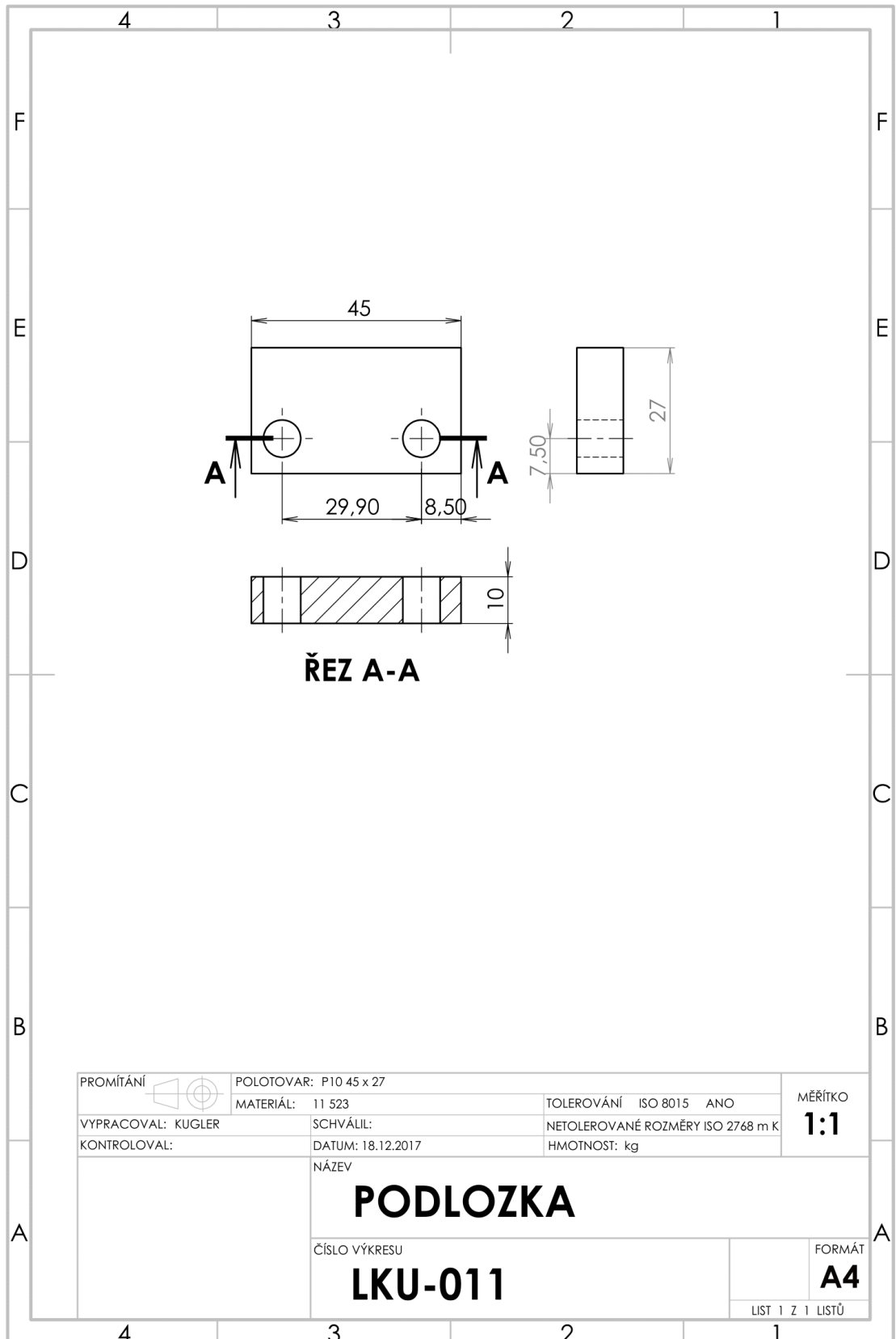
NÁZEV
DESKA

ČÍSLO VÝKRESU
LKU-010

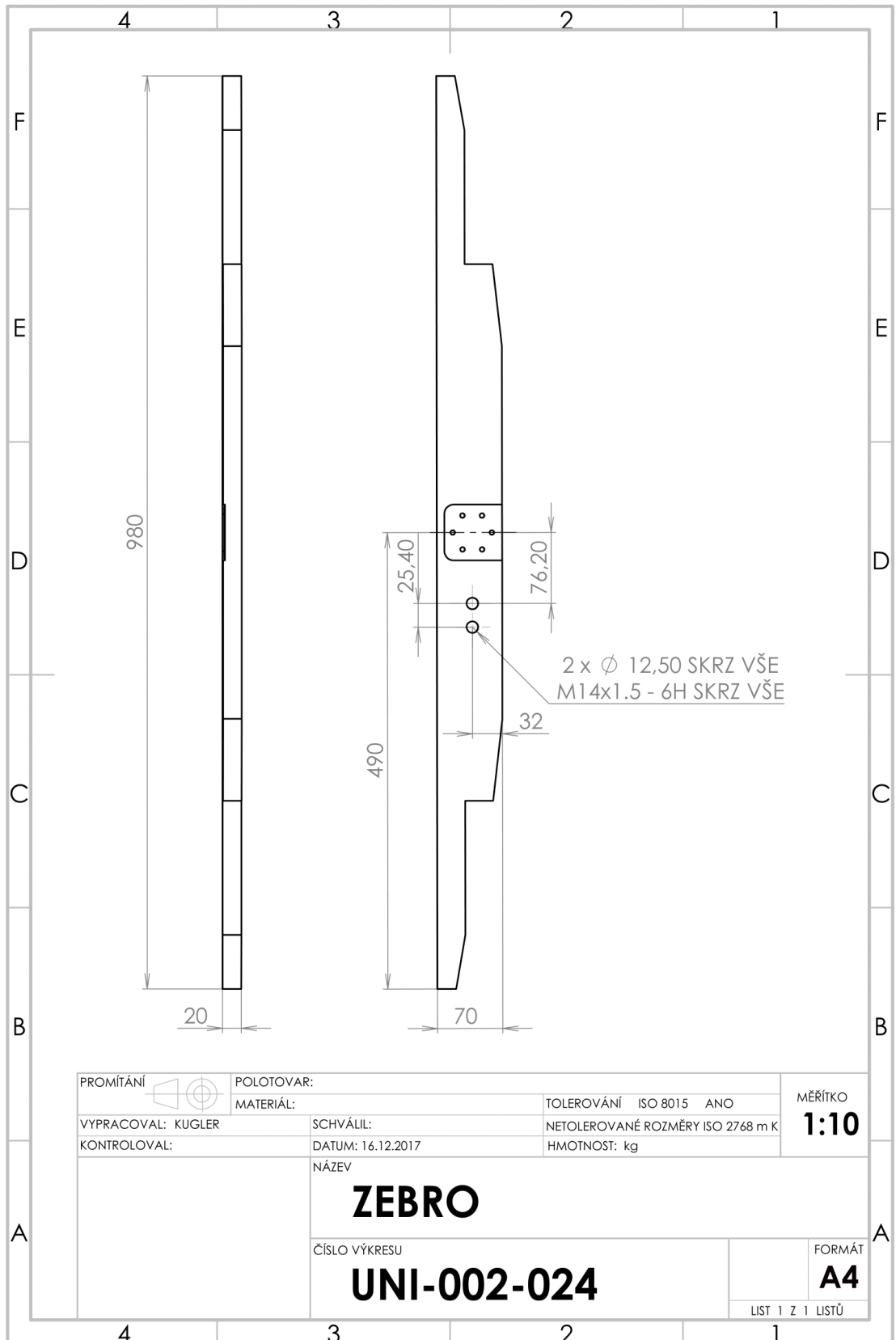
FORMÁT
A4

LIST 1 Z 1 LISTŮ

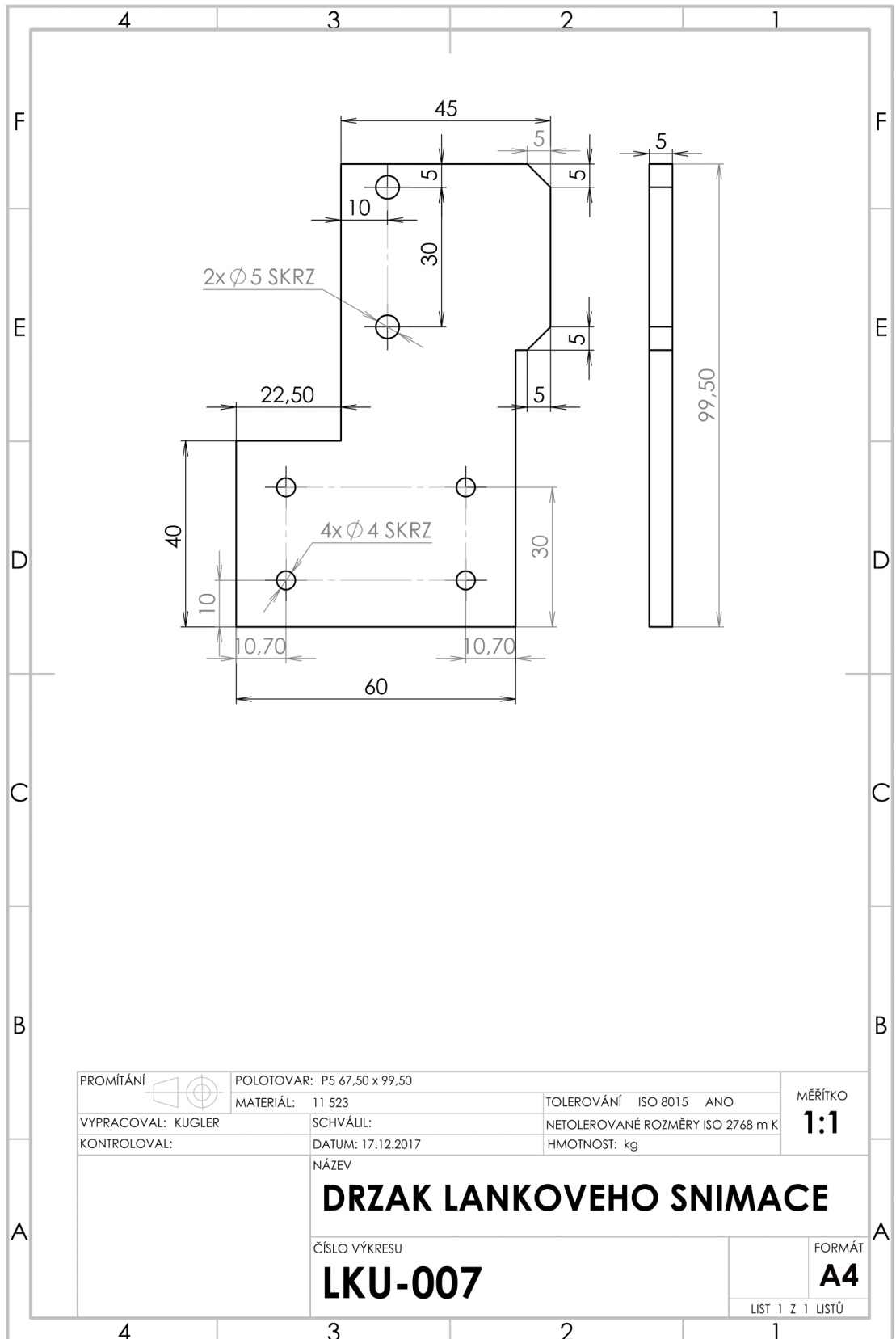
PŘÍLOHA E *Výkres podložka*



PŘÍLOHA F Výkres žebra

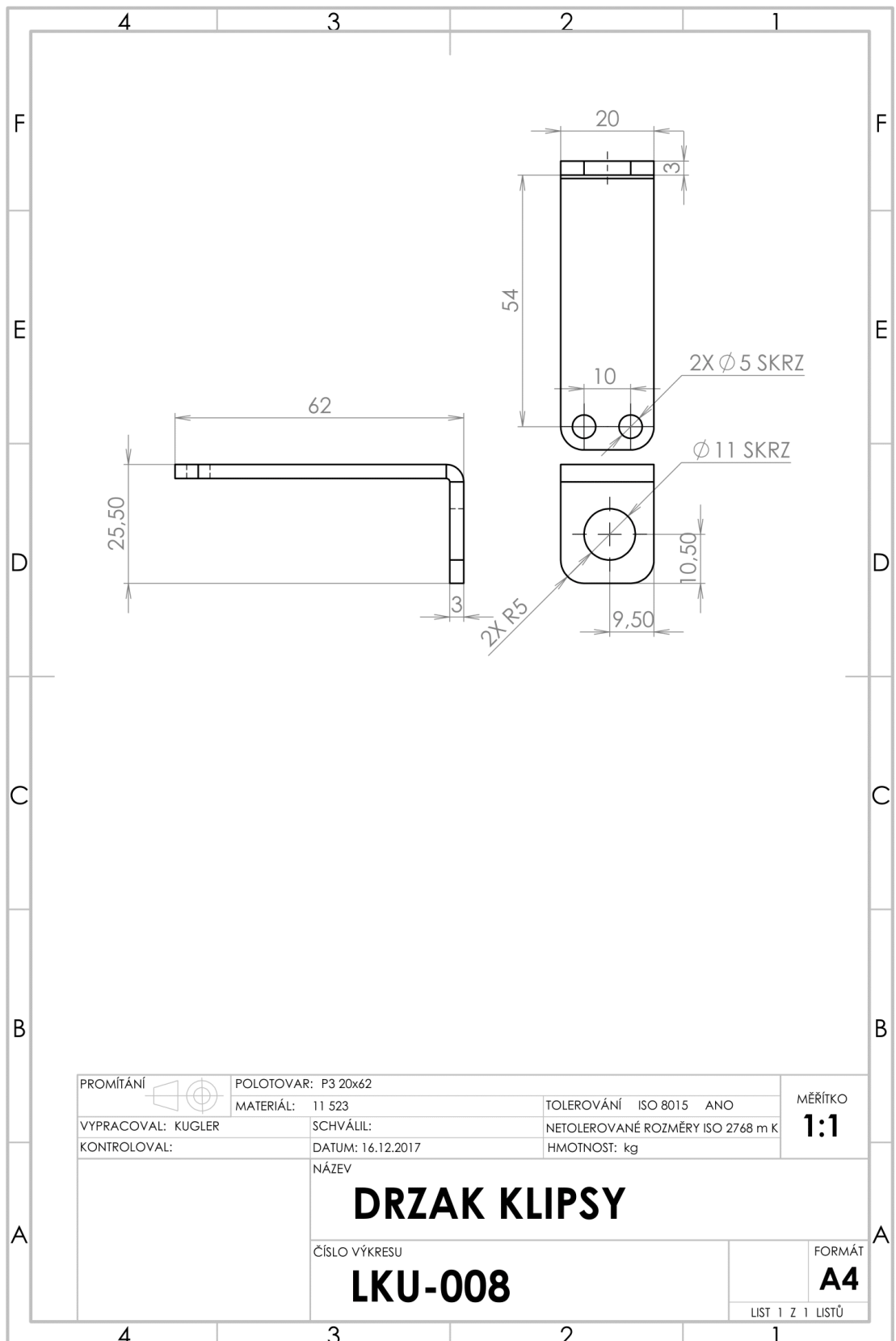


PŘÍLOHA G *Výkres držáku lankového snímače*



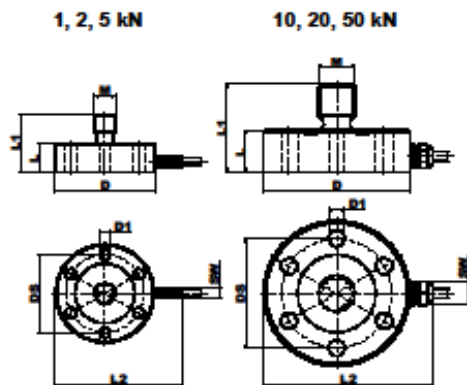
PROMÍTÁNÍ 	POLOTOVAR: P5 67.50 x 99.50	TOLEROVÁNÍ ISO 8015 ANO	MĚŘÍTKO 1:1
	MATERIÁL: 11 523	NETOLEROVANÉ ROZMĚRY ISO 2768 m K	
VYPRACOVAL: KUGLER	SCHVÁLIL:	HMOTNOST: kg	FORMÁT A4
KONTRÓLOVAL:	DATUM: 17.12.2017		
NÁZEV DRZAK LANKOVEHO SNIMACE			LIST 1 Z 1 LISTŮ
ČÍSLO VÝKRESU LKU-007			

PŘÍLOHA H *Výkres držáku lankového snímače*



Charakteristické vlastnosti

- mostíkové zapojenie
- malé rozmery
- meranie v smere ťahu aj tlaku
- vhodné pre priemyselné aj laboratórne účely

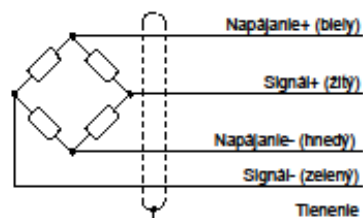


Rozsah kN	D mm	D1 mm	L mm	L1 mm	L2 mm	M mm	SW mm	DS mm
1	38	6x4,2	11	22	46	M8	4	30
2	38	6x4,2	11	22	46	M8	4	30
5	38	6x4,2	11	22	46	M8	4	30
10	50	6x5,2	14	29	58	M10	8	38
20	58	6x6,3	18	34	64	M14	8	42
50	68	6x8,4	19	42	76	M20	8	50

Technické údaje

Trieda presnosti	0,5	
Rozsah merania - nominálny, kN	1, 2, 5	10, 20, 50
- použiteľný	150 %F.S.	
- max. prípustný	200 %F.S.	
Citlivosť	1,5 mV/V ± 2%	
Max chyba nuly	2 %F.S.	
Max chyba (%F.S.)		
- linearity	0,25	0,5
- hysterézie	0,25	0,5
- tečenia (30 min)	0,1 %F.S.	
Teplotný koeficient		
- nuly	0,1 %F.S./10 °C	
- citlivosti	0,1 %F.S./10 °C	
Odpor mostíka		
- vstupný	380Ω ± 10%	
- výstupný	350Ω ± 5%	
Izolačný odpor	> 5000 MΩ	
Napájacie napätie		
- odporúčané	10 V	
- maximálne	15 V	
Teplotný rozsah		
- nominálny	0 ... + 50 °C	
- použiteľný	- 10 ... + 70 °C	
Krytie	IP54	
Použité materiály		
- teleso snímača	oceľ	
- povrchová úprava	nikel	
Kábel (2 m)	LiFYDY 4 x 0,05	LiYCY 4 x 0,14

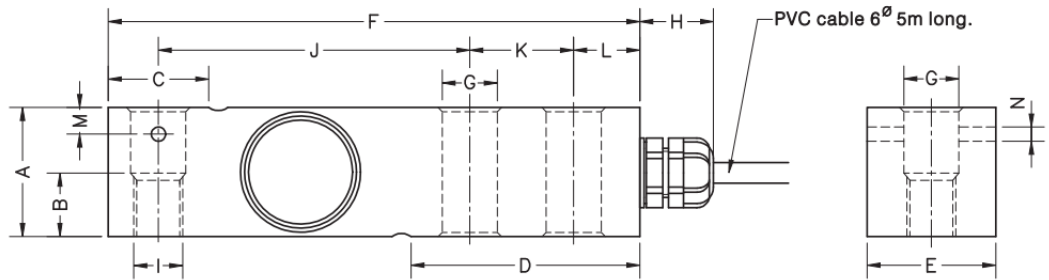
Zapojenie snímača



PŘÍLOHA J Charakteristické vlastnosti snímače síly 350n

MODEL 350

Mod. 350i/a (300...5000kg)
Mod. 350n (300...2000kg)



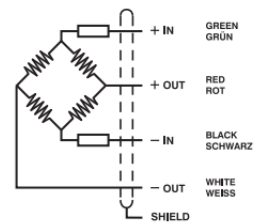
Nominal load (kg) Nennlast (kg)	A	B	C	D	E	F	G	∅	H	I	J	K	L	M	N	∅	Transport weight Transportgewicht
300-500-750-1000-1500-2000	31.5	15	24.6	56	31.5	130	13.5	18	M12	76.2	25.4	15.8	6.5	3.5			0.9 kg
3000-5000	48	-	37	76	41.5	171.5	20.5	18	-	95.2	38.1	19	-	-			2.2 kg

Dimensions in mm. *Abmessungen in mm.*

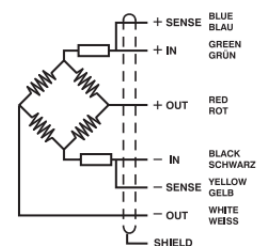
SPECIFICATIONS			TECHNISCHE DATEN
Nominal capacities (Ln)	300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000	kg	Nennlasten (Ln)
Accuracy class	3000	n. OIML	Genauigkeitsklasse
Minimum dead load	0	%Ln	Minimale Vorlast
Service load	150	%Ln	Gebrauchslast
Safe load limit	200	%Ln	Grenzlast
Total error	< ±0.017	%Sn (1)	Zusammengesetzter Fehler
Repeatability error	< ±0.015	%Sn	Wiederholgenauigkeit
Temperature effect: on zero	< ±0.01	%Sn/5°K	Temperaturfehler: Nullpunkt Kennwert
on sensitivity	< ±0.006	%Sn/5°K	
Creep error (30 minutes)	< ±0.016	%Sn	Kriechfehler (30 min)
Temperature compensation	-10...+40	°C	Nenntemperaturbereich Arbeitstemperaturbereich
Temperature limits	-20...+70	°C	
Nominal sensitivity (Sn)	2	mV/V (2)	Nennkennwert (Sn)
Nominal input voltage	10	V	Nom. Speisespannung
Maximum input voltage	15	V	Max. Speisespannung
Input impedance	400 ±20	Ω	Eingangswiderstand
Output impedance	350 ±3	Ω	Ausgangswiderstand
No load output	< ±2	%Sn	Nullsignaltoleranz
Insulation resistance	> 5000	MΩ	Isolationswiderstand
Maximum deflection (at Ln)	0.2-0.4	mm	Nennmessweg (bei Ln)
(1) Total error: Non Linearity and Hysteresis / Zusammengesetzter Fehler: Nichtlinearität und Hysterese			
(2) Pre-corner adjustment optimized at ±0.05% by output current calibration / Auf ±0.05% optimierter Eckenvorabgleich durch Stromkalibrierung des Ausgangssignals			

ELECTRICAL CONNECTION
ELEKTRISCHER ANSCHLUSS:

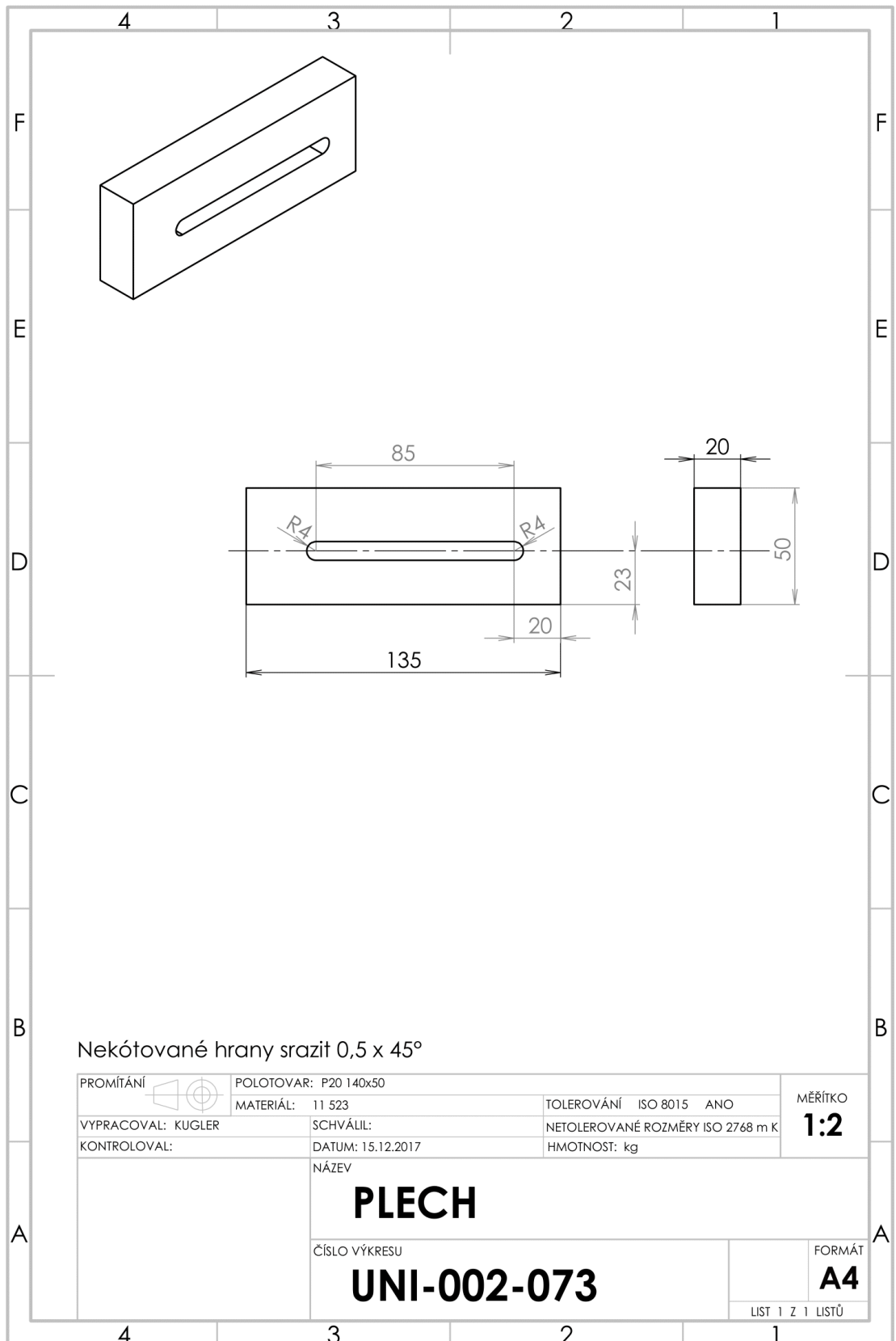
350a/350n



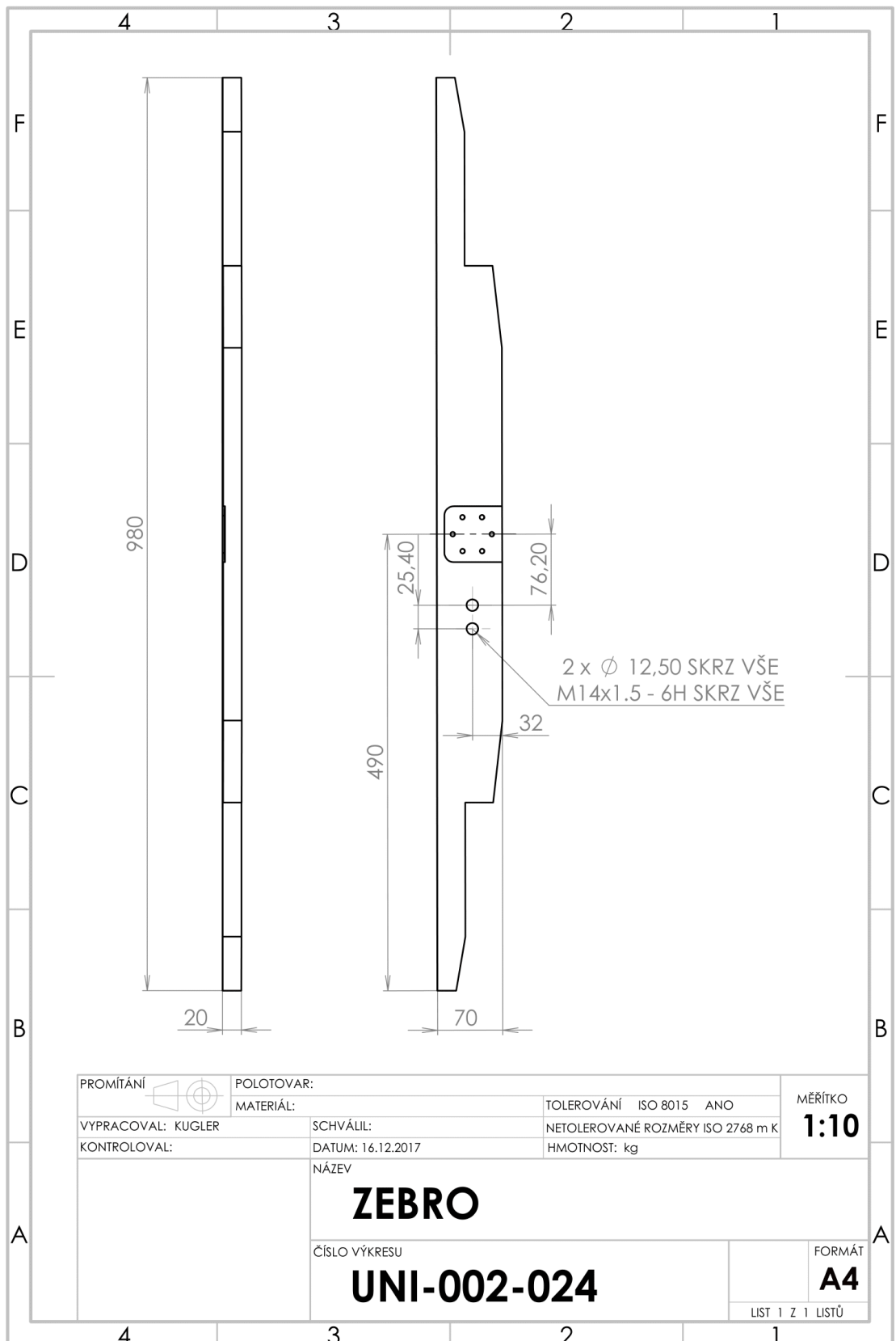
350i



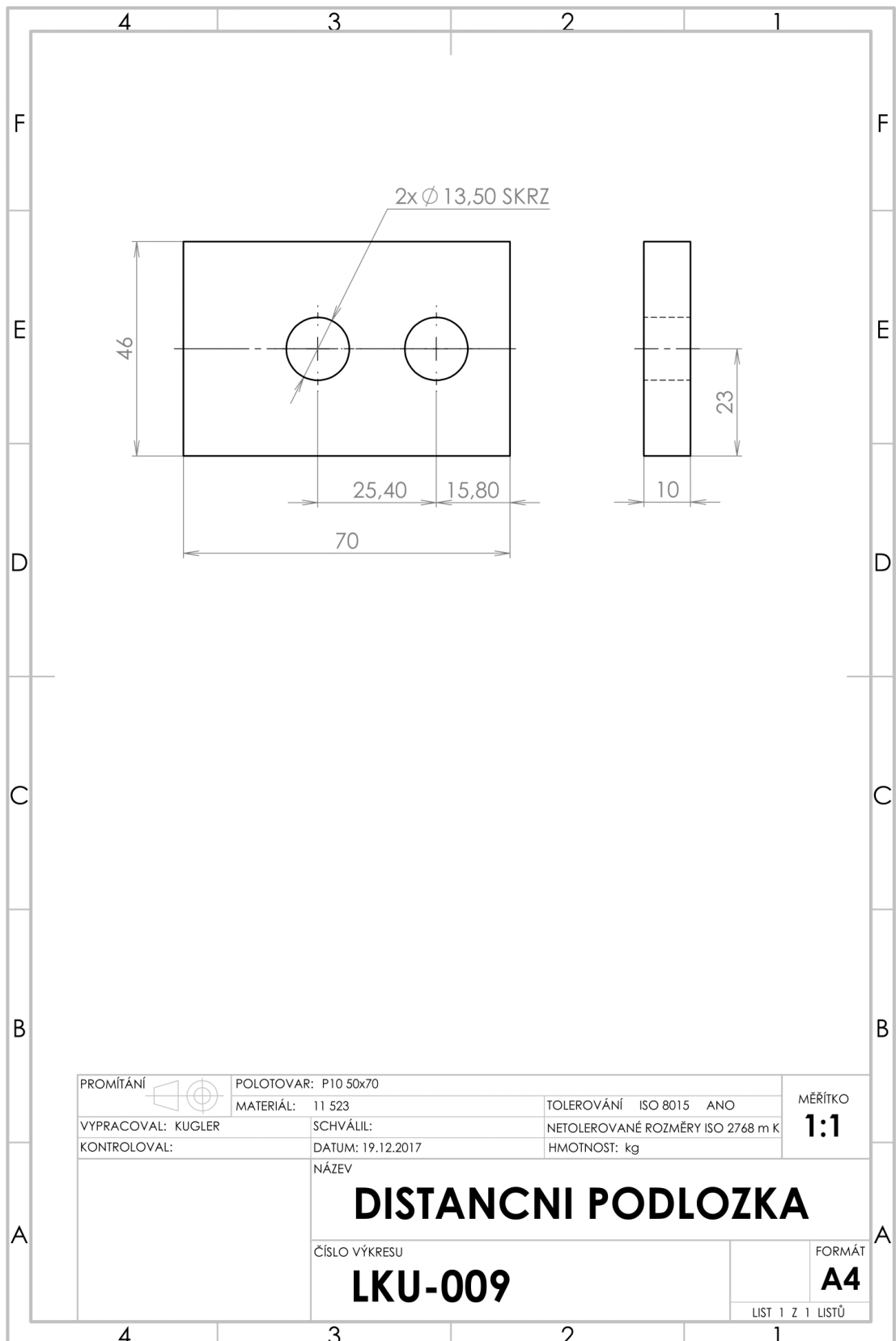
PŘÍLOHA K Výkres držáku reakce ložiskového domku



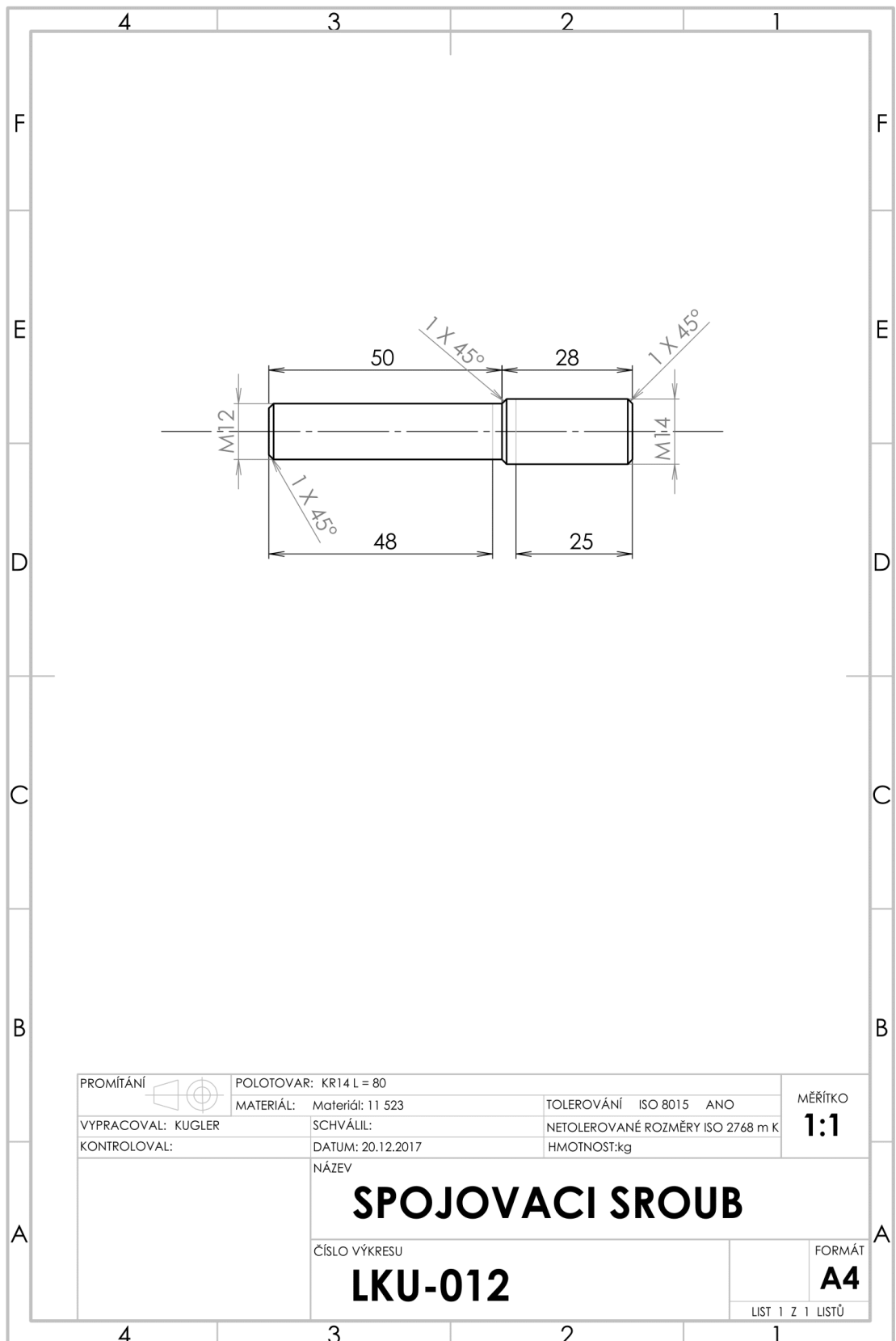
PŘÍLOHA L *Výkres žebra*



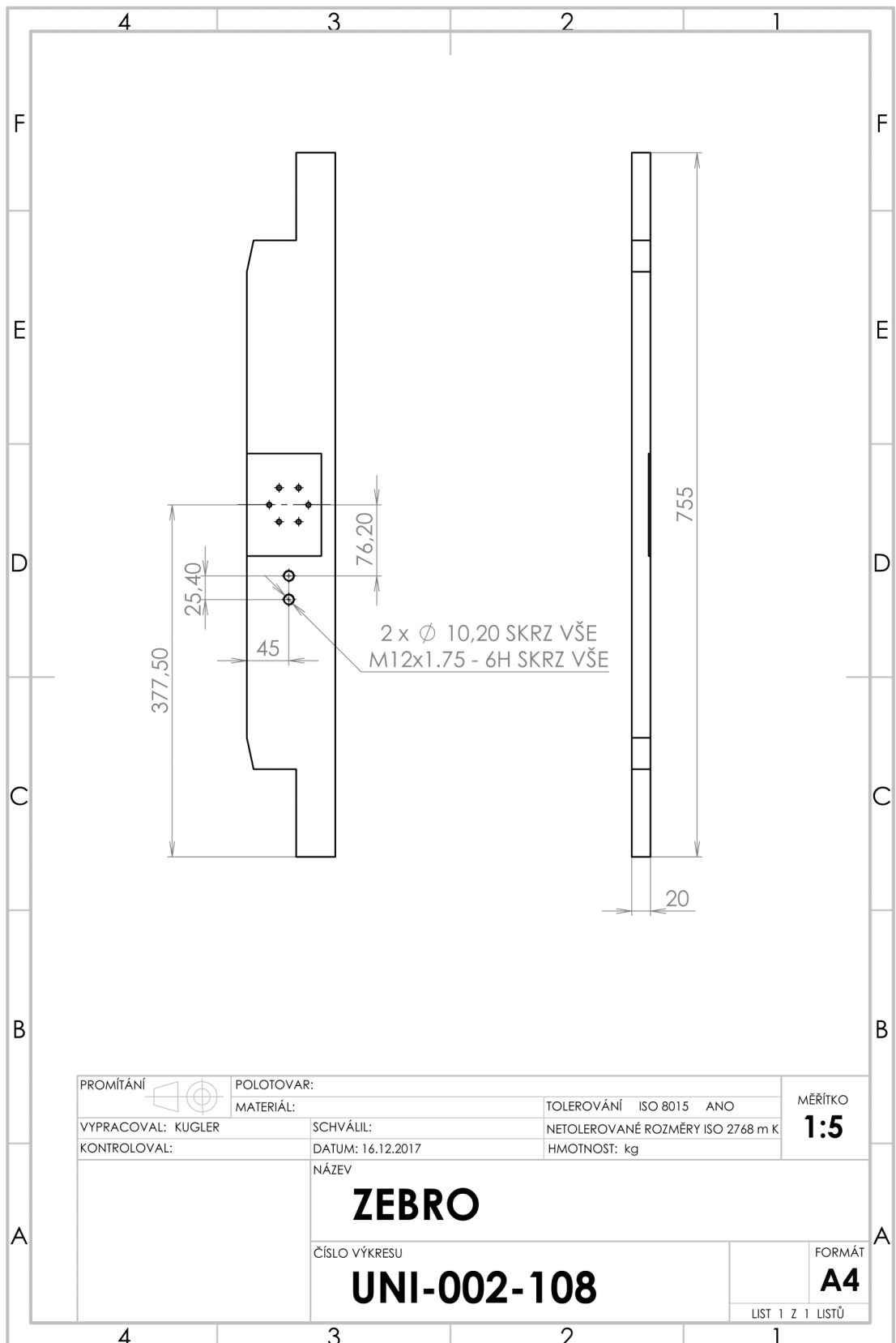
PŘÍLOHA M *Výkres distanční podložky*



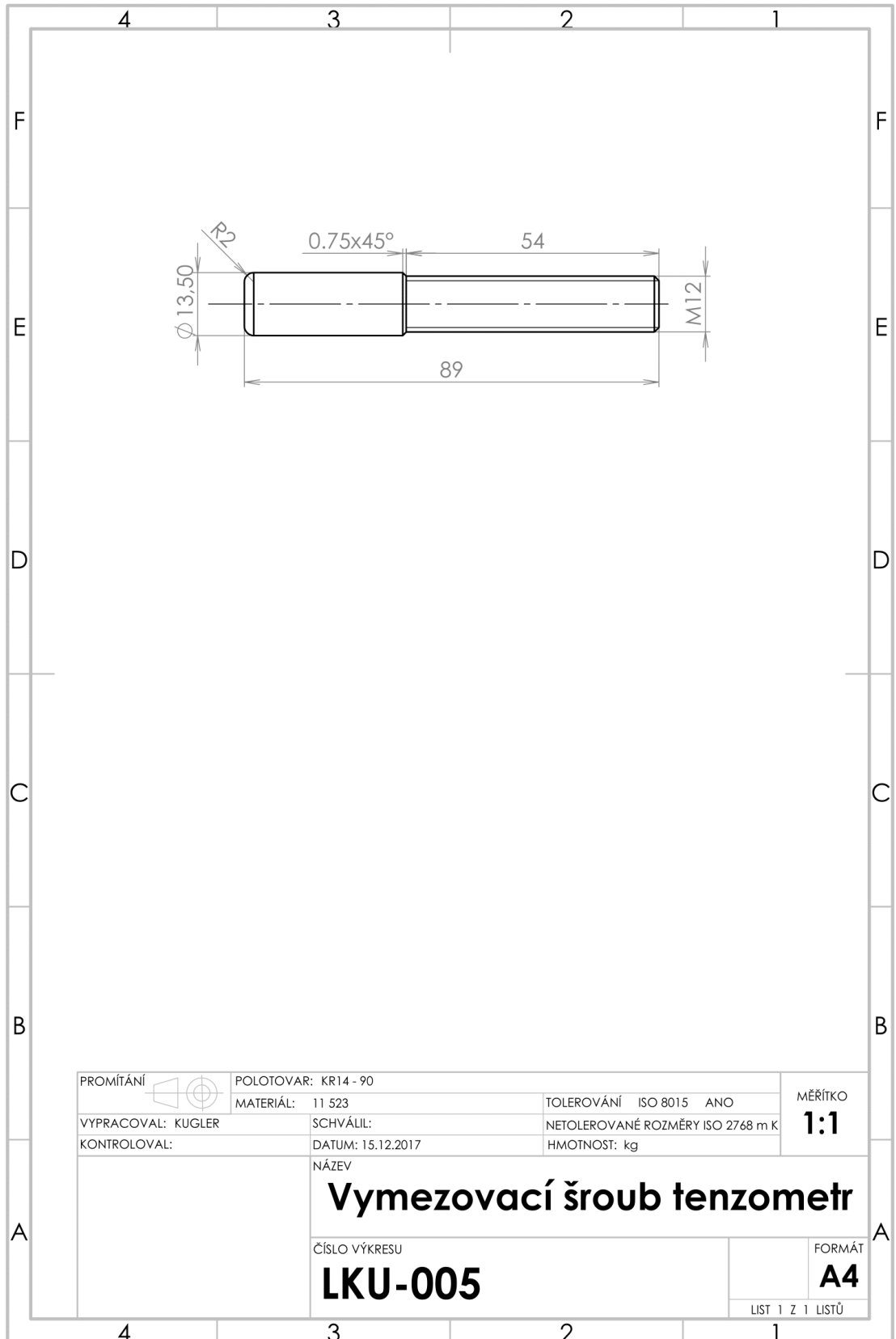
PŘÍLOHA N *Výkres spojovacího šroubu*



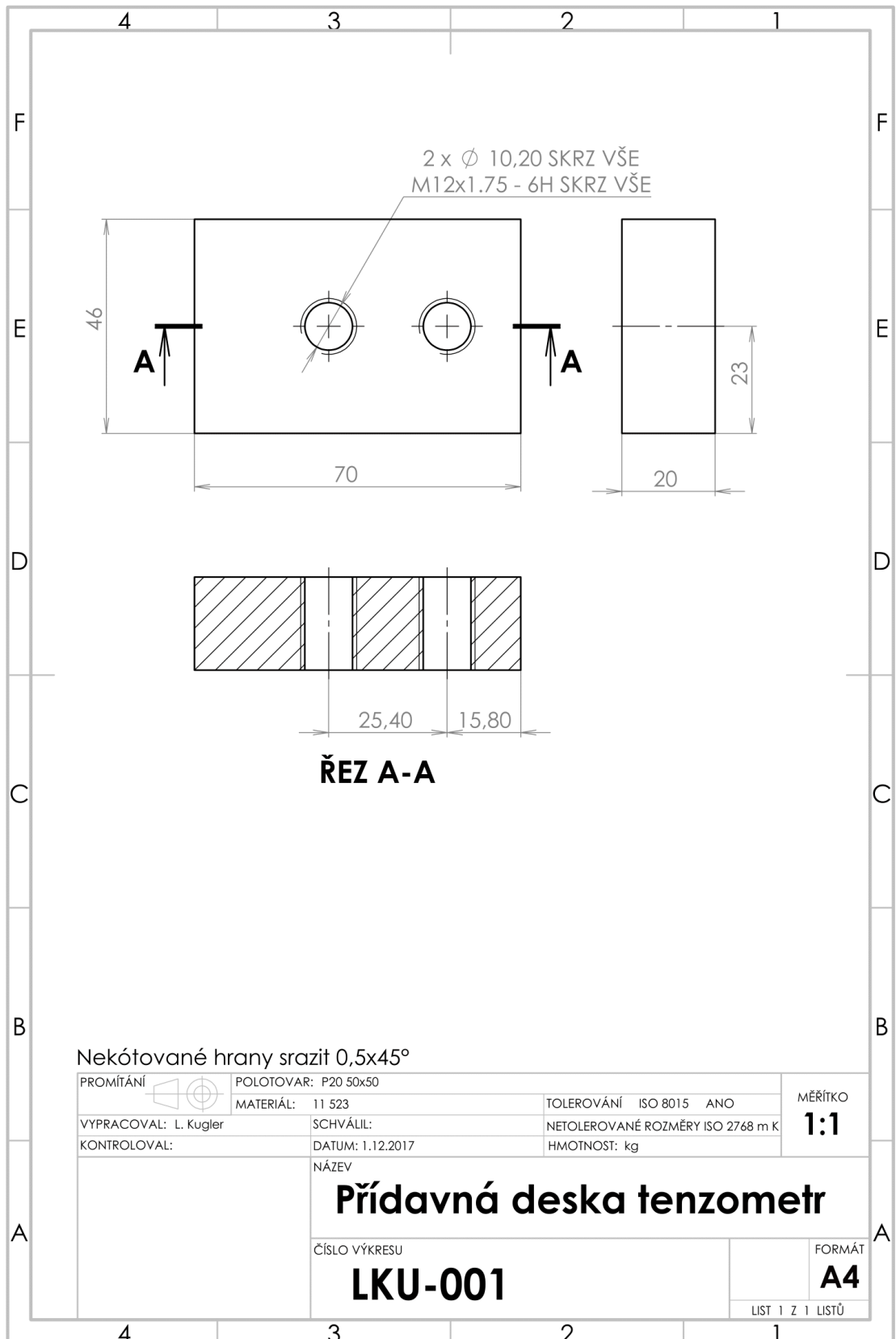
PŘÍLOHA O *Výkres žebra*



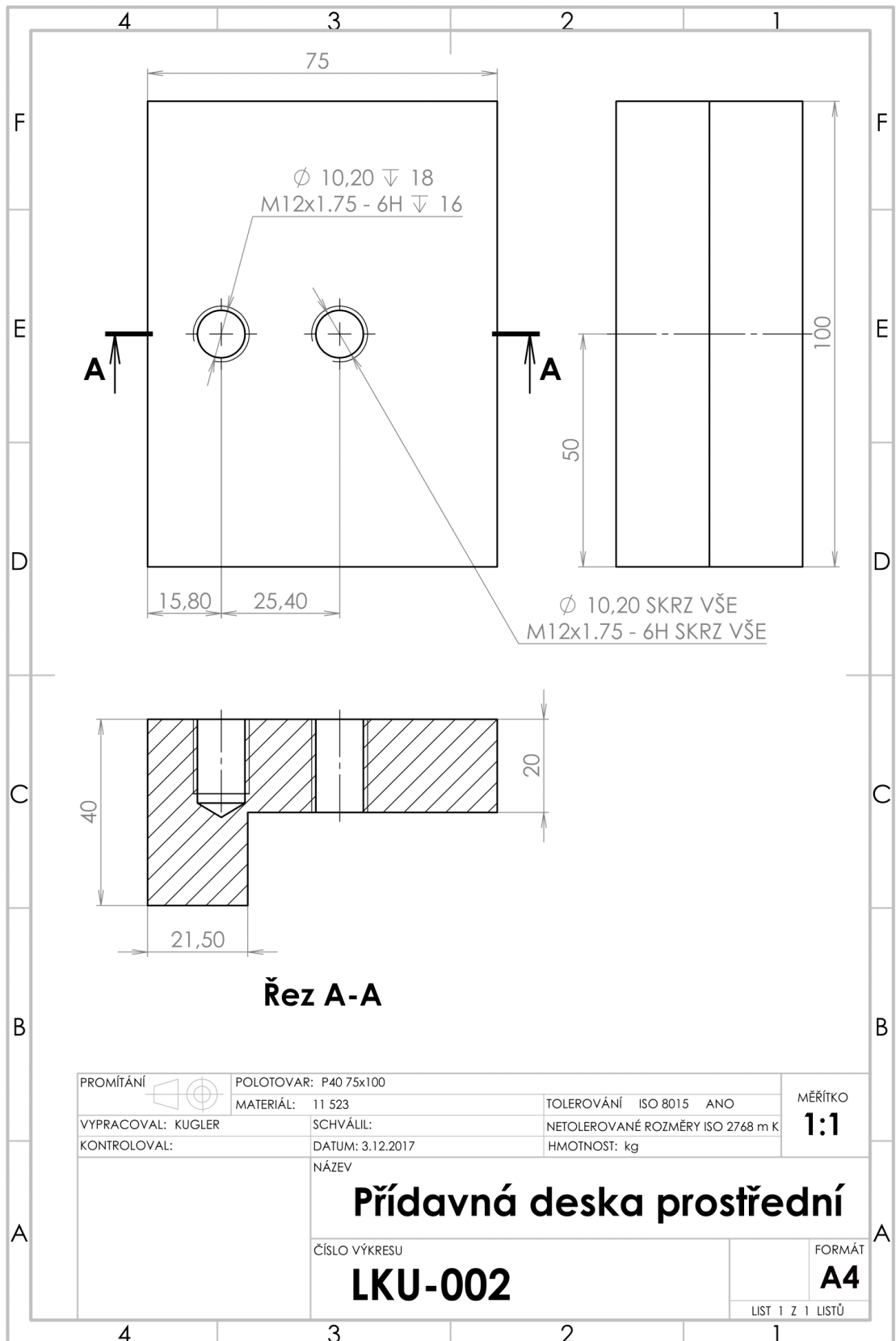
PŘÍLOHA P *Výkres žebra*



PŘÍLOHA Q Výkres přídavné desky pod snímač tl. 20 mm



PŘÍLOHA R *Výkres prostřední přidavné desky pod snímač*



PŘÍLOHA S *Výkres s rozmištěním snímačů na střední konzole*

