

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

**NÁVRH KONSTRUKCE PEDOMETRU
A JEHO VYUŽITÍ**

Bakalářská práce

2008

AUTOR PRÁCE: **Tomáš POKORNÝ**

VEDOUCÍ PRÁCE: **Ing. Tomáš ZIKMUND, Ph.D.**

University of Pardubice
Jan Perner Transport Faculty

Department of Transport Means and Diagnostics

**THE DESIGN PROJECT OF PEDOMETER
AND ITS USAGE**

Bachelor thesis

2008

AUTHOR:

Tomáš POKORNÝ

SUPERVISOR:

Ing. Tomáš ZIKMUND, Ph.D.

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš POKORNÝ**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Návrh konstrukce pedometru a jeho využití**

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

1. Úvod
2. Návrh a konstrukce pedometru
3. Konstrukce snímačů tlaku
4. Praktické využití pedometru
5. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] F. VLK. Diagnostika motorových vozidel, Brno: Vlk, 2006. 444 stran. ISBN 80-239-7064-X.
- [2] M. VALA, M. TESAŘ. Teorie a konstrukce silničních vozidel I, Pardubice, 2003. 229 stran, 326 obrázků, 15 tabulek. ISBN 80-7194-503-X.
- [3] J. ŘEZNÍČEK, J. ŘEZNÍČKOVÁ. Pružnost a pevnost v technické praxi (Příklady I), ČVUT Praha, 2005. 66 stran, 95 obrázků. ISBN 80-01-03209-4.
- [4] J. ŘEZNÍČEK, J. ŘEZNÍČKOVÁ. Pružnost a pevnost v technické praxi (Příklady II), ČVUT Praha, 2006. 62 stran, 112 obrázků. ISBN 80-01-03584-0.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce:

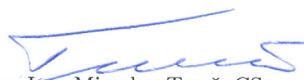
18. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

26. května 2008


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

dne

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí snímače ovládací síly působící na pedál, též nazývaným pedometr. Text je rozdělen na tři stěžejní kapitoly. V první kapitole je popsána konstrukce pedometru a možný způsob kalibrace. Další kapitola se věnuje konstrukci dvou snímačů tlaku, kterými by bylo možné provádět odečítání naměřených údajů elektrickou cestou. Poslední část práce se zabývá využitím pedometru a ověřením jeho činnosti během experimentálního měření.

Klíčová slova

pedometr, Ishikawův diagram, FMEA, kalibrace, jednoduchá lineární regrese, snímač tlaku, tenkostěnná válcová nádoba, vetknutá kruhová deska, tenzometr, brzdění, ovládací síla na brzdovém pedálu

Title

The design project of pedometer and its usage

Abstract

The bachelor thesis deals with the design project of brake pedal force sensor, also called pedometer. The thesis is classified into the three main chapters. The design project of pedometer and possible way of calibration is described in first chapter. Next chapter is addressed to design project of two pressure transducers, which would possible to do scale reading of experimental electrical data. The last chapter of the bachelor thesis deals with usage of pedometer and check function during measurements.

Keywords

pedometer, Ishikawa diagram (or fishbone diagram), FMEA, calibration, simple linear regression, pressure transducer, cylindrical thin-walled pressure vessel, clamped circular plate, strain gauge, braking (or deceleration), brake pedal force

Bibliografická citace

T. POKORNÝ. *Návrh konstrukce pedometru a jeho využití*, Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopavní fakulta Jana Pernera, 2008. 78 stran, 45 obrázků, 9 tabulek, 7 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího bakalářské práce pana Ing. Tomáše Zikmunda, Ph.D. Všechny zdroje, prameny a literaturu, jež jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, řádně cituji, s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj, v seznamu použité literatury.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 26.5.2008

.....
Tomáš POKORNÝ

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Zikmundovi, Ph.D., který mi byl vždy velmi nápomocen při nejrůznějších obtížích, které se vyskytly v průběhu prací na tématu bakalářské práce. Dále nesmím opomenout pana prof. Ing. Jaroslava Menčíka, CSc., jež mi ochotně poskytl konzultaci z oboru Pružnosti a pevnosti. Dík patří i panu Ing. Pavlu Svobodovi, který se ujal třískového obrábění těla pedometru a také pracovníkům laboratoří fakulty, kteří mi zajistili provedení svářečských prací. V neposlední řadě je třeba ještě jmenovat pány Ing. Jana Pokorného a Zdeňka Kyncla (student DFJP). Kolega Zdeněk Kyncl mi vždy ochotně poradil, byl mi nápomocen při výrobě pedometru a také mi svou asistencí umožnil zrealizovat experimentální měření v terénu.

Taktéž je třeba poděkovat mé rodině, přátelům a vůbec všem, kdož se jakýmkoliv způsobem podíleli na vzniku této práce nebo na výrobě pedometru.

.....
Tomáš POKORNÝ

Obsah

OBSAH	9
1 ÚVOD	11
2 NÁVRH A KONSTRUKCE PEDOMETRU	12
2.1 Konstrukční řešení pedometru	13
2.1.1 Princip funkce	13
2.1.2 Volba rozměrů	14
2.1.3 Konstrukční řešení vybraných částí a skupin	16
2.1.3.1 Výroba a spolehlivost	19
2.1.4 Výhody a nevýhody konstrukce – zhodnocení pedometru	21
2.2 Úkony potřebné před prvním použitím	21
2.2.1 Kalibrace pedometru s využitím metody nejmenších čtverců	23
2.2.1.1 Průběh kalibrace	23
2.2.1.2 Naměřené hodnoty	24
2.2.1.2.1 Vzorové výpočty pro dopočítávané hodnoty	25
2.2.1.3 Jednoduchá lineární regrese	26
2.2.1.3.1 Matematický model jednoduché lineární regrese	26
2.2.1.3.2 Nestranné odhady parametrů α , β	27
2.2.1.4 Výpočet koeficientů (a, b) regresní přímky	28
3 KONSTRUKCE SNÍMAČŮ TLAKU	31
3.1 Tenkostěnná válcová nádoba s tuhými čely	32
3.1.1 Vstupní hodnoty pro výpočty a rozměry nádoby	32
3.1.2 Výpočet pevnosti pláště nádoby v místě vetknutí	34
3.1.2.1 Membránová napětí	34
3.1.2.2 Volná změna poloměru pláště	34
3.1.2.3 Zabránění změně poloměru	34
3.1.2.4 Maximální napětí v místě vetknutí	35
3.1.2.5 Redukované napětí	36
3.1.3 Výpočet pevnosti nádoby pro střední část pláště	37
3.1.3.1 Membránová napětí	38

3.1.3.2 Redukované napětí	38
3.1.3.3 Poměrné prodloužení (deformace) pláště	39
3.2 Deska vetknutá po celém obvodu	40
3.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočty a rozměry desky	40
3.2.2 Odvození vztahů a pevnostní kontrolní výpočet desky	42
3.2.3 Průhyb desky	45
3.2.4 Zakázaná oblast membrány pro měření s tenzometry	46
3.3 Experimentální určení přetvoření	48
3.3.1 Tenzometrie	48
3.3.2 Elektrické odporové tenzometry	49
3.3.3 Vliv teploty	52
3.3.4 Příklad umístění a zapojení tenzometrů pro navrhnuté snímače tlaku	55
3.3.5 Možnosti připojení snímačů tlaku k pedometru	57
3.3.6 Zhodnocení konstrukce snímačů	58
4 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ PEDOMETRU	59
4.1 Druhy zkoušek brzd	60
4.1.1 Brzdění kolových vozidel	60
4.1.2 Skutečný průběh brzdění	60
4.2 Experimentální měření s využitím pedometru	62
4.2.1 Vlastní průběh měření	63
4.2.2 Naměřené hodnoty	65
4.2.2.1 Vzorové výpočty pro dopočítávané hodnoty	65
4.2.3 Grafické závislosti z naměřených údajů	69
5 ZÁVĚR	71
POUŽITÁ LITERATURA	72
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK	77
SEZNAM GRAFŮ	77
SEZNAM PŘÍLOH	78

1 Úvod

Nejdůležitější součástí každého vozidla je jeho brzdová soustava. Ta má rozhodující vliv na aktivní bezpečnost. Hlavní funkcí brzd je snížení rychlosti pohybujícího se vozidla, jeho zastavení nebo zajištění proti samovolnému pohybu. Aby byly tyto požadavky splněny, je nutné zabezpečit dobrý technický stav a stoprocentní funkčnost celé brzdové soustavy. Za tímto účelem se provádí celá řada zkoušek, při kterých se také využívá snímač ovládací síly působící na brzdový pedál – pedometr.

Vzhledem k absenci tohoto snímače ve výbavě laboratoře fakulty, vznikl záměr navrhnout a zkonstruovat jednoduchý, dostatečně přesný pedometr, který by se dal relativně jednoduše vyrobit a zároveň by jeho výrobní náklady byly minimální. Pro možnost zapojení pedometru do měřicího systému, jímž je katedra vybavena, vznikl požadavek na umožnění vizuálního odečítání naměřených hodnot ze stupnice manometru a dále na realizaci snímačů tlaku, kterými by se naměřené hodnoty odečítaly elektrickou cestou.

2 Návrh a konstrukce pedometru

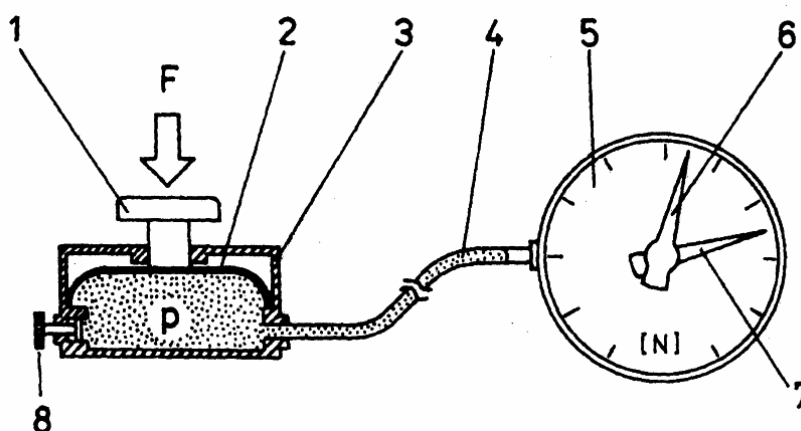
Jedná se o snímač ovládací síly působící na pedál (brzdový, spojkový atd.). Komerčně vyráběné pedometry jsou elektronické nebo hydraulické.

Elektronický měřič ovládací síly (pedometr) měří v rozsahu 0 až 1500 N. Skládá se ze snímače, kabelu a vyhodnocovacího přístroje s Ni-Cd baterií. Ovládací síla je indikovaná na digitálním displeji. Elektronický pedometr CORRSYS-DATRON (obr. 2.1) se dodává ve třech verzích: digitální ukazatel, analogový ukazatel, integrovaná elektronika. U prvních dvou verzí je snímač ovládací síly spojen s ukazatelem vinutým kabelem. Snímač (50 x 65 x 35 mm) se pryžovou sponou upevní na brzdový pedál. Přístroj je vhodný jak pro jízdni zkoušky, tak pro zkušební brzd [1].



Obr. 2.1 Elektronický pedometr (CORRSYS-DATRON) [2]

Hydraulický snímač ovládací síly využívá hydraulický způsob přenosu energie. Obsahuje pružnou membránu uzavřenou ve skříni pedometru, na kterou působí tlačný píst. Hlavní výhodou je to, že není třeba utěšňovat prostor mezi tlačným pístem a válcem. Příklad takového pedometru je znázorněn na obrázku (obr. 2.2).



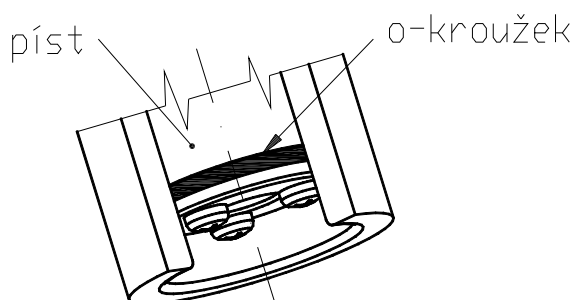
Obr. 2.2 Hydraulický snímač ovládací síly (pedometr) [1]

1 – tlačný píst; 2 – membrána; 3 – skříň; 4 – hadice; 5 – manometr; 6 – ukazatel okamžité hodnoty; 7 – vlečný ukazatel (maximální hodnota); 8 – šroub k nastavení nulové hodnoty

Návrh pedometru, kterým se zabývá tato práce, je založen na podobné konstrukci jako hydraulický snímač na obrázku (obr. 2.2).

2.1 Konstrukční řešení pedometru

Snímač je navržen jako hydraulický píst, který se pohybuje ve válci a je utěsněn jedním o-kroužkem (obr. 2.3).



Obr. 2.3 Těsnění pístu o-kroužkem

Cílem bylo navrhnout pedometr takovým způsobem, aby byl lehce vyrobitelný v běžných podmínkách dílny s konvečními obráběcími stroji, s výjimkou nutnosti svaření hliníkového válce s podstavou pedometru, která tvoří jeho tělo. Ale toto lze zajistit např. ve svářečské škole (jako v tomto případě). Důraz byl také kladen na dostatečnou přesnost pedometru, snadnou montáž, obsluhu a údržbu, přiměřeně velkou životnost celého zařízení a na odolnost vůči okolním vlivům (vlhkost, prach a jiné nečistoty). Zároveň byl požadavek na kompaktnost a nízkou hmotnost pedometru, při zachování již zmíněných vlastností. Jako materiál, který by vyhověl těmto kritériím, byl zvolen hliník resp. hliníkové polotovary.

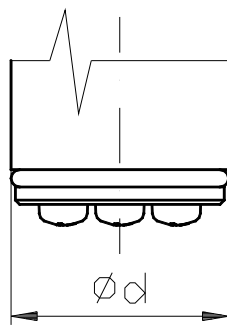
2.1.1 Princip funkce

Pedometr pracuje následujícím způsobem. Síla, která působí na píst, vyvolá objemovou deformaci v hydraulické kapalině, která je příčinou změny tlaku. Hodnota tlaku se zobrazí na manometru nebo je zaznamenána tlakovým snímačem – viz 3. kapitola. Poté se naměřený tlak přepočte na sílu podle vztahu (2.12), kterou se působí na pedál.

2.1.2 Volba rozměrů

a) Jmenovitý průměr pístu

Nejdůležitější rozměr je jmenovitý průměr pístu resp. vnitřní průměr válce (obr. 2.4). Pokud by byl zvolen příliš velký průměr, při malé síle působící na pedál by docházelo k vyvození tlaku uvnitř pedometru o malých hodnotách nebo vlivem pasivních a hydraulických odporů (místní hydraulické ztráty) by nedošlo vůbec ke vzniku přetlaku v kapalině. Tím by se snížila citlivost pedometru. Naopak, při velmi malém průměru by docházelo, při maximálním zatížení $F_o = 700\text{ N}$ (maximální přípustná ovládací síla na pedálu), k velkým nárůstům tlaku oleje uvnitř pedometru. Mohlo by dojít k únikům provozních kapalin, destrukci opletené hadice nebo poškození manometru. Obecně platí, že čím větší pracovní přetlak oleje, tím je problematictější utěsnění jednotlivých částí a spojů. Zároveň je špatná dostupnost manometru o tak velkém měřicím rozsahu, při dostatečně jemné stupnici pro zobrazení tlaku.



Obr. 2.4 Jmenovitý průměr pístu

Jako maximální pracovní hodnota přetlaku kapaliny byl zvolen tlak o velikosti $p = 1,4\text{ MPa}$ (14 bar). Z této hodnoty se vypočte přibližný jmenovitý průměr pístu resp. vnitřní průměr válce

$$p = \frac{F_o}{S} \Rightarrow \underline{S} = \frac{F_o}{p} = \frac{700\text{ N}}{1,4\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}} = \underline{\underline{500\text{ mm}^2}} \quad (2.1)$$

$$d \approx \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{500\text{ mm}^2}{\pi}} = 25,2\text{ mm} \Rightarrow \underline{\underline{d = 25\text{ mm}}}\text{ (volba)} \quad (2.2)$$

kde je: p pracovní tlak kapaliny [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

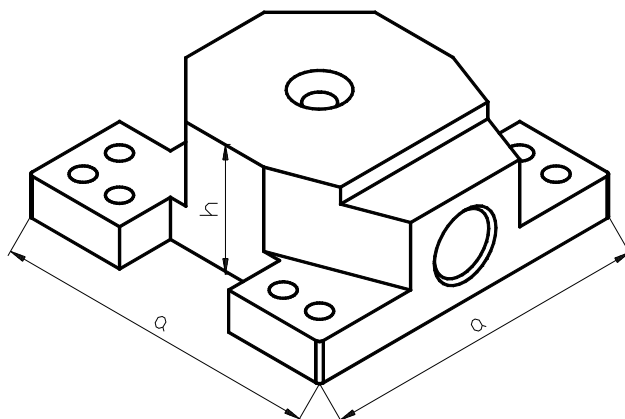
F_o síla působící na pedometr resp. ovládací síla působící na pedál [N]

S plocha pístu pedometru [mm^2]

d průměr pístu resp. vnitřní průměr válce pedometru [mm].

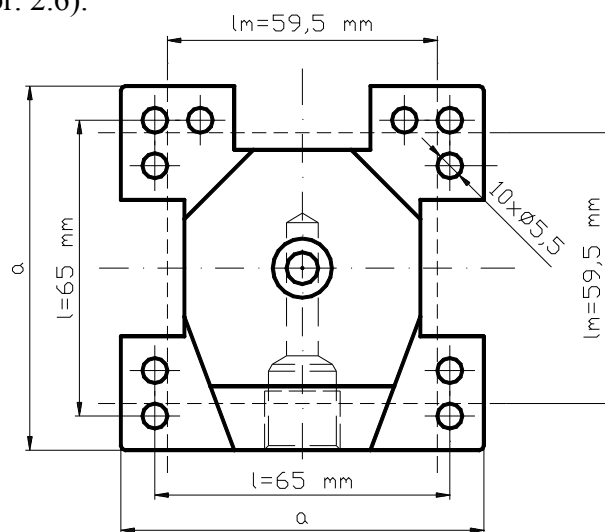
b) Rozměry podstavy

Podstava pedometru má půdorysný tvar čtverce ($a \times a$) o délce hrany $a = 80 \text{ mm}$ a její výška je $h = 30 \text{ mm}$ (obr. 2.5, obr. 2.6).



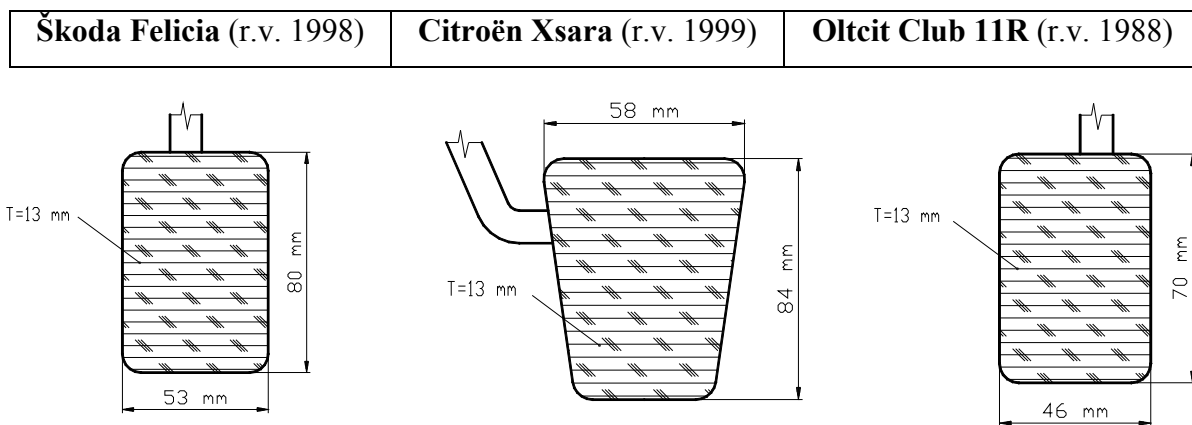
Obr. 2.5 Základní rozměry podstavy u pedometru

Je zde celkem deset otvorů o průměru 5,5 mm, které jsou určeny pro šrouby M5. Stejně rozměry má i deska, která slouží pro upevnění pedometru k pedálu (obr. 2.6, obr. 2.12). Důležitý parametr pro upnutí je vzdálenost roztečných přímek l na kterých jsou středy jednotlivých otvorů (obr. 2.6).



Obr. 2.6 Vzdálenost roztečných přímek otvorů pro šrouby M5

Rozměr $l = 65 \text{ mm}$ byl volen dle obrázku (obr. 2.7), ve kterém jsou udány přibližné rozměry brzdového pedálu pro vybrané druhy osobních vozů. Když se od rozměru l odečte průměr otvoru pro šrouby M5, získá se hodnota l_m , která udává maximální šířku nebo délku pedálu. Je to dáno konkrétním umístěním šroubů, které umožní použití pedometru pro pedál o maximální šířce nebo délce dle obrázku (obr. 2.7).



Obr. 2.7 Rozměry brzdových pedálů u vybraných osobních vozů

Ostatní rozměry pedometru nemají přímý vliv na funkci, tudíž byly voleny dle odborného odhadu, výrobních možností a dostupnosti hliníkových polotovarů.

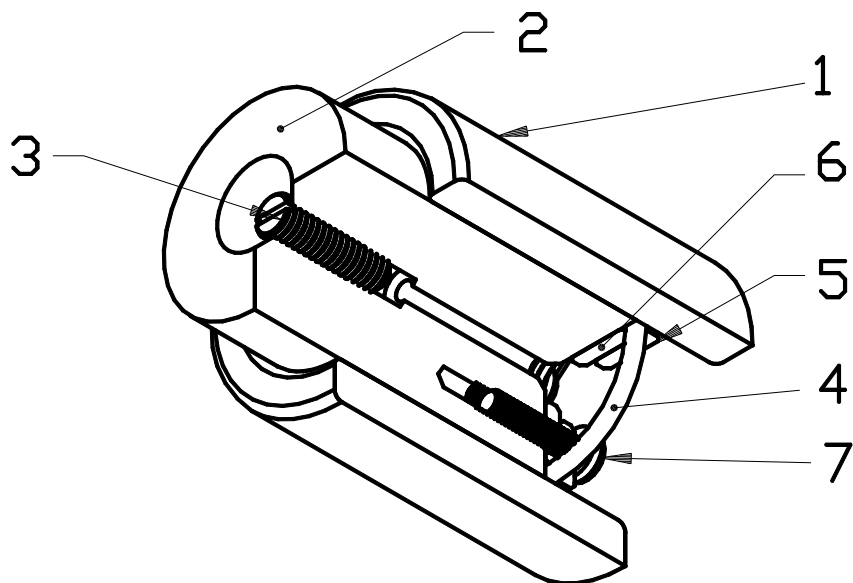
2.1.3 Konstrukční řešení vybraných částí a skupin

Obsahem této kapitoly je popis jednotlivých konstrukčních částí pedometru. Zdůvodnění daného konstrukčního řešení, možné postupy při výrobě a stručná charakteristika vlastností daných částí.

a) Píst jako celek

Výchozí polotovar pro konstrukci pístu je kulatina (hliníkový polotovar) o průměru $d = 25 \text{ mm}$. V ose je vyvrtán otvor a na jeho konci je vyříznut závit pro odvodušňovací (stavěcí) šroub M5. Otvor slouží k odvodušňování pedometru při montáži – vzduch je, vlivem zasouvání pístu do válce, vytěsněn olejem mimo pracovní prostor válce. Zároveň je toto řešení nutné při demontáži pedometru, aby bylo možné píst vysunout z válce a případně vyměnit o-kroužek nebo dolít hydraulický olej, který vlivem netěsností může unikat. Aby při vlastní činnosti nedocházelo k únikům oleje mezi závitem M5 u stavěcího šroubu, je na jeho povrchu navinuta teflonová těsnící páska.

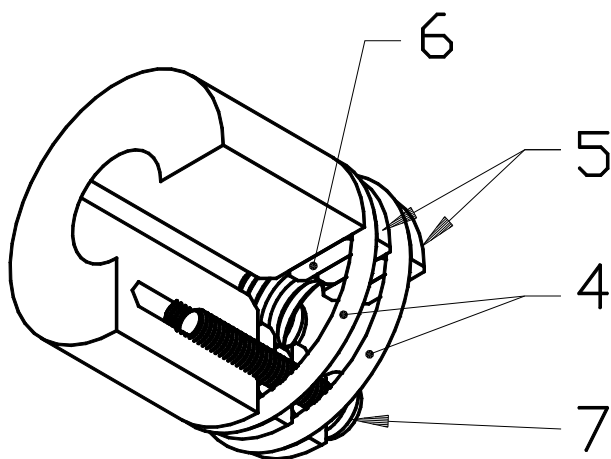
Utěsnění pracovního prostoru válce pod pístem je provedeno jedním o-kroužkem (obr. 2.8). Ten je nasazen na středící podložce, která znemožňuje jeho deformaci a zajišťuje jeho správnou polohu. Vše je třemi šrouby M3 staženo k čelu pístu pomocí stahovací podložky. Důvodem je minimální finanční náročnost a snaha o jednoduchost výroby.



Obr. 2.8 Utěsnění pracovního prostoru válce pod pístem

1 – válec; 2 – píst (tlačný píst); 3 – odvzdušňovací (stavěcí) šroub M5; 4 – o-kroužek;
5 – stahovací podložka; 6 – středící podložka; 7 – šroub M3

Těsnění jedním o-kroužkem je dostatečné (mnou testováno na 1,8 MPa), ale pokud by bylo potřeba, je možné, přidáním další sady součástek v tomto pořadí: středící podložka, o-kroužek a stahovací podložka, znatelně zvýšit těsnící schopnost (obr. 2.9). Ale na úkor zvýšení odporů při pohybu pístu. Tím zároveň dojde ke snížení citlivosti přístroje na malá zatížení. Také je třeba vyměnit tři šrouby M3x12 ISO 7045 za rozměrově delší M3x16 ISO 7045.

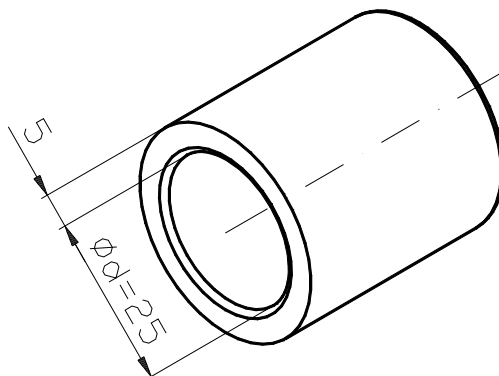


Obr. 2.9 Zvýšení těsnící schopnosti pístu pedometru (detail v řezu)

4 – o-kroužek; 5 – stahovací podložka; 6 – středící podložka (2x); 7 – šroub M3x16 (3x)

b) Válec

Výchozím polotovarem je hliníková trubka (obr. 2.10), jejíž vnitřní průměr má jmenovitou hodnotu 25 mm a tloušťka stěny je 5 mm, aby nevznikaly potíže při svařování k podstavě.



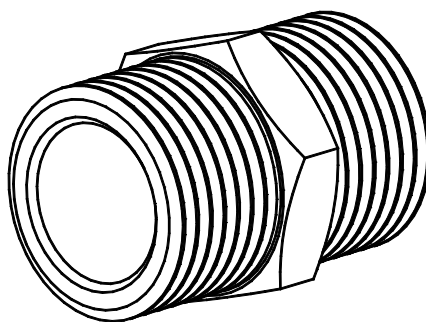
Obr. 2.10 Válec pedometru

c) Manometr a opletená hadice (kupované části)

Byl použit manometr o měřícím rozsahu 0 až 18 bar s dělením stupnice po 0,1 MPa (1 bar), který se připevnil k opletené hadici. Délka hadice je cca 1200 mm, aby bylo možné umístit manometr do roviny očí pro pohodlné odečítání naměřené hodnoty ze stupnice. Oba konce hadice jsou opatřeny závitem G 3/8'', utěsnění je opět provedeno (vzhledem k jednoduchosti) teflonovou těsnicí páskou, která je určena pro maximální přetlak kapaliny 1,6 MPa.

d) Propojka G 3/8'' (kupovaná část)

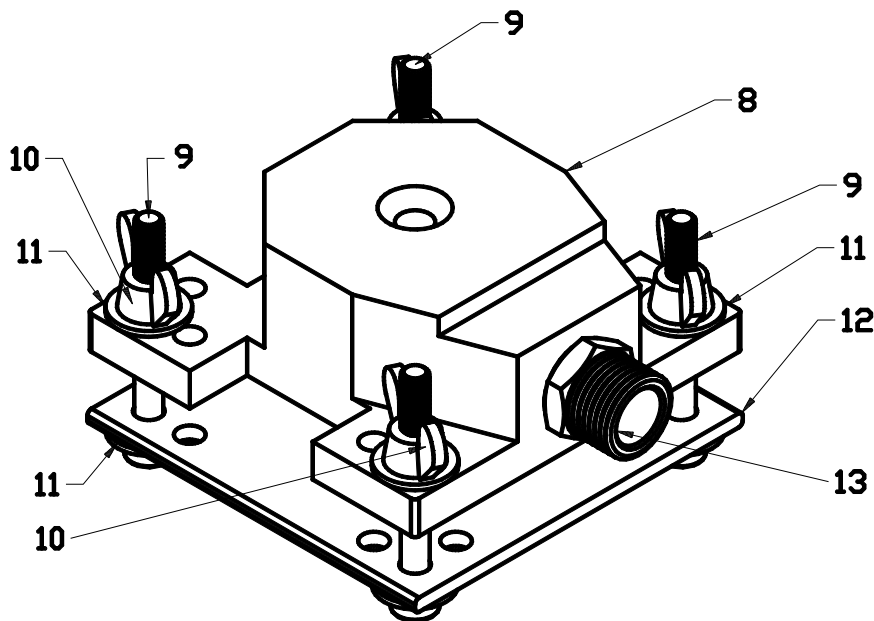
Mosazná propojka se šestihranem uprostřed a se závity G 3/8'' na obou koncích (obr. 2.11) slouží k propojení těla pedometru (podstava + válec) s opačným koncem opletené hadice, než na kterém je upevněn manometr nebo další snímače (viz 3. kapitola).



Obr. 2.11 Mosazná propojka G 3/8''

e) Deska a tělo pedometru

Určení základních rozměrů bylo rozebráno v kapitole 2.1.2(b). Přičemž podstava a válec tvoří jeden celek (svařenec) nazvaný tělo pedometru. Půdorysné rozměry desky, která slouží k upevnění pedometru na pedál, jsou shodné jako u podstavy (80 x 80 mm), shodné jsou i otvory pro šrouby M5 (až na jejich počet), které procházejí skrz. Jako matice pro tyto šrouby byla zvolena křídlatá matice, což umožňuje snadnou manipulaci bez nutnosti použití nadměrného množství ručního nářadí. Konstrukční provedení je na obrázku (obr. 2.12).



Obr. 2.12 Upevnění pedometru k pedálu

8 – podstava; 9 – upevňovací šroub M5x45 ISO 4762; 10 – křídlatá matice M5; 11 – podložka; 12 – deska; 13 – mosazná propojka

Pokud by délka šroubů, pro konkrétní upevnění v daném voze, nevyhovovala, je možné šrouby M5x45 ISO 4762 zaměnit za delší variantu šroubů M5x50 nebo M5x60.

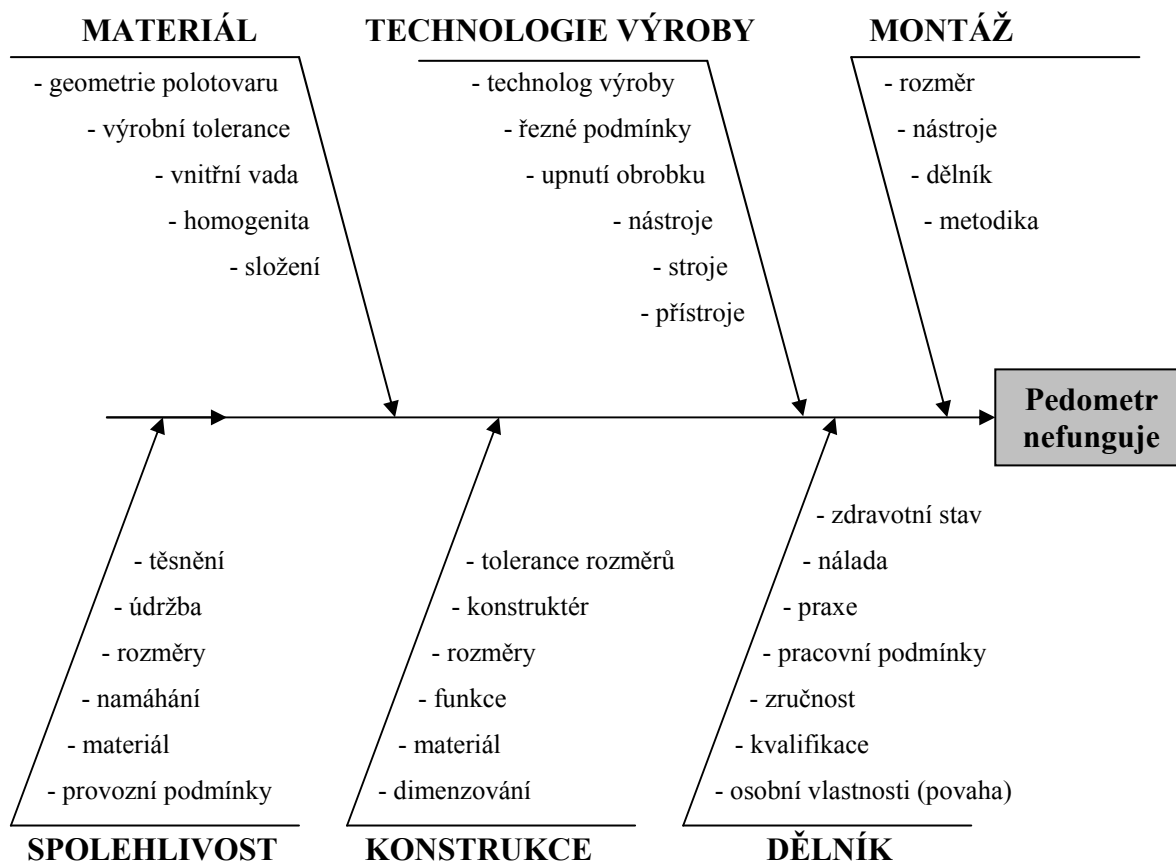
2.1.3.1 Výroba a spolehlivost

U všech vyráběných nebo jen upravovaných dílů se vystačí s třískovým obráběním za použití konvenčních strojů jako je soustruh, frézka, sloupová vrtačka, případně bruska. Pro důležité součásti, které je potřeba vyrobit, je v příloze (příloha 1) naznačena možná podoba analýzy FMEA, která vychází z Ishikawova diagramu (obr. 2.13). Účelem diagramu je stanovení nejpravděpodobnější příčiny problému, který se řeší – porucha pedometru.

FMEA je zkratkou anglických slov **F**ailure **M**ode and **E**fekt **A**nalysis, což je do češtiny překládáno jako analýza možných vad a jejich důsledků. Cílem je již ve fázi vývoje nového výrobku definovat všechny možné vady související s daným výrobkem nebo procesem a pro potenciálně nejrizikovější vady realizovat preventivní opatření [3].

V analýze FMEA je, u konkrétní možné vady, doporučeno opatření v případě že

- význam, výskyt a odhalitelnost má číslo ≥ 7
nebo
- hodnota rizikového čísla je větší jak 200.



Obr. 2.13 Ishikawův diagram

2.1.4 Výhody a nevýhody konstrukce – zhodnocení pedometru

a) Výhody

- dostatečná přesnost při měření, jednoduchá konstrukce a snadná výroba,
- snadná dostupnost materiálu (hliníkové polotovary, kupované součásti),
- dostatečná odolnost při používání – životnost,
- relativně nízké náklady na výrobu,
- rychlá montáž a demontáž – možnost výměny porouchaných dílů,
- odolnost vůči venkovním podmínkám,
- možnost záznamu naměřených hodnot (viz 3. kapitola),
- bezpečné používání pro obsluhu při měření.

b) Nevýhody

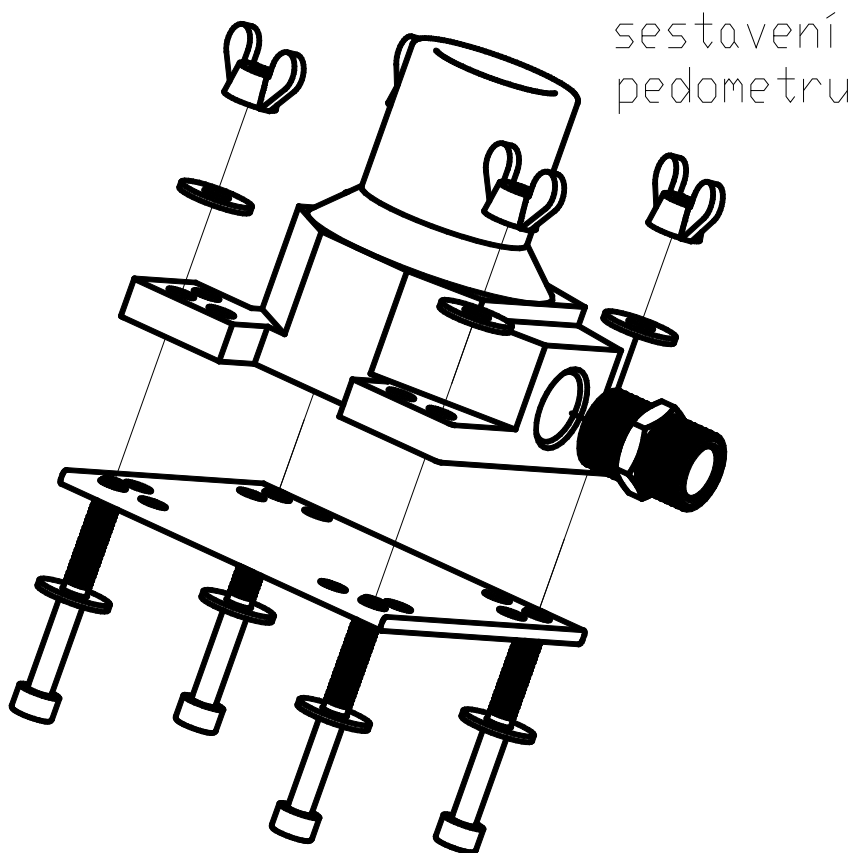
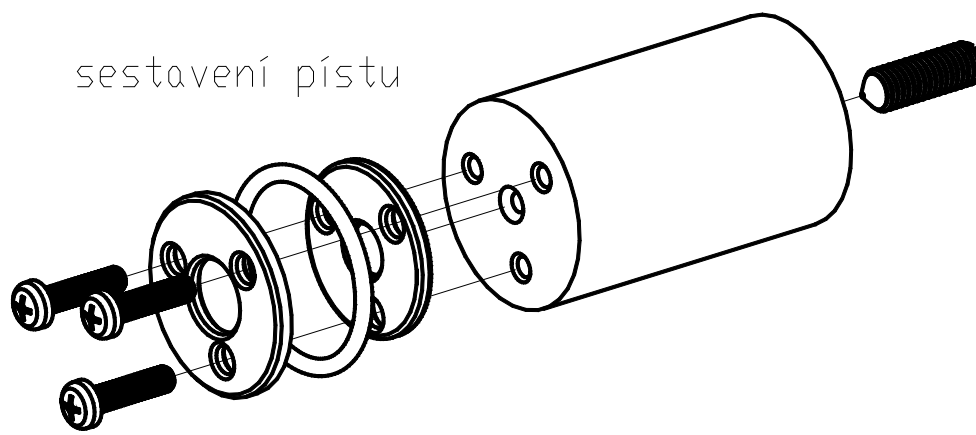
- vyšší hmotnost,
- větší rozměry,
- nutnost pravidelné údržby a kontroly stavu těsnění,
- možné poškození interiéru vozidla při úniku oleje.

2.2 Úkony potřebné před prvním použitím

Před prvním použitím se musí vyrobený pedometr nejprve smontovat a to následujícím způsobem – viz obrázek (obr. 2.14),

- do těla pedometru se zašroubuje mosazná propojka, která je utěsněna teflonovou páskou navinutou na závit $G\ 3/8''$,
- stejným způsobem se utěsní manometr (měřicí rozsah 0 až 18 bar), který se připevní na opačný konec opletené hadice,
- smontovaná hadice s manometrem se připojí k mosazné propojce,
- na středící podložku se nasadí o-kroužek, který se připevní k čelu pístu stahovací podložkou a třemi šrouby M3x12,
- poté se připevní deska čtyřmi (možno více i méně šroubů) šrouby M5 s křídlatými maticemi a podložkami,
- do smontovaného přístroje, který se umístí tak, že je na podlaze manometr a tělo pedometru je ve větší výšce, se začne pozvolna lít hydraulický olej vhodného množství (cca 60 ml) a vyčká se do doby, než přestanou unikat bubliny vzduchu,

- do válce se vsune složený píst – do takové hloubky, dokud nezačne otvorem pro odvzdušnění vytékat hydraulický olej,
- na stavěcí (odvzdušňovací) šroub M5, který slouží k odvzdušnění, se navine dostatečně silná vrstva teflonové pásky a zašroubováním se jím utěsní píst.



Obr. 2.14 Montáž pedometru

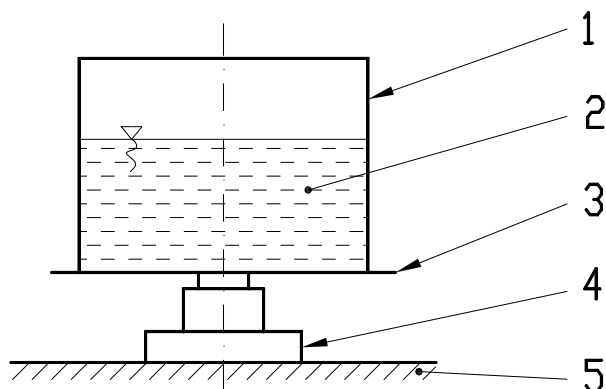
2.2.1 Kalibrace pedometru s využitím metody nejmenších čtverců

Kalibrace je soubor činností, kterými se za daných podmínek stanoví vztah mezi hodnotami veličiny naměřenými měřicím přístrojem (měřidlem) a odpovídajícími hodnotami, realizovanými etalonem [4].

2.2.1.1 Průběh kalibrace

Kalibrace byla provedena za účelem ověření funkční závislosti mezi zobrazovaným tlakem na manometru a skutečnou silou, která na píst pedometru působila. Respektive bylo cílem zjistit, do jaké míry se liší tlak vypočítaný pro konkrétní zatížení (hmotnost) od hodnoty tlaku, který ukazoval manometr.

Pro vyvození příslušné síly na píst pedometru byly použity dva kanystry na vodu o objemech 10 litrů a 30 litrů, které se postupně plnily, za použití odměrného válce, vodou. Sloužily jako etalony. Celkové uspořádání jednotlivých komponent při kalibraci je naznačeno na obrázku (obr. 2.15).



Obr. 2.15 Kalibrace pedometru

1 – kanystr; 2 – kapalina (voda); 3 – ocelová podložka; 4 – pedometr; 5 – podlaha laboratoře

Nejprve byl použit kanystr o objemu 10 litrů, který byl prázdný zvážen pomocí digitální váhy a poté naplněn příslušným množstvím vody tak, aby jeho celková hmotnost činila 5 kg.

Při kalibraci byla použita ocelová podložka, pro lepší stabilitu kanystru na pístu, která vážila 0,44 kg a hmotnost již zmiňovaného prázdného kanystru (objem 10 litrů) byla 0,93 kg. Poté byla dolita voda o objemu 3,63 dm³, čímž se dosáhlo hmotnosti 5 kg. Pro další zvýšení hmotnosti se, pomocí odměrného válce, dolily další 2 litry vody a tím se hmotnost navýšila

o 2 kg. Po každém doplnění se provedlo přeměření hmotnosti celého kanystru na vahách, toto bylo možné pouze do celkové hmotnosti 12 kg, což byla maximální zatížitelnost váhy. Pro větší hodnotu zatížení se pouze přilávalo příslušné množství vody z odměrného válce. Při hmotnosti vyšší jak 12 kg, se využil kanystr o jmenovitém objemu 30 litrů, do kterého bylo možné dolít až 34 litrů.

Při samotném zatěžování pedometru etalonem, bylo velmi důležité, aby nedocházelo k vzpříčení a vyvrácení pístu. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, mohlo by dojít k mírnému pohybu o-kroužku a k následnému úniku hydraulického oleje, což by znamenalo selhání celého přístroje.

2.2.1.2 Naměřené hodnoty

Kalibrace byla uskutečněna v laboratoři (poloprovozu) Katedry dřeva, celulózy a papíru Univerzity Pardubice za těchto podmínek

- tlak: 1004 hPa,
- teplota: 21,7 °C,
- vlhkost: 25,1 %,

a byly naměřeny následující hodnoty viz tabulka (tab. 2.1).

Tab. 2.1 Naměřené hodnoty tlaků

Hmotnost naplněného kanystru	m	[kg]	5	7	9	10	12	14	16	18	
Zatěžující síla působící na píst	F_o	[N]	49	68,7	88,3	98,1	117,7	137,3	157	176,6	
Teoretický tlak	p	[bar]	1	1,4	1,8	2	2,4	2,8	3,2	3,6	
Tlak zobrazený manometrem	p_i	[bar]	a)	1	1,4	1,7	2,1	2,6	3	3,2	3,8
		b)	1	1,4	2	2	2,4	3	3,3	3,9	
		c)	1	1,4	1,8	2	2,5	3	3,4	4	
Průměrný tlak zobrazený manometrem	p_p	[bar]	1	1,4	1,8	2	2,5	3	3,3	3,9	

Pokračování tab. 2.1

Hmotnost naplněného kanystru	m	[kg]	20	22	24	26	28	30	34	
Zatěžující síla působící na píst	F_o	[N]	196,2	215,8	235,4	255	274,7	294,3	333,5	
Teoretický tlak	p	[bar]	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,8	
Tlak zobrazený manometrem	p_i	[bar]	a)	4,2	4,9	5,3	5,8	6	6,6	7,8
			b)	4,2	5	5,3	5,7	6	6,7	7,7
			c)	4,2	5	5,3	5,6	6	6,7	7,8
Průměrný tlak zobrazený manometrem	p_p	[bar]	4,2	5	5,3	5,7	6	6,7	7,8	

2.2.1.2.1 Vzorové výpočty pro dopočítávané hodnoty

Jediná měřená veličina byl tlak zobrazený manometrem p_i pro odpovídající zatížení, další hodnoty v předcházející tabulce (tab. 2.1) jsou dopočítány dle následujících vzorců.

Veškeré výpočty jsou provedeny pro pátý sloupec – $m = 12 \text{ kg}$ (tab. 2.1).

a) Zatěžující síla působící na píst F_o

$$\underline{\underline{F_o}} = m \cdot g = 12 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{117,7 \text{ N}}} \quad (2.3)$$

kde je: F_o zatěžující síla působící na píst [N]

m hmotnost naplněného kanystru [kg]

g tíhové zrychlení Země [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

b) Teoretický tlak p

$$\underline{\underline{p}} = \frac{F_o}{S} = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 117,7 \text{ N}}{\pi \cdot (25 \text{ mm})^2} = 0,24 \text{ MPa} = \underline{\underline{2,4 \text{ bar}}} \quad (2.4)$$

kde je: p teoretický tlak [MPa, bar]

S plocha pístu pedometru [mm^2]

d průměr pístu resp. vnitřní průměr válce pedometru [mm].

Jediný důvod pro výpočet hodnoty teoretického tlaku byl čistě informativní, aby byla známa přibližná velikost tlaku, který se zobrazí manometrem a nemohlo tak dojít k hrubé chybě při měření (odečítání ze stupnice manometru).

c) Průměrný tlak zobrazený manometrem p_p

$$\underline{\underline{p_p}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_{i_j} = \frac{1}{3} \cdot (2,6 \text{ bar} + 2,4 \text{ bar} + 2,5 \text{ bar}) = \underline{\underline{2,5 \text{ bar}}} \quad (2.5)$$

kde je: p_p průměrný tlak zobrazený manometrem [bar]

N počet naměřených hodnot

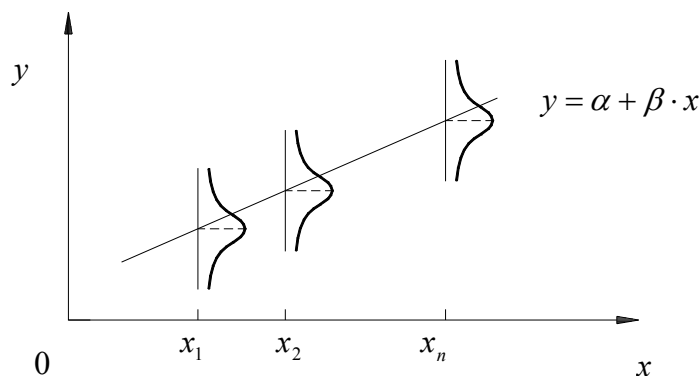
p_{i_j} tlak zobrazený manometrem [bar].

2.2.1.3 Jednoduchá lineární regrese

Jedná se o závislost náhodné veličiny Y (tlak zobrazený manometrem p_i) na veličině x (veličina x je zatěžující síla působící na píst F_o), která náhodná veličina není. To znamená, že pro každé x z množiny A bude odpovídající veličina $Y(x)$ náhodná veličina s určitým pravděpodobnostním rozdělením. Budeme předpokládat, že pro každou posloupnost čísel x_1, x_2, \dots, x_n z množiny A jsou odpovídající náhodné veličiny Y_1, Y_2, \dots, Y_n nezávislé. Funkci r definovanou na množině A vztahem $r(x) = EY(x)$ nazveme regresní funkcí. Regrese je tedy závislost mezi střední hodnotou náhodné veličiny $Y(x)$ a veličinou x [5].

2.2.1.3.1 Matematický model jednoduché lineární regrese

Předpokládejme, že pro každé $x_i, i=1,2,\dots,n$, z množiny A jsou odpovídající náhodné veličiny $Y(x_i)$ nezávislé a mají normální rozdělení $N(\alpha + \beta \cdot x_i; \sigma^2)$, jelikož $EY_i = \alpha + \beta \cdot x_i$, je regresní funkce $r(x) = \alpha + \beta \cdot x$ lineární – viz obrázek (obr. 2.16). Přímkou $y = \alpha + \beta \cdot x$ nazýváme regresní přímkou a její směrnici β regresním koeficientem. Graficky je tato situace zobrazena na obrázku (obr. 2.16) [5].



Obr. 2.16 Regresní přímka

2.2.1.3.2 Nestranné odhady parametrů α , β

Odhady parametrů α, β označíme a, b , přičemž tyto odhady jsou nezávislé náhodné veličiny. Určíme je metodou nejmenších čtverců. Metoda je založena na požadavku, aby součet čtverců odchylek vypočítaných a pokusných hodnot závisle proměnné y byl minimální.

To znamená, že hledáme minimum funkce

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i)^2. \quad (2.6)$$

Neznámými veličinami (proměnnými) jsou v tomto případě hledané konstanty a, b . Vypočítáme nejprve parciální derivace prvního a druhého řádu, položíme parciální derivace prvního řádu rovny nule a upravíme. Dostaneme soustavu dvou tzv. normálních rovnic z nichž vypočítáme stacionární bod (a, b) [5], [6].

Cílem této práce není provádět úplné odvození koeficientů a, b , tudíž jsou zde uvedeny už konečné výrazy pro jejich výpočet

$$a = \frac{\sum_i y_i \cdot \sum_i x_i^2 - \sum_i x_i \cdot \sum_i x_i \cdot y_i}{n \cdot \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i \right)^2} \quad (2.7)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_i x_i \cdot y_i - \sum_i x_i \cdot \sum_i y_i}{n \cdot \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i\right)^2} \quad (2.8)$$

kde je: n rozsah náhodného výběru.

2.2.1.4 Výpočet koeficientů (a, b) regresní přímky

Základním předpokladem je skutečnost, že tlak zobrazený manometrem p_i (osa y) je lineárně závislý na zatěžující síle F_o (osa x), to odpovídá statistickému modelu jednoduché lineární regrese.

Díličí numerické mezivýsledky z tabulky (tab. 2.1) jsou zobrazeny v tabulce (tab. 2.2). Dále je provedeno dosazení do matematických výrazů (2.7), (2.8) a jejich vyčíslení.

Tab. 2.2 Mezivýsledky

$x_i \equiv F_o$ [N]	$y_i \equiv p_i$ [bar]	x_i^2 [N ²]	$x_i \cdot y_i$ [N·bar]
49	1	2401,0	96,18
68,7	1,4	4719,7	158,94
88,3	1,8	7796,9	196,2
98,1	2	9623,6	294,25
117,7	2,5	13853,3	411,9
137,3	3	18851,3	518,1
157	3,3	24649,0	688,74
176,6	3,9	31187,6	824,04
196,2	4,2	38494,4	1079
215,8	5	46569,6	1247,62
235,4	5,3	55413,2	1453,5
255	5,7	65025,0	1648,2
274,7	6	75460,1	1971,81
294,3	6,7	86612,5	2601,3
333,5	7,8	111222,3	96,18
$\sum_i x_i = 2697,6$	$\sum_i y_i = 59,6$	$\sum_i x_i^2 = 591879,4$	$\sum_i x_i \cdot y_i = 13238,8$

$$\begin{aligned} \underline{a} &= \frac{\sum_i y_i \cdot \sum_i x_i^2 - \sum_i x_i \cdot \sum_i x_i \cdot y_i}{n \cdot \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i\right)^2} = \\ &= \frac{59,6 \text{ bar} \cdot 591879,4 \text{ N}^2 - 2697,6 \text{ N} \cdot 13238,8 \text{ N} \cdot \text{bar}}{15 \cdot 591879,4 \text{ N}^2 - (2697,6 \text{ N})^2} = \underline{\underline{-0,2729 \text{ bar}}} \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \underline{b} &= \frac{n \cdot \sum_i x_i \cdot y_i - \sum_i x_i \cdot \sum_i y_i}{n \cdot \sum_i x_i^2 - \left(\sum_i x_i\right)^2} = \\ &= \frac{15 \cdot 13238,8 \text{ N} \cdot \text{bar} - 2697,6 \text{ N} \cdot 59,6 \text{ bar}}{15 \cdot 591879,4 \text{ N}^2 - (2697,6 \text{ N})^2} = \underline{\underline{0,0236 \text{ bar} \cdot \text{N}^{-1}}} \end{aligned} \quad (2.10)$$

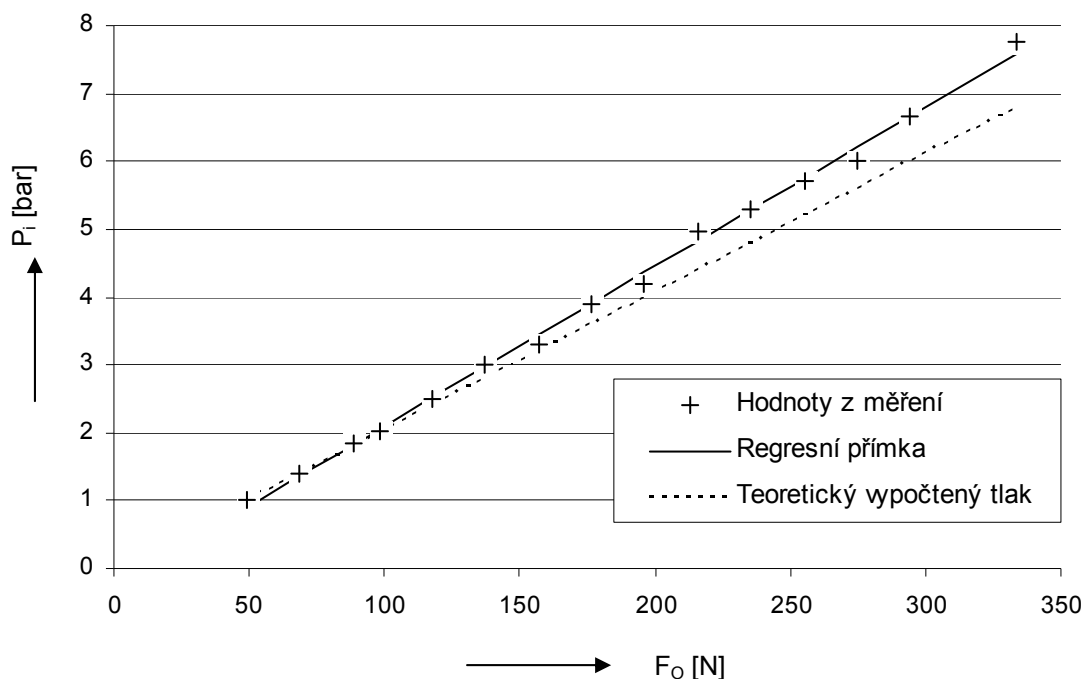
Regresní přímka má tedy tvar $y = a + b \cdot x = -0,2729 \text{ bar} + 0,0236 \text{ bar} \cdot \text{N}^{-1} \cdot x$ nebo-li

$$p_i = -0,2729 \text{ bar} + 0,0236 \text{ bar} \cdot \text{N}^{-1} \cdot F_o \quad . \quad (2.11)$$

Je důležité si uvědomit, že platnost získané rovnice (2.11) je pouze pro naměřené hodnoty a nevypovídá nic o skutečné závislosti. Z rovnice by například vyplynulo, že pro nulovou zatěžující sílu F_o by indikovaný tlak manometrem měl hodnotu $-0,2729 \text{ bar}$, což je z fyzikálního hlediska nemožné.

Zároveň je nutné tuto regresní přímku chápat jako jistou „korekci“ manometru a je možné ji (v tomto případě) použít pro odhad vyšších hodnot tlaků, které nebylo možné v daných laboratorních podmínkách vyvodit (např. 8,9,10 bar). Z grafu (graf 2.1) je zřetelná odchylka tlaku teoretického a regresní přímky reprezentující naměřené hodnoty.

Graf 2.1 Znáznornění naměřených hodnot a průběh regresní přímky



Pro další měření, za pomoci vyrobeného pedometru, bude výhodné z výrazu pro regresní přímku (2.11) vyjádřit sílu F_o , protože při vlastním měření se bude z pedometru odečítat zobrazená hodnota tlaku a jí se přiřadí odpovídající zatěžující síla na pedálu výpočtem přes rovnici regresní přímky (2.12)

$$F_o = \frac{p_i + 0,2729 \text{ bar}}{0,0236 \text{ bar} \cdot \text{N}^{-1}} \quad (2.12)$$

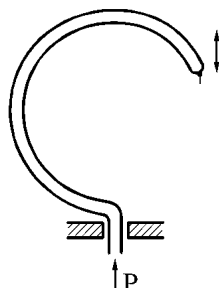
kde je: F_o zatěžující síla působící na brzdový pedál [N]

p_i tlak zobrazený (indikovaný) manometrem [bar].

Ve vzorci (2.12) jsou záměrně použity konstanty s přesností na čtyři desetinná místa z důvodu, aby nedocházelo vlivem zaokrouhlování k zbytečným chybám a tím se snížila přesnost naměřené síly F_o .

3 Konstrukce snímačů tlaku

Zkonstruovaný pedometr pracuje na principu hydraulického přenosu síly, k odečítání tlaku kapaliny slouží manometr s *Bourdonovou trubicí* (obr 3.1), který neumožňuje záznam naměřených hodnot a to buď v diskrétní podobě nebo v závislosti na čase při měření (spojitě).



Obr. 3.1 Bourdonova trubice [7]

Jedna z variant, pro splnění požadavku na záznam dat, je použití tlakového snímače. Komerčně vyráběné snímače lze připojit k měřicí centrále, která odečítá naměřená data a zároveň provede jejich záznam pro pozdější analýzu. Velká nevýhoda těchto snímačů je v jejich vysoké ceně, která se pohybuje v řádu tisíců Kč. Cílem tedy bylo navrhnout alespoň dva tlakové senzory pro pedometr, které by byly relativně snadno vyrobitelné a náklady na jejich výrobu byly minimální.

Oba senzory využívají vzniku deformací vlivem zatížení vnitřním přetlakem, které jsou zaznamenány tenzometry a vyhodnoceny měřicí centrálou, případně je proveden jejich záznam pro pozdější vyhodnocení měření. Jsou zhotoveny svářením z hliníkových polotovarů.

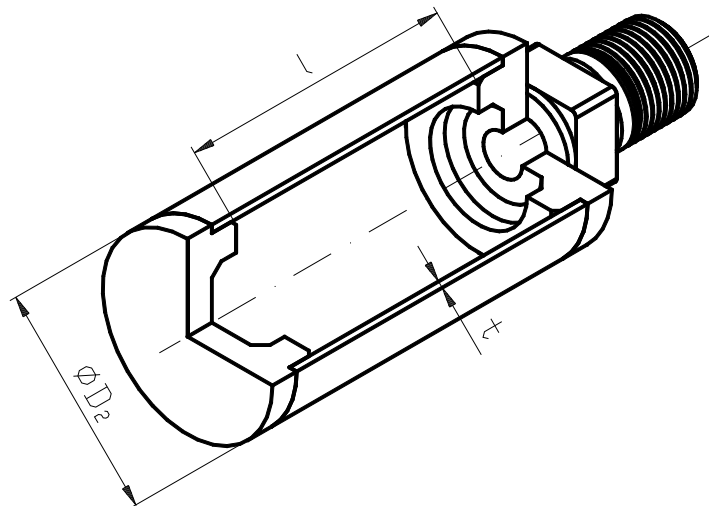
Konkrétně se jedná o tyto dva snímače tlaku:

- tenkostěnná válcová nádoba s tuhými čely zatížená vnitřním přetlakem,
- deska (membrána) vetknutá po celém obvodu s rovnoměrným rozložením tlaku po celé ploše.

U obou snímačů je důležité, aby vznikající mechanické napětí spolu s deformací (poměrné prodloužení), které vzniká v materiálu od tlaku kapaliny, bylo pokud možno lineárně závislé na okamžité hodnotě vyvozeného tlaku p_i .

3.1 Tenkostěnná válcová nádoba s tuhými čely

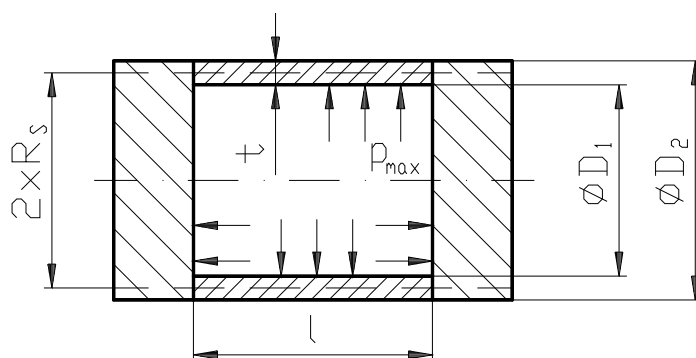
Jedná se o nádobu, u které je její tloušťka stěny mnohonásobně menší než její ostatní rozměry $t \ll R_1, R_2$. Nádoba je rotačního tvaru a je rovnoměrně zatížena vnitřním přetlakem (obr. 3.3).



Obr. 3.2 Částečný 3D řez nádobou (zakótovaný)

Konkrétní konstrukční řešení, aby co nejvíce odpovídalo výpočtovému modelu (obr. 3.3), je tvořeno tenkostěnnou bezešvou trubkou přivařenou z obou stran k tuhým čelům (obr. 3.2). Součástí pravého čela nádoby je čtyřhran pro velikost klíče č. 17 (rozměr čtyřhranu 17 x 17 mm), který umožňuje dostatečné dotažení závitu G 3/8'' (na konci čela) k opletené hadici.

3.1.1 Vstupní hodnoty pro výpočty a rozměry nádoby



Obr. 3.3 Výpočtový model nádoby

a) Střední poloměr tenkostěnné nádoby R_S

$$\underline{R_S} = \frac{D_2 + D_1}{4} = \frac{35\text{ mm} + 32\text{ mm}}{4} = \underline{\underline{16,75\text{ mm}}} \quad (3.1)$$

kde je: R_S střední poloměr pláště tenkostěnné nádoby [mm]

D_2 vnější průměr pláště válcové nádoby [mm]

D_1 vnitřní průměr pláště válcové nádoby [mm].

b) Velikost výpočtového vnitřního přetlaku p_{\max}

$$\underline{p_{\max}} = \beta \cdot p_{P_{\max}} = 1,25 \cdot 1,4\text{ MPa} = \underline{\underline{1,75\text{ MPa}}} \quad (3.2)$$

kde je: p_{\max} velikost výpočtového vnitřního přetlaku [MPa]

β součinitel krátkodobého přetížení (volba)

$p_{P_{\max}}$ maximální pracovní tlak uvnitř nádoby [MPa].

c) Orientační vzdálenost čel nádoby [8]

$$\underline{l} \approx 6 \cdot \sqrt{R_S \cdot t} = 6 \cdot \sqrt{16,75\text{ mm} \cdot 1,5\text{ mm}} = 30\text{ mm} \Rightarrow \underline{\underline{l \approx 50\text{ mm}}} \text{ (volba)} \quad (3.3)$$

kde je: t tloušťka stěny pláště u nádoby [mm].

d) Základní mechanické vlastnosti materiálu pláště nádoby

Tab. 3.1 Základní mechanické vlastnosti (trubka)

Smluvní mez kluzu $R_{P0,2}$	Mez pevnosti v tahu R_m	Poissonovo číslo μ	Modul pružnosti v tahu E
160 MPa	215 MPa	0,35	$0,72 \cdot 10^5$ MPa

Smluvní mez kluzu a mez pevnosti v tahu udává výrobce pro hliníkové polotovary dle chemického složení EN 573-3 AW 6060 s mechanickými vlastnostmi podle EN 755-2 T66 DIN 1748/2-4; zdroj firma **ALUPA s.r.o.** na vyžádání zákazníka (odběratele materiálu). V obou případech se jedná o minimální hodnoty napětí.

Poissonovo číslo a modul pružnosti v tahu norma neudává, tyto hodnoty se zjistí z literatury [9] pro daný materiál. Jedná se pouze o přibližné údaje.

3.1.2 Výpočet pevnosti pláště nádoby v místě vetknutí

3.1.2.1 Membránová napětí [8]

a) Obvodové (tangenciální) napětí $\sigma_{m,t}$

$$\underline{\underline{\sigma_{m,t}}} = \frac{p_{\max} \cdot R_S}{t} = \frac{1,75 \text{ MPa} \cdot 16,75 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} = \underline{\underline{19,5 \text{ MPa}}} \quad (3.4)$$

kde je: $\sigma_{m,t}$ obvodové (tangenciální) napětí [MPa].

b) Osová (axiální) napětí $\sigma_{m,a}$

$$\underline{\underline{\sigma_{m,a}}} = \frac{p_{\max} \cdot R_S}{2 \cdot t} = \frac{\sigma_t}{2} = \frac{19,5 \text{ MPa}}{2} = \underline{\underline{9,75 \text{ MPa}}} \quad (3.5)$$

kde je: $\sigma_{m,a}$ osová (axiální) napětí [MPa].

3.1.2.2 Volná změna poloměru pláště [8]

$$\begin{aligned} \underline{\underline{\Delta r = u}} &= R_S \cdot \varepsilon_t = R_S \cdot \frac{1}{E} \cdot (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_a) = \\ &= 16,75 \text{ mm} \cdot \frac{1}{0,72 \cdot 10^5 \text{ MPa}} \cdot (19,5 \text{ MPa} - 0,35 \cdot 9,75 \text{ MPa}) = \underline{\underline{3,74 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

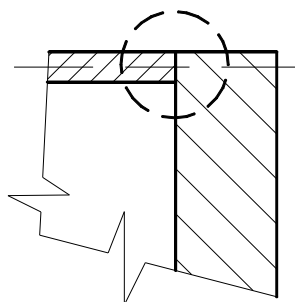
kde je: $\Delta r, u$ volná změna poloměru pláště [mm]

ε_t poměrné prodloužení (deformace) v obvodovém směru

μ Poissonovo číslo (viz tab. 3.1)

E modul pružnosti v tahu [MPa] (viz tab. 3.1).

3.1.2.3 Zabránění změně poloměru [8]



Obr. 3.4 Detail vetknutí pláště nádoby

Zabránění změně poloměru v místě spojení (vetknutí) s tuhým čelem je ekvivalentní účinku síly P'

$$\begin{aligned} \underline{\underline{P'}} &= \frac{2 \cdot E \cdot u}{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}} \cdot \left(\frac{t}{R_s} \right)^{\frac{3}{2}} = \\ &= \frac{2 \cdot 0,72 \cdot 10^5 \text{ MPa} \cdot 3,74 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}{\sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,35^2)}} \cdot \left(\frac{1,5 \text{ mm}}{16,75 \text{ mm}} \right)^{\frac{3}{2}} = \underline{\underline{11,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

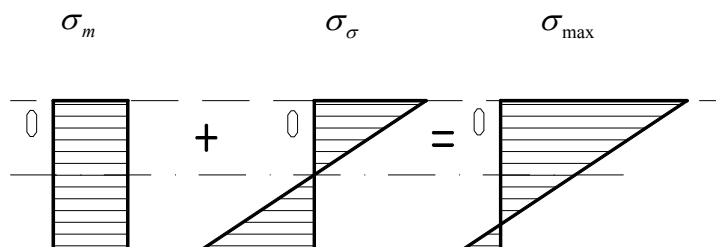
kde je: P' příčné radiální zatížení (prstencová síla) [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$].

3.1.2.4 Maximální napětí v místě vetknutí [8]

Zatížení v určitém místě stěny pláště nádoby vyvolává její

- prodlužování – *membránová napětí* σ_m ($\sigma_{m,a}, \sigma_{m,t}$),
- ohýbání – *ohybová napětí* σ_σ ($\sigma_{\sigma,a}, \sigma_{\sigma,t}$),

výsledné napětí je superpozicí obou složek, jak je zobrazeno na obrázku (obr. 3.5). V některých případech převládá vliv jednoho nebo druhého napětí, části bez náhlých tvarových změn $\rightarrow \sigma_m$ a oblasti náhlých změn tvaru nebo zatížení $\rightarrow \sigma_\sigma$.



Obr. 3.5 Princip superpozice

- Maximální ohybové napětí v osové směru v místě vetknutí $\sigma_{\sigma,a}$

$$\begin{aligned} \underline{\underline{\sigma_{\sigma,a}}} &= \frac{\sqrt{R_s \cdot t}}{4 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot (1 - \mu^2)}} \cdot P' \cdot \frac{6}{t^2} = \\ &= \frac{\sqrt{16,75 \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ mm}}}{4 \cdot \sqrt[4]{3 \cdot (1 - 0,35^2)}} \cdot 11,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot \frac{6}{(1,5 \text{ mm})^2} = \underline{\underline{29,6 \text{ MPa}}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

kde je: $\sigma_{\sigma,a}$ maximální ohybové napětí v osové směru v místě vetknutí [MPa].

b) Výsledné maximální napětí v osovém směru ve vetknutí $\sigma_{a,\max}$

$$\underline{\underline{\sigma_{a,\max}}} = \sigma_{\sigma,a} + \sigma_{m,a} = 29,6 \text{ MPa} + 9,75 \text{ MPa} = \underline{\underline{39,4 \text{ MPa}}} \quad (3.9)$$

kde je: $\sigma_{a,\max}$ výsledné maximální napětí v osovém směru ve vetknutí [MPa].

c) Maximální ohybové napětí v obvodovém směru v místě vetknutí $\sigma_{\sigma,t}$

$$\underline{\underline{\sigma_{\sigma,t}}} = \mu \cdot \sigma_{\sigma,a} = 0,35 \cdot 29,6 \text{ MPa} = \underline{\underline{10,4 \text{ MPa}}} \quad (3.10)$$

kde je: $\sigma_{\sigma,t}$ maximální ohybové napětí v obvodovém směru v místě vetknutí [MPa].

d) Membránové napětí v obvodovém směru v důsledku zabránění příčné kontrakci ve vetknutí $\sigma_{t,m}$

$$\underline{\underline{\sigma_{t,m}}} = \mu \cdot \sigma_{m,a} = 0,35 \cdot 9,75 \text{ MPa} = \underline{\underline{3,4 \text{ MPa}}} \quad (3.11)$$

kde je: $\sigma_{t,m}$ membránové napětí v obvodovém směru v důsledku zabránění příčné kontrakci ve vetknutí [MPa].

e) Výsledné maximální napětí v obvodovém směru v místě vetknutí $\sigma_{t,\max}$

$$\underline{\underline{\sigma_{t,\max}}} = \sigma_{\sigma,t} + \sigma_{t,m} = 10,4 \text{ MPa} + 3,4 \text{ MPa} = \underline{\underline{13,8 \text{ MPa}}} \quad (3.12)$$

kde je: $\sigma_{t,\max}$ výsledné maximální napětí v obvodovém směru v místě vetknutí [MPa].

3.1.2.5 Redukované napětí

Hypotéza HMM (Huber, Mises, Hencky) [10]

$$\begin{aligned} \sigma_{red} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{t,\max} - \sigma_{a,\max})^2 + (\sigma_{a,\max} - 0)^2 + (0 - \sigma_{t,\max})^2} = \\ &= \sqrt{\sigma_{t,\max}^2 + \sigma_{a,\max}^2 - \sigma_{t,\max} \cdot \sigma_{a,\max}} \leq \sigma_D \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\sigma_D = \frac{R_{P0,2}}{k_k} \quad (3.14)$$

V rovnici (3.13) je dosazeno za radiální napětí $\sigma_r = 0 \text{ MPa}$, toto napětí se při výpočtu tenkostěnné nádoby zanedbává,

$$\underline{\underline{\sigma_{red}}} = \sqrt{(13,8 \text{ MPa})^2 + (39,4 \text{ MPa})^2 - 13,8 \text{ MPa} \cdot 39,4 \text{ MPa}} = \underline{\underline{34,6 \text{ MPa}}}$$

$$\underline{\underline{\sigma_D}} = \frac{160 \text{ MPa}}{4} = \underline{\underline{40 \text{ MPa}}}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{red}}} < \underline{\underline{\sigma_D}} \quad (3.15)$$

kde je: σ_{red} redukované napětí dle teorie HMM [MPa]

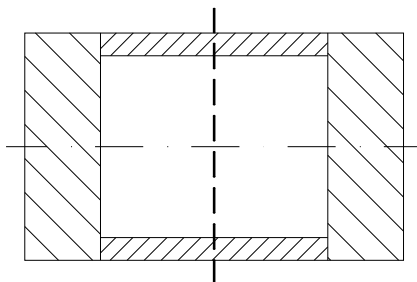
$R_{p0,2}$ smluvní mez kluzu [MPa]

k_k součinitel bezpečnosti pro mez kluzu (volba)

σ_D dovolené napětí v tahu pro daný materiál [MPa].

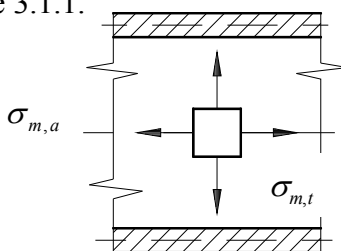
Součinitel bezpečnosti k_k byl zvolen takovým způsobem, aby se zajistila dostatečná bezpečnost proti dosažení meze kluzu při namáhání nádoby vnitřním přetlakem. Zároveň je plně využito mechanických vlastností materiálu (hliníkové profily). Dle rovnice (3.15) vyhovuje nádoba, namáhaná vnitřním přetlakem, na pevnostní kontrolu.

3.1.3 Výpočet pevnosti nádoby pro střední část pláště



Obr. 3.6 Zobrazení střední části pláště nádoby (čárkovaná čára)

Narozdíl od předešlé kapitoly 3.1.2, je výpočet rovinné napjatosti prováděn v místě uprostřed pláště nádoby viz obrázek (obr. 3.6). Zde se dá, s určitým zjednodušením, předpokládat dvouosý nesymetrický tah, jak je znázorněno na obrázcích (obr. 3.7, obr. 3.8), nejsou zde ohybová napětí. Obě čela jsou v dostatečné vzdálenosti a nedochází k ovlivnění v tomto místě, viz vztah (3.3) v kapitole 3.1.1.



Obr. 3.7 Rovinná napjatost

3.1.3.1 Membránová napětí

Výpočtové vztahy pro obvodové a osově napětí jsou shodné se vztahy, které byly použity v kapitole 3.1.2.1.

a) Obvodové (tangenciální) napětí $\sigma_{m,t}$

$$\underline{\underline{\sigma_{m,t}}} = \frac{p_{\max} \cdot R_S}{t} = \frac{1,75 \text{ MPa} \cdot 16,75 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} = \underline{\underline{19,5 \text{ MPa}}} . \quad (3.16)$$

b) Osově (axiální) napětí $\sigma_{m,a}$

$$\underline{\underline{\sigma_{m,a}}} = \frac{p_{\max} \cdot R_S}{2 \cdot t} = \frac{\sigma_t}{2} = \frac{19,5 \text{ MPa}}{2} = \underline{\underline{9,75 \text{ MPa}}} . \quad (3.17)$$

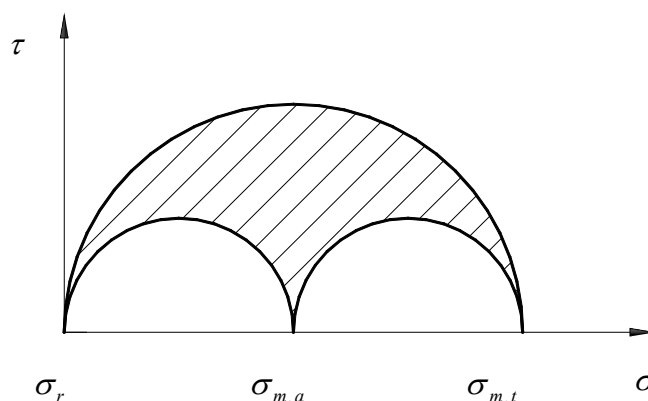
3.1.3.2 Redukované napětí

Výpočet je obdobný jako v kapitole 3.1.2.5 pro určení redukovaného napětí dle metody HMM.

$$\begin{aligned} \sigma_{red} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{m,t} - \sigma_{m,a})^2 + (\sigma_{m,a} - 0)^2 + (0 - \sigma_{m,t})^2} = \\ &= \sqrt{\sigma_{m,t}^2 + \sigma_{m,a}^2 - \sigma_{m,t} \cdot \sigma_{m,a}} \leq \sigma_D \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\underline{\underline{\sigma_{red}}} = \sqrt{(19,5 \text{ MPa})^2 + (9,75 \text{ MPa})^2 - 19,5 \text{ MPa} \cdot 9,75 \text{ MPa}} = \underline{\underline{16,9 \text{ MPa}}}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{red}}} < \sigma_D = 40 \text{ MPa}$$



Obr. 3.8 Mohrova kružnice (dvouosý nesymetrický tah)

Plášť nádoby vyhovuje pevnostním výpočtům jak v místě vetknutí u obou čel, tak i v samotném středu pláště, kde dochází k dvouosému nesymetrickému tahu.

3.1.3.3 Poměrné prodloužení (deformace) pláště

Vlivem vnitřního přetlaku dochází k poměrnému prodloužení ve dvou hlavních směrech. Jednak ve směru axiálním (osovým) a také ve směru tangenciálním (obvodovém), zároveň v těchto směrech působí již zmiňovaná membránová napětí (hlavní napětí) $\sigma_{m,t}$ a $\sigma_{m,a}$. Napětí obvodové je dvojnásobné oproti axiálnímu napětí, tudíž bude deformace v obvodovém směru také větší. V tomto směru je vhodné umístit tenzometr(y), protože se dosáhne větší citlivosti.

a) Poměrné prodloužení v obvodovém směru ε_t

$$\begin{aligned}\underline{\underline{\varepsilon_t}} &= \frac{1}{E} \cdot (\sigma_{m,t} - \mu \cdot \sigma_{m,a}) = \\ &= \frac{1}{0,72 \cdot 10^5 \text{ MPa}} \cdot (19,5 \text{ MPa} - 0,35 \cdot 9,75 \text{ MPa}) = \underline{\underline{2,23 \cdot 10^{-4}}}\end{aligned}\quad (3.19)$$

kde je: ε_t poměrné prodloužení v obvodovém směru.

b) Poměrné prodloužení v osovém směru ε_a

$$\begin{aligned}\underline{\underline{\varepsilon_a}} &= \frac{1}{E} \cdot (\sigma_{m,a} - \mu \cdot \sigma_{m,t}) = \\ &= \frac{1}{0,72 \cdot 10^5 \text{ MPa}} \cdot (9,75 \text{ MPa} - 0,35 \cdot 19,5 \text{ MPa}) = \underline{\underline{4,1 \cdot 10^{-5}}}\end{aligned}\quad (3.20)$$

kde je: ε_a poměrné prodloužení v osovém směru.

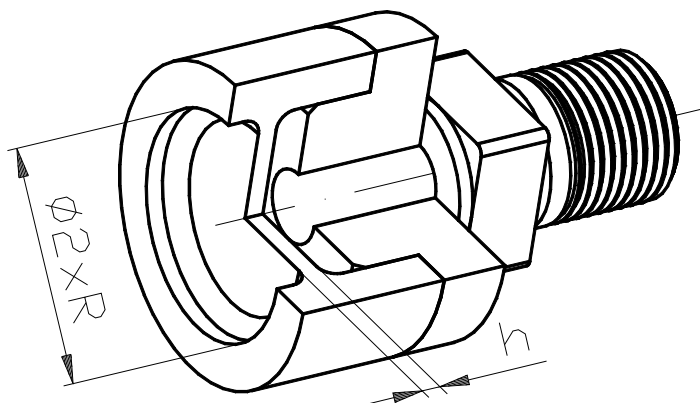
Rozměry nádoby byly voleny podle dvou kritérií. Jednak aby vyhovovaly pevnostním výpočtům a také, aby bylo dosaženo měřitelných deformací (poměrné prodloužení). Obecně se udává rozsah přetvoření v tomto intervalu: $\varepsilon = 10^{-5}$ až 10^{-3} (zdroj [11]). Příklad číselných hodnot deformací z experimentálního měření při tlakové zkoušce na potrubí je v tabulce (tab. 3.2).

Tab. 3.2 Příklad naměřených deformací při tlakové zkoušce [12]

Číslo měř.	Deformace	
	ε_t	ε_a
	[$1 \cdot 10^{-6}$]	
1	0	0
2	152	37
3	269	50
4	425	99

3.2 Deska vetknutá po celém obvodu

Tloušťka desky h nesmí převýšit $1/5$ svého poloměru R a současně průhyb desky nemůže být příliš velký, aby se mohla zanedbat membránová napětí. Konkrétně nesmí hodnota průhybu převýšit $1/3$ tloušťky desky, jinak by při větších průhybech rychle narůstala chyba řešení.

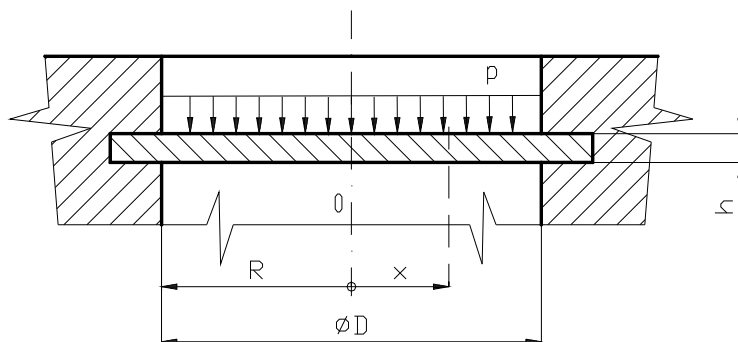


Obr. 3.9 Částečný 3D řez membránou (zakótovaný)

Konstrukce snímače tohoto typu (obr. 3.9) se skládá ze dvou částí. Jedná se o část obsahující vlastní desku (membránu) a z části druhé, která slouží k upevnění celého snímače k opletené hadici a její součástí je vyfrézovaný čtyřhran (17x17 mm) pro zajištění dostatečného dotažení závitu G 3/8". Tyto dvě části jsou vyrobeny z hliníkových polotovarů a navzájem svařeny.

3.2.1 Vstupní hodnoty pro výpočty a rozměry desky

Vzhledem k potřebě minimálních rozměrů byl zvolen průměr desky $D = 25 \text{ mm}$.



Obr. 3.10 Výpočtový model vetknuté desky

a) Základní rozměry desky

$$\underline{\underline{R}} = \frac{D}{2} = \frac{25\text{ mm}}{2} = \underline{\underline{12,5\text{ mm}}} \quad (3.21)$$

kde je: R poloměr vetknuté desky (membrány) [mm]
 D průměr vetknuté desky (membrány) [mm],

$$h_{\max} = \frac{1}{5} \cdot R = \frac{1}{5} \cdot 12,5\text{ mm} = 2,5\text{ mm} \quad (3.22)$$

$$h \leq h_{\max} \Rightarrow \underline{\underline{h = 2,2\text{ mm}}} \text{ (volba)}$$

kde je: h_{\max} maximální možná tloušťka desky [mm]
 h výpočtová tloušťka desky [mm].

b) Základní mechanické vlastnosti materiálu desky (membrány)

Tab. 3.3 Základní mechanické vlastnosti (kulatina)

Smluvní mez kluzu $R_{P0,2}$	Mez pevnosti v tahu R_m	Poissonovo číslo μ	Modul pružnosti v tahu E
200 MPa	245 MPa	0,35	$0,72 \cdot 10^5$ MPa

Smluvní mez kluzu a mez pevnosti v tahu udává výrobce pro hliníkové polotovary dle chemického složení EN 573-3 AW 6063 s mechanickými vlastnostmi podle EN 755-2 T66 DIN 1748/2-4; zdroj firma **ALUPA s.r.o.** na vyžádání zákazníka (odběratele materiálu). V obou případech se jedná o minimální hodnoty napětí.

Poissonovo číslo a modul pružnosti v tahu norma neudává, tyto hodnoty se zjistí z literatury [9] pro daný materiál. Jedná se pouze o přibližné údaje.

c) Dovolené napětí v tahu σ_D

$$\underline{\underline{\sigma_D}} = \frac{R_{P0,2}}{k_k} = \frac{200\text{ MPa}}{5} = \underline{\underline{40\text{ MPa}}} \quad (3.23)$$

kde je: σ_D dovolené napětí v tahu pro daný materiál [MPa]
 k_k součinitel bezpečnosti pro mez kluzu (volba).

d) Maximální hodnota průhybu desky $w_{\max, \max}$

$$\underline{w_{\max, \max}} = \frac{1}{3} \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 2,2 \text{ mm} = \underline{0,73 \text{ mm}}. \quad (3.24)$$

3.2.2 Odvození vztahů a pevnostní kontrolní výpočet desky [12], [13], [8]**a) Základní diferenciální rovnice kruhových desek (průhybové čáry)**

$$\frac{d^2 \varphi}{dx^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{d\varphi}{dx} - \frac{\varphi}{x^2} = -\frac{t(x)}{D} \quad (3.25)$$

kde je: φ úhel sklonu průhybové plochy desky [rad]

$t(x)$ posouvající síla na poloměru x připadající na jednotku délky [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$]

D ohybová tuhost desky [$\text{N} \cdot \text{mm}$]

x souřadnice viz obrázky (obr. 3.10) [mm].

b) Ohybová tuhost desky D

$$D = \frac{E^x \cdot h^3}{12} \quad (3.26)$$

kde je: E^x zpevněný modul pružnosti [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]

h tloušťka desky [mm].

c) Zpevněný modul pružnosti E^x

$$\underline{E^x} = \frac{E}{1 - \mu^2} = \frac{0,72 \cdot 10^5 \text{ MPa}}{1 - 0,35^2} = \underline{82051 \text{ MPa}} \quad (3.27)$$

kde je: E modul pružnosti v tahu [MPa], viz tabulka (tab. 3.3)

μ Poissonovo číslo, viz tabulka (tab. 3.3).

d) Posouvající síla na jednotku délky $t(x)$

$$t(x) = \frac{Q(x)}{2 \cdot \pi \cdot x} = \frac{\pi \cdot x^2 \cdot p_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot x} = \frac{p_{\max} \cdot x}{2} \quad (3.28)$$

kde je: $Q(x)$ výsledná vnější síla působící na desku [N]

p_{\max} velikost výpočtového vnitřního přetlaku [MPa].

Dosazením vztahů (3.26) a (3.28) do rovnice (3.25) a jejich úpravou, získáme Eulerovu diferenciální rovnici 2. řádu (nehomogenní) – její konečný tvar (3.29).

$$x \cdot \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + \frac{d\varphi}{dx} - \frac{\varphi}{x} = -\frac{6 \cdot p_{\max} \cdot x^2}{E^x \cdot h^3} \quad (3.29)$$

e) Řešení diferenciální rovnice

Odhad partikulárního integrálu vzhledem k tvaru pravé strany

$$\varphi_p(x) = H \cdot x^3 \rightarrow \frac{d\varphi_p}{dx} = 3 \cdot H \cdot x^2 \rightarrow \frac{d^2 \varphi_p}{dx^2} = 6 \cdot H \cdot x,$$

tyto tři výrazy se dosadí do rovnice (3.29) a určí se konstanta H

$$x \cdot 6 \cdot H \cdot x + 3 \cdot H \cdot x^2 - \frac{H \cdot x^3}{x} = -\frac{6 \cdot p_{\max} \cdot x^2}{E^x \cdot h^3} \Rightarrow H$$

$$H = -\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3}. \quad (3.30)$$

Celkové řešení je potom součet homogenního a partikulárního řešení

$$\varphi(x) = C_1 \cdot x + \frac{C_2}{x} + \varphi_p(x) = C_1 \cdot x + \frac{C_2}{x} - \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot x^3, \quad (3.31)$$

integrační konstanty C_1 a C_2 se určí z okrajových podmínek, které odpovídají uložení desky

$$\varphi(0) = 0 \Rightarrow C_2 = 0$$

$$\varphi(R) = 0 \Rightarrow C_1 = \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot R^2$$

kde je: R poloměr desky (membrány) [mm].

Konstanty C_1 a C_2 se dosadí do rovnice (3.31) a po úpravě výrazu se dostane výsledný průběh funkce natočení desky $\varphi(x)$

$$\varphi(x) = \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot R^2 \cdot x - \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot x^3 =$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot (R^2 \cdot x - x^3). \quad (3.32)$$

f) Výpočet velikosti tečného $\sigma_t(x)$ a radiálního $\sigma_r(x)$ napětí pro celou desku

$$\sigma_t(x) = \frac{E^x \cdot h}{2} \cdot \left(\frac{\varphi(x)}{x} + \mu \cdot \frac{d\varphi}{dx} \right) \quad (3.33)$$

$$\sigma_r(x) = \frac{E^x \cdot h}{2} \cdot \left(\frac{d\varphi}{dx} + \mu \cdot \frac{\varphi(x)}{x} \right) \quad (3.34)$$

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{d}{dx} \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot (R^2 \cdot x - x^3) \right] = \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot (R^2 - 3 \cdot x^2) \quad (3.35)$$

Derivace funkce $\varphi(x)$ podle x (3.35) a funkce $\varphi(x)$ samotná se dosadí do rovnice pro tečné napětí (3.33) a pro radiální napětí (3.34) čímž se získají následující rovnice

$$\sigma_t(x) = \frac{3 \cdot p_{\max}}{8 \cdot h^2} \cdot [R^2 \cdot (1 + \mu) - x^2 \cdot (1 + 3 \cdot \mu)] \quad (3.36)$$

$$\sigma_r(x) = \frac{3 \cdot p_{\max}}{8 \cdot h^2} \cdot [R^2 \cdot (1 + \mu) - x^2 \cdot (3 + \mu)] \quad (3.37)$$

Extrémy obou funkcí v krajních bodech

$$\begin{aligned} \underline{\underline{\sigma_r(0)}} &= \underline{\underline{\sigma_t(0)}} = \frac{3 \cdot p_{\max}}{8 \cdot h^2} \cdot R^2 \cdot (1 + \mu) = \\ &= \frac{3 \cdot 1,75 \text{MPa}}{8 \cdot (2,2 \text{mm})^2} \cdot (12,5 \text{mm})^2 \cdot (1 + 0,35) = \underline{\underline{28,6 \text{MPa}}} \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$\underline{\underline{\sigma_r(R)}} = -\frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2}{4 \cdot h^2} = -\frac{3 \cdot 1,75 \text{MPa} \cdot (12,5 \text{mm})^2}{4 \cdot (2,2 \text{mm})^2} = \underline{\underline{-42,4 \text{MPa}}} \quad (3.39)$$

$$\underline{\underline{\sigma_t(R)}} = -\frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2 \cdot \mu}{4 \cdot h^2} = -\frac{3 \cdot 1,75 \text{MPa} \cdot (12,5 \text{mm})^2 \cdot 0,35}{4 \cdot (2,2 \text{mm})^2} = \underline{\underline{-14,8 \text{MPa}}} \quad (3.40)$$

g) Redukované napětí σ_{red} dle metody HMM

$$\begin{aligned} \sigma_{red} &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{(0 - \sigma_t(R))^2 + (\sigma_t(R) - \sigma_r(R))^2 + (\sigma_r(R) - 0)^2} = \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{\left(0 + \frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2 \cdot \mu}{4 \cdot h^2}\right)^2 + \left(-\frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2 \cdot \mu}{4 \cdot h^2} + \frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2}{4 \cdot h^2}\right)^2 + \left(-\frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2}{4 \cdot h^2} - 0\right)^2} = \\ &= \frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2}{4 \cdot h^2} \cdot \sqrt{(\mu^2 - \mu + 1)} \leq \sigma_D \end{aligned} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} \underline{\underline{\sigma_{red}}} &= \frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^2}{4 \cdot h^2} \cdot \sqrt{(\mu^2 - \mu + 1)} = \\ &= \frac{3 \cdot 1,75 \text{MPa} \cdot (12,5 \text{mm})^2}{4 \cdot (2,2 \text{mm})^2} \cdot \sqrt{(0,35^2 - 0,35 + 1)} = \underline{\underline{37,2 \text{MPa}}} \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{red}}} < \underline{\underline{\sigma_D}} = 40 \text{MPa} .$$

3.2.3 Průhyb desky [12], [13]

Rovnice popisující průhybovou plochu $w(x)$

$$w(x) = -\int \varphi(x) dx + K, \quad (3.42)$$

pro maximální průhyb ve středu tenké kruhové desky platí

$$w_{\max} = w(0). \quad (3.43)$$

Po dosazení do rovnice (3.42) za $\varphi(x)$ a integraci se dostane vztah

$$\begin{aligned} w(x) &= -\int \frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot (R^2 \cdot x - x^3) dx + K = \\ &= -\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot \int (R^2 \cdot x - x^3) dx + K = \\ &= -\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot \left(R^2 \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{x^4}{4} \right) + K. \end{aligned} \quad (3.44)$$

Konstanta K se určí z okrajové podmínky na obvodu desky $w(R) = 0$

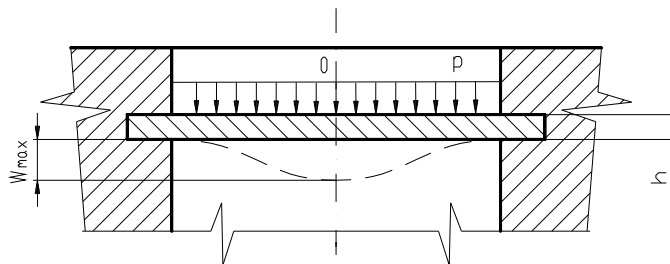
$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot \left(R^2 \cdot \frac{R^2}{2} - \frac{R^4}{4} \right) + K \\ 0 &= -\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot \left(\frac{R^4}{4} \right) + K \\ K &= \frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^4}{16 \cdot E^x \cdot h^3}. \end{aligned} \quad (3.45)$$

Do rovnice (3.44) se dosadí konstanta K (3.45) a po úpravě se získá rovnice popisující průhybovou plochu $w(x)$

$$\begin{aligned} w(x) &= -\frac{3}{4} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot \left(R^2 \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{x^4}{4} \right) + \frac{3 \cdot p_{\max} \cdot R^4}{16 \cdot E^x \cdot h^3} = \\ &= \frac{3}{16} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot (x^4 - 2 \cdot R^2 \cdot x^2 + R^4), \end{aligned} \quad (3.46)$$

pro maximální průhyb platí $w_{\max} = w(0)$, viz obrázek (obr. 3.11)

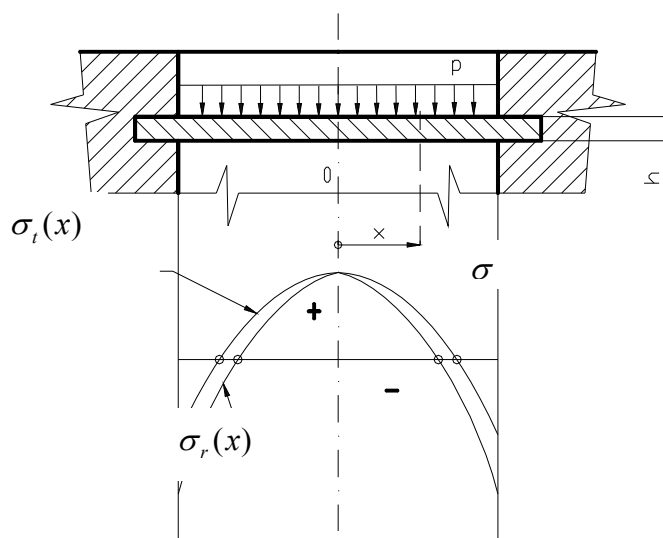
$$\begin{aligned} \underline{\underline{w_{\max}}} &= w(0) = \frac{3}{16} \cdot \frac{p_{\max}}{E^x \cdot h^3} \cdot R^4 = \\ &= \frac{3}{16} \cdot \frac{1,75 \text{ MPa}}{82051 \text{ MPa} \cdot (2,2 \text{ mm})^3} \cdot (12,5 \text{ mm})^4 = \underline{\underline{9,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm}}} \\ \underline{\underline{w_{\max}}} &< \underline{\underline{w_{\max, \max}}} = \underline{\underline{0,73 \text{ mm}}}. \end{aligned} \quad (3.47)$$



Obr. 3.11 Maximální průhyb desky

3.2.4 Zakázaná oblast membrány pro měření s tenzometry

V určitém místě se souřadnicí x je tečné napětí $\sigma_t(x)$ nebo napětí radiální $\sigma_r(x)$ rovno nule (obr. 3.12). Aby se zajistilo, že při nenulové hodnotě přetlaku uvnitř snímače naměříme také nenulové napětí, resp. naměřené napětí nebude zbytečně malé (tenzometr pracuje na integračním principu), čímž by se znatelně snížila citlivost snímače. Je nutné umístit tenzometr(y) co nejdále od tohoto místa (prstence), nejlépe do střední oblasti desky (obr. 3.12), kde platí $x \approx 0$.



Obr. 3.12 Průběh tečného a radiálního napětí v desce

Aby byla výsledná hodnota napětí $\sigma_t(x)$ pro hledanou souřadnici x rovna nule, musí se závorka rovnat nule

$$R^2 \cdot (1 + \mu) - x^2 \cdot (1 + 3 \cdot \mu) = 0. \quad (3.48)$$

Úpravou této rovnice se zjistí neznámá hodnota proměnné x , kde je napětí rovno nule

$$\begin{aligned}
 x^2 \cdot (1 + 3 \cdot \mu) &= R^2 \cdot (1 + \mu) \\
 \underline{\underline{x_{\sigma,t}}} = x &= \pm \sqrt{\frac{R^2 \cdot (1 + \mu)}{(1 + 3 \cdot \mu)}} = \pm R \cdot \sqrt{\frac{(1 + \mu)}{(1 + 3 \cdot \mu)}} = \\
 &= \pm 12,5 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{(1 + 0,35)}{(1 + 3 \cdot 0,35)}} = \underline{\underline{\pm 10,1 \text{ mm}}}
 \end{aligned} \tag{3.49}$$

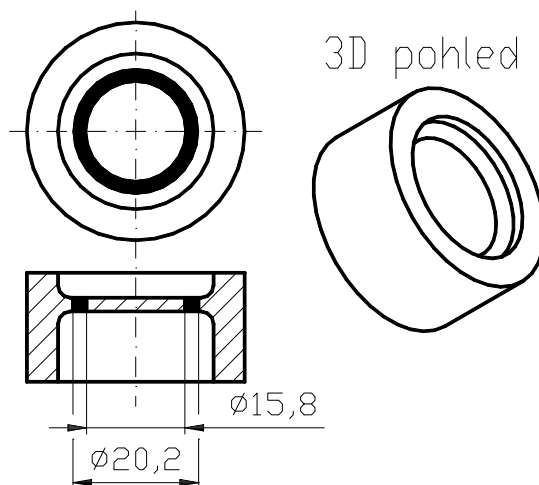
kde je: $x_{\sigma,t}$ souřadnice pro nulové tečné napětí [mm].

Obdobně se vypočte souřadnice pro radiální napětí $\sigma_r(x)$

$$\begin{aligned}
 x^2 \cdot (3 + \mu) &= R^2 \cdot (1 + \mu) \\
 \underline{\underline{x_{\sigma,r}}} = x &= \pm \sqrt{\frac{R^2 \cdot (1 + \mu)}{(3 + \mu)}} = \pm R \cdot \sqrt{\frac{(1 + \mu)}{(3 + \mu)}} = \\
 &= \pm 12,5 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{(1 + 0,35)}{(3 + 0,35)}} = \underline{\underline{\pm 7,9 \text{ mm}}}
 \end{aligned} \tag{3.50}$$

kde je: $x_{\sigma,r}$ souřadnice pro nulové radiální napětí [mm].

Souřadnice $x_{\sigma,r}$ má menší hodnotu oproti souřadnici $x_{\sigma,t}$ (obr. 3.13), proto je lépe považovat tuto hodnotu za mezní a tenzometr(y) umístit do oblasti ohraničené kružnicí s poloměrem menším než je hodnota $x_{\sigma,r}$. Obecně je tato „zakázaná“ oblast znázorněna jako prstenec vybarvený černě, jeho rozměry jsou dány poloměry $x_{\sigma,t}$ a $x_{\sigma,r}$. Jednoduše se dá konstatovat, že tenzometr(y) mohou být na membráně přilepeny kdekoliv kromě této oblasti.



Obr. 3.13 Zakázaná oblast pro lepení tenzometru(ů)

3.3 Experimentální určení přetvoření

Oba navržené snímače tlaku využívají lineární závislosti mezi zatěžujícím vnitřním přetlakem a výsledným napětím i přetvořením (deformací) dané oblasti snímače, konkrétně se jedná o plášť nádoby a kruhovou desku (membránu). Aby bylo možné nějakým způsobem zaznamenat napjatost a přetvoření, je třeba na tyto oblasti umístit tenzometry a následně provést kalibraci (funkční závislost) mezi hodnotou vnitřního přetlaku ve snímači a výstupní hodnotou z tenzometru (ΔU), která bude odpovídat hodnotě síly, kterou řidič působí při brzdění na brzdový pedál.

Tento převod zajišťuje více či méně složitý měřicí řetězec. K dosažení věrného převodu mezi měřenou veličinou a údaji musí být splněny požadavky měřicí techniky – jednotlivé členy linky musí mít definovanou, pokud možno, lineární charakteristiku [11].

3.3.1 Tenzometrie

Všechny snímače, zařízení a přístroje pro měření deformací v bodě či pro měření jakékoli veličiny, stanovené z deformace v bodě či jeho okolí, se označují jako tenzometry. Charakteristickým rysem všech tenzometrů je snímání, případně zaznamenání poměrných nebo absolutních prodloužení. Složky napětí neměříme přímo, ale z jejich projevů. Nejčastěji to bývá poměrné prodloužení ε či zkos γ [11].

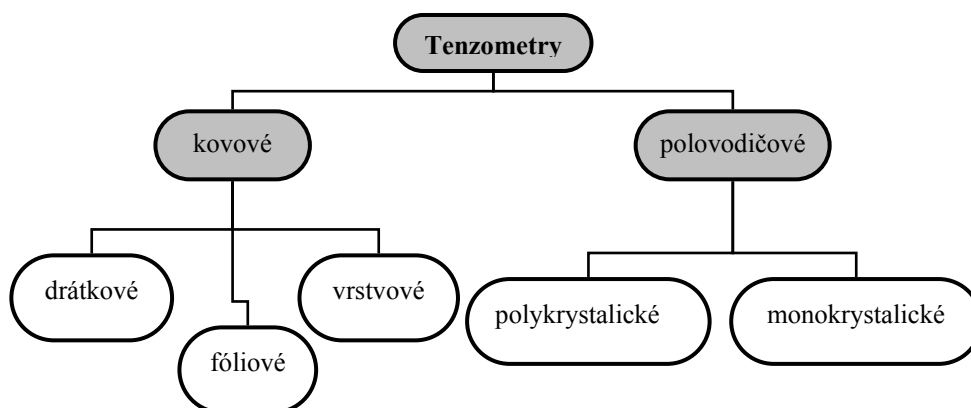
Rozdělení tenzometrů podle fyzikálního principu [11]:

- a) mechanické a opticko-mechanické,
- b) akustické (strunové),
- c) pneumatické,
- d) **elektrické** - odporové
- induktivní
- kapacitní,
- e) fotoelasticimetrické,
- f) mechanicko-optické využívající mechanickou interferenci světla.

Elektrické tenzometry se uplatňují v aplikacích měřicí a řídicí techniky stále více pro:

- poměrně snadný přenos údaje (signálu) na vzdálenost a to i z prostorů nepřístupných pro obsluhu při vlastním měření,
- poměrně snadné zpracování měřených údajů buď přímo v analogové formě nebo převodem do digitální formy,
- možnost snímání a záznamu signálu a jejich využití pro řídicí procesy,
- univerzálnost většiny zařízení,
- splnění podmínek měření z hlediska rozměrů a hmotnosti, aby nebyla ovlivněna měřená veličina [11].

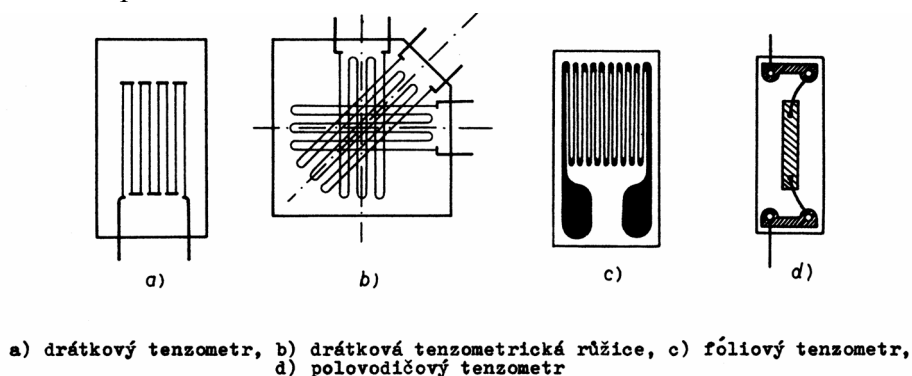
Elektrický tenzometr představuje mechanicko-elektrický převodník, využívající změny jednoho z parametrů elektrického obvodu (odporu R , indukčnosti L atd.) [11].



Obr. 3.14 Rozdělení elektrických odporových tenzometrů

3.3.2 Elektrické odporové tenzometry

U odporových drátkových, foliových i polovodičových tenzometrů (obr. 3.15) je mírou deformace změna odporu.



Obr. 3.15 Elektrické odporové tenzometry [14]

Pro měření poměrných prodloužení se využívá vodič, sledující deformaci povrchu součásti, na které je připevněn (např. přilepen). Vychází se ze známého vztahu pro odpor drátového vodiče

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = R(\rho, l, A) \quad (3.51)$$

kde je: ρ měrný odpor materiálu vodiče [$\Omega \cdot \text{mm}$]
 l délka vodiče [mm]
 A plocha průřezu vodiče [mm^2], [11].

Poměrná změna odporu je dána vztahem

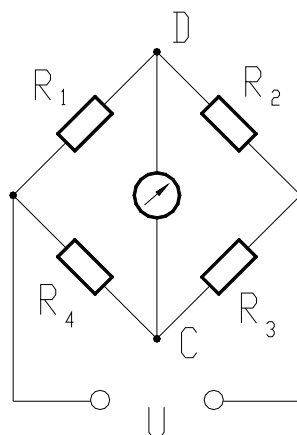
$$\frac{\Delta R}{R_0} = K_x \cdot \varepsilon_x \cdot \left(1 - \mu \cdot \frac{K_y}{K_x} \right) = K \cdot \varepsilon_x \quad (3.52)$$

kde je: ΔR změna odporu tenzometru [$\text{m}\Omega$]
 R_0 odporová hodnota tenzometru (jmenovitý odpor) [Ω]
 K_x součinitel deformační citlivosti podélné
 K_y součinitel deformační citlivosti příčné
 ε_x podélná deformace (poměrné prodloužení v podélném směru)
 K součinitel deformační citlivosti (udává výrobce na obalu tenzometru) [11].

Pro běžná měření se vliv příčné citlivosti neuvažuje $\varepsilon_x = \varepsilon$. Měřené údaje jsou zatíženy parazitními vlivy, zvláště pak u odporových elektrických tenzometrů (rozdělení viz obr. 3.14). Kromě běžných vlivů daných odchylkami v orientaci směrů měrného vinutí, nepřesností konstant a chybami v odečítání, se uplatňuje celá řada vlivů působících na vlastní tenzometr, např. vlivy teploty měřené součásti, radioaktivní záření, magnetické pole apod. [11].

Odporové změny při běžném rozsahu měření ($\varepsilon = 10^{-5}$ až 10^{-3}) a při použití kovových tenzometrů jsou v rozsahu jednotek až stovek $\text{m}\Omega$. Měření těchto malých odporových změn vyžaduje velmi stabilní, citlivé vstupní obvody a nezkrslující zesilovací jednotky. Vstupní obvod může být vytvořen jako dělič napětí (potenciometrické zapojení tenzometru) nebo jako impedanční můstek (obr. 3.16), nejčastěji jako Wheatstonův můstek. Impedanční můstky umožňují kompenzaci nepříznivých vlivů [11].

Z teorie obvodů se určí proud procházející galvanoměrem zapojeným do diagonály odporového můstku (obr. 3.16)



Obr. 3.16 Odporový můstek s galvanoměrem

$$I_g = \frac{U}{\Delta} \cdot (R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4) \quad (3.53)$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} R_4 & R_3 + R_4 & R_3 + R_4 \\ R_g & -(R_1 + R_3) & -R_3 \\ -(R_2 + R_4 + R_g) & -(R_2 + R_4) & -R_4 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

kde je: U velikost napájecího napětí můstku [V]

R_i velikosti odporu jednotlivých větví můstku, $i = 1, 2, 3, 4$ [Ω], [11].

Odporová změna ΔR v libovolné větvi můstku, vyvolaná sledovanou deformací ε , se může určit dvojím způsobem:

a) Nulovací metodou

Metoda je založena na podmínce vyváženého můstku ($I_g = 0$) na počátku měření ($R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$) i v průběhu měření. Při změně např. odporu R_1 na hodnotu $R_1 + \Delta R_1$ se musí změnit některý jiný odpor (nejčastěji sousední), aby podmínka vyvážení zůstala zachována (analogie s mechanickým vyvažováním na páce).

$$(R_1 + \Delta R_1) \cdot R_3 = (R_2 + \Delta R_2) \cdot R_4 \quad (3.55)$$

Kalibrovaná změna odporu ve větvi 2 je mírou změny odporu ve větvi 1 a tak i mírou sledované deformace ε . Nulovací metoda se převážně používá pro statická měření. Maximální citlivost se dosahuje při shodných odporech v jednotlivých větvích ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$) [11].

b) Výhylkovou metodou

Výhylková metoda s uvažováním proudových či napěťových poměrů. U předem vyváženého můstku, podle předchozího bodu, změna odporu v jedné větvi (např. ΔR_1) vyvolává rozdíl potenciálů bodů C a D (obr. 3.16).

$$\Delta U = U \cdot \frac{\Delta R_1}{4 \cdot R} = \frac{U}{4 \cdot R} \cdot K \cdot \varepsilon \quad (3.56)$$

Dojde-li k odporové změně ve všech čtyřech větvích ($0 < \Delta R_i, R_i = R$) pak,

$$\Delta U = \frac{U}{4 \cdot R} \cdot (\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4). \quad (3.57)$$

Wheatstonův můstek umožňuje odporové změny sčítat a odečítat, což je základem kompenzace nepříznivých vlivů (teplota) při tenzometrických měřeních [11].

3.3.3 Vliv teploty

Změna teploty způsobuje změny rozměrů měřené součásti, ale i vinutí tenzometru, dále pak vlastního odporu vinutí, deformační citlivosti vinutí, případně i změny vlastností tmelu. Při stabilních vlastnostech tmelu se odporová změna aplikovaného tenzometru ΔR_T na měřené součásti v důsledku změny teploty ΔT vyjádří vztahem

$$\Delta R_T = [(\alpha_S - \alpha_V) \cdot K + \beta_V] \cdot R \cdot \Delta T \quad (3.58)$$

kde je: α_S roztažnost materiálu měřené součásti [K^{-1}]

α_V roztažnost materiálu vinutí tenzometru [K^{-1}]

β_V teplotní součinitel odporu materiálu vinutí tenzometru [K^{-1}]

K deformační citlivost tenzometru, „K – faktor“, GF – Gauge Factor [11].

Odporová změna v důsledku změny teploty se může vyjádřit jako zdánlivé prodloužení

$$\varepsilon_{zd} = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta \cdot R_T}{R} = \left(\alpha_S - \alpha_V + \frac{\beta_V}{K} \right) \cdot \Delta T. \quad (3.59)$$

Vzhledem k tomu, že všechny veličiny v závorce v předchozím vztahu (3.59) jsou na teplotě závislé, není obecně velikost zdánlivé deformace na teplotě lineárně závislá. U většiny materiálu vinutí tenzometrů je závislost zdánlivé deformace na teplotě velmi strmá [11].

Tuto zdánlivou deformaci ε_{zd} je třeba eliminovat:

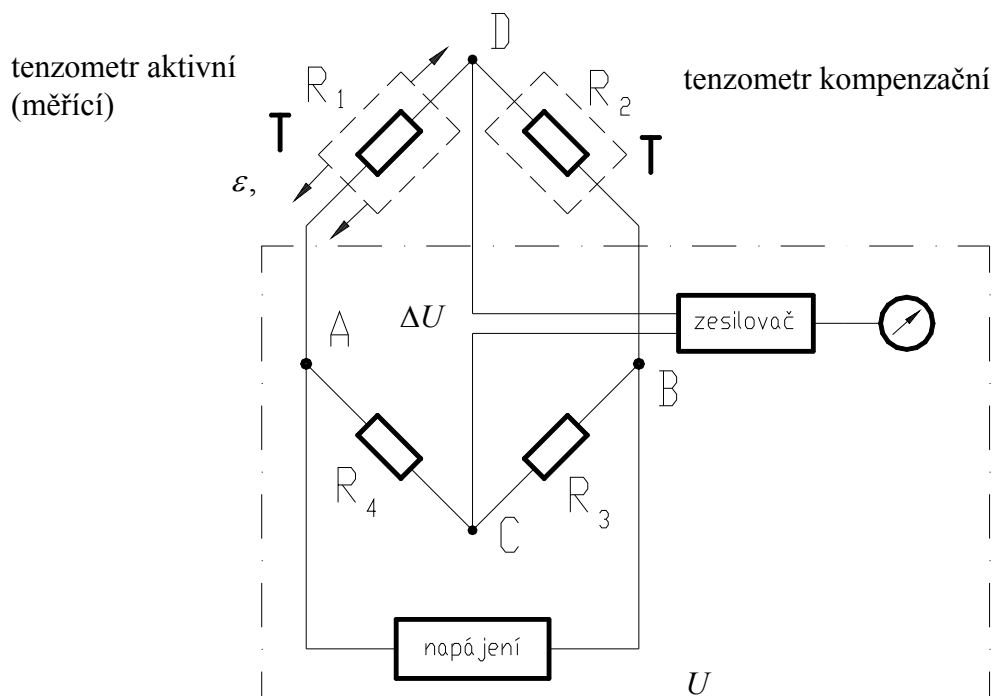
a) Kompenzačním tenzometrem

K aktivnímu tenzometru ve větvi 1, zapojenému mezi body A a D (obr. 3.17), u něhož dochází k odporové změně v důsledku měřené deformace ΔR_ε a v důsledku změny teploty ΔT k další nežádoucí změně ΔR_T , připojíme kompenzační tenzometr v kterékoli sousední větvi, který však bude vyvolávat pouze změny odporu v důsledku změn teplot. Kompenzační tenzometr je proto aplikován na materiálu o stejné roztažnosti jako měřený prvek a musí být vystaven stejným tepelným změnám – musí být instalován na materiálu o stejné tepelné setrvačnosti, ale bez mechanického namáhání a umístěn v těsné blízkosti aktivního tenzometru (obr. 3.18) [11].

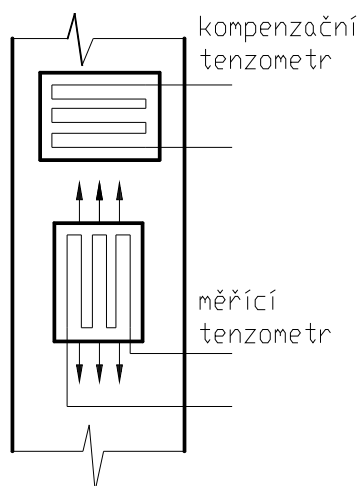
Výstupní elektrické napětí (teplotní vlivy kompenzovány) pro dolní schéma zapojení (obr. 3.17), [11].

$$\Delta U = \frac{U}{4 \cdot R} \cdot (\Delta R_1 - \Delta R_2) = \frac{U}{4 \cdot R} \cdot k \cdot \varepsilon \quad (3.60)$$

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = k \cdot \varepsilon \quad (3.61)$$



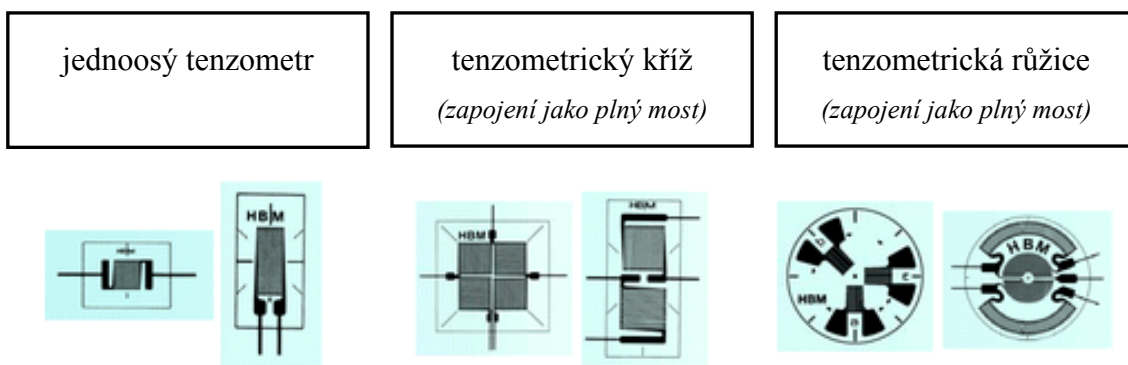
Obr. 3.17 Půlmostové zapojení činného a kompenzačního tenzometru



Obr. 3.18 Umístění měřicího a kompenzačního tenzometru

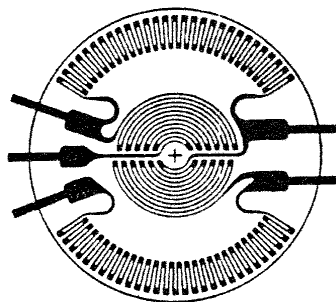
b) Samokompenzovaným tenzometrem

Pokud není možné použít kompenzační tenzometr (rychlé teplotní změny) je nutné užít samokompenzovaného tenzometru, u něhož je podle rovnice (3.59) $\varepsilon_{zd} = 0$. Toho je možné dosáhnout jednak připojením vhodného vinutí – druhá smyčka s opačnou teplotní charakteristikou zapojená do série s měřícím vinutím nebo dosažením vhodné velikosti teplotního součinitele odporu drátku tenzometru [11].



Obr. 3.19 Rozdělení fóliových tenzometrů pro různé druhy měření [15]

Jednoduchý tenzometr umožňuje měřit pouze v jednom směru (osa x), tenzometrický kříž již umožňuje měřit ve směrech x i y (obr. 3.19). Pro měření v různých úhlech (např. 45°) pak slouží tenzometrická růžice. Tato růžice (obr. 3.19) je také ideální pro měření na membráně (desce) – viz membránový snímač tlaku. Detailní zobrazení tohoto druhu tenzometru je pod tímto odstavcem (obr. 3.20).

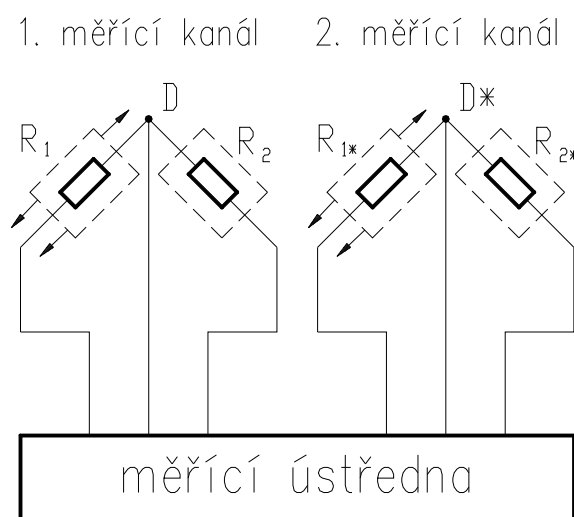


Obr. 3.20 Tenzometrická růžice (vhodné pro membrány) [16]

3.3.4 Příklad umístění a zapojení tenzometrů pro navrhnuté snímače tlaku

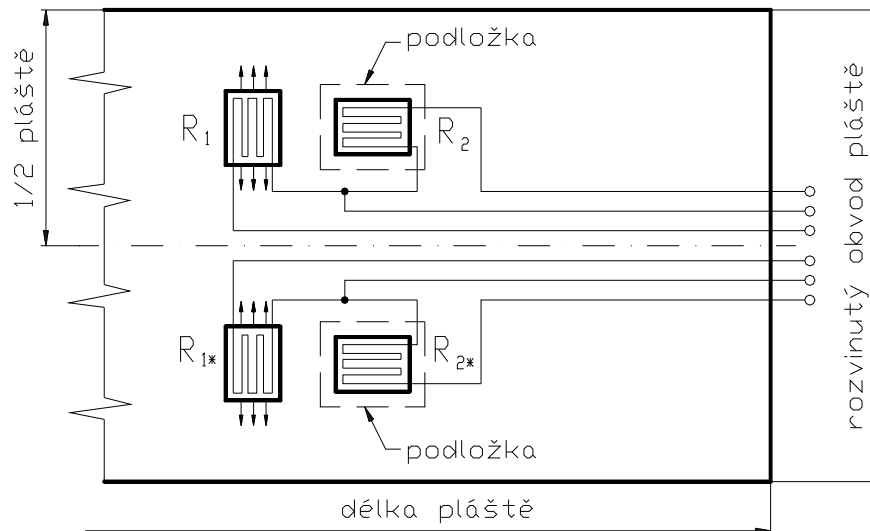
a) Snímač na principu tenkostěnné válcové nádoby

Jedním z mnoha způsobů, jak umístit a zapojit jednotlivé tenzometry, je varianta zapojení do půlmostu (obr. 3.17). Použije se dvoukanálové zapojení, pokud je k dispozici alespoň dvoukanálová měřicí ústředna (vyrábí se ústředny s 1 až 10000 kanály při vzorkovací frekvenci až 19200 vzorků za sekundu). To znamená, že na jednom kanálu bude jeden tenzometr měřící a druhý kompenzační (obr. 3.17), druhý kanál je zapojen stejným způsobem. Kompenzační tenzometr musí být připevněn na podložce a je vhodné ho orientovat ve směru axiálního napětí (obr. 3.18), protože měřící tenzometr je orientován ve směru obvodového napětí. Schéma zapojení tenzometrů do dvou měřících kanálů je na obrázku (obr. 3.21) a jejich umístění na povrchu pláště tenkostěnné nádoby znázorňuje obrázek (obr. 3.22).



Obr. 3.21 Dvoukanálové zapojení tenzometrů do půlmostu

R_1, R_{1*} – měřící tenzometr obvodového napětí; R_2, R_{2*} – kompenzační tenzometr připevněný na podložce

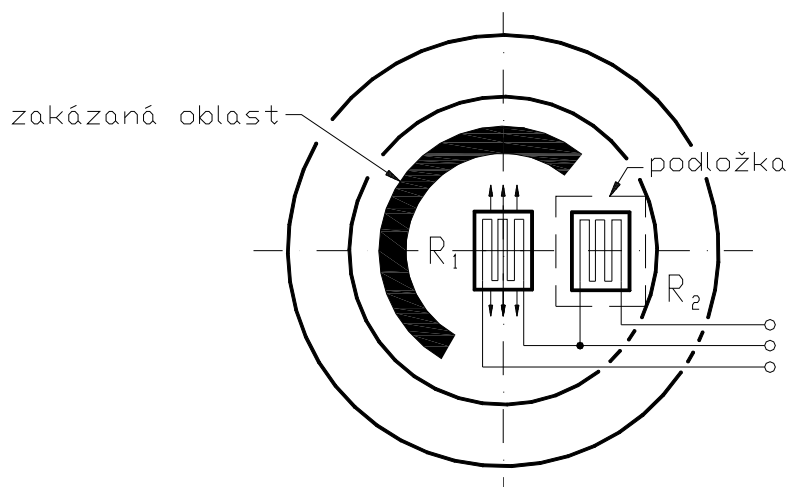


Obr. 3.22 Rozmístění tenzometrů a jejich propojení na plášti nádoby

Pro tuto variantu zapojení postačí běžné jednoosé fóliové tenzometry bez samokompensačního účinku vlivu teploty. Po nalepení tenzometrů na povrch pláště válcové nádoby a jejich zapojení, je třeba provést kalibraci celého snímače.

b) Membránový snímač tlaku

Zapojení tenzometrů je obdobné jako v předešlém případě, jediný rozdíl je v tom, že postačí jeden kanál, který obsahuje tenzometr měřící a kompenzační (na podložce). Měřící tenzometr je vhodné umístit co nejvíce na střed membrány – viz průběh napětí na obrázku (obr. 3.12). Kompenzační tenzometr se umístí poblíž měřícího tenzometru, ideální by byla tzv. zakázaná oblast, která je znázorněna na obrázku (obr. 3.13). Konkrétní příklad instalace a zapojení tenzometrů znázorňuje obrázek (obr. 3.23).

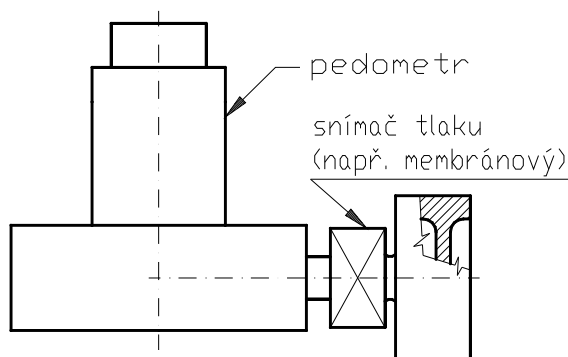


Obr. 3.23 Rozmístění a zapojení tenzometrů na membráně tlakového snímače

Rovněž u této varianty zapojení postačí použít fóliové tenzometry bez samokompenzačního účinku vlivu teploty. Dále je třeba opět provést kalibraci celého snímače.

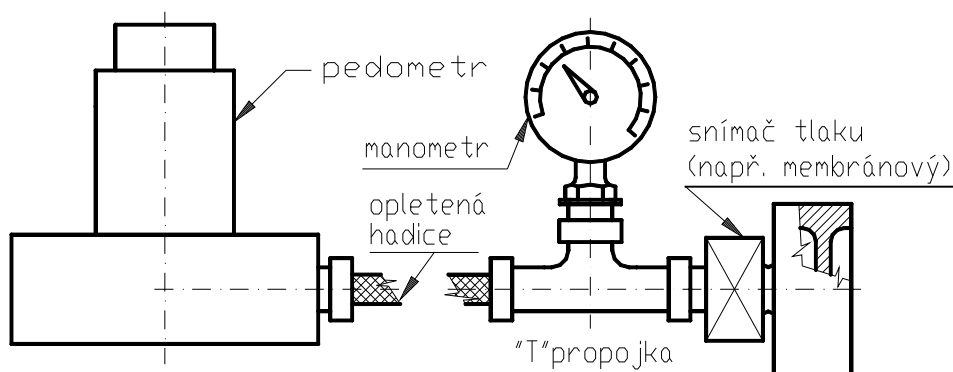
3.3.5 Možnosti připojení snímačů tlaku k pedometru

Oba snímače mají na konci čela závit $G\ 3/8''$, který je shodný se závitem opletené hadice a s tělem pedometru. Snímač (membránový) lze tedy přímo připojit k tělu pedometru, pokud to umožní prostorové poměry při měření. Odpadne nutnost použití opletené hadice, ale zároveň nebude možné provést odečítání tlaku resp. síly z manometru, ale jen z měřicí centrály s tenzometry. Toto uspořádání je znázorněno na obrázku (obr. 3.24).



Obr. 3.24 Přímé připevnění tlakového snímače

Další způsob, jak připojit snímač, je s použitím hadice. Jeden konec se připevní na mosaznou propojku (u těla pedometru) a na druhý se upevní snímač. Možnost odečtu hodnot je obdobná jako v předešlém odstavci. Pokud by se umístila na konec hadice propojka tvaru „T“, mohlo by se současně využívat pro záznam naměřených hodnot snímače tlaku a pro kontrolní odečet (orientační) by se použil namontovaný manometr na druhém konci této propojky. Možné uspořádání je znázorněno na obrázku (obr. 3.25).



Obr. 3.25 Připevnění tlakového snímače a manometru pomocí „T“ propojky

3.3.6 Zhodnocení konstrukce snímačů

a) Snímač na principu tenkostěnné válcové nádoby namáhané vnitřním přetlakem

Výhodou tohoto snímače je relativně jednoduchá výroba a vzhledem ke konstrukci z běžně vyráběných hliníkových polotovarů, je zaručena minimální finanční náročnost na zhotovení snímače. Zapojení k pedometru je vhodné pouze s použitím opletené hadice, přímé připojení (obr. 3.24) není vhodné vzhledem k větším rozměrům a jeho hmotnosti po naplnění hydraulickým olejem. Při samotném měření je třeba snímač umístit na vhodné místo a zajistit ho proti pohybu pomocí vhodného přípravku.

Nevýhodou jsou již zmiňované větší rozměry, hmotnost a nutnost připevnění k hadici a jeho fixace ve stabilní poloze, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků nebo poškození nalepených tenzometrů s přívodními kabely. Je nutné kontrolovat stav teflonové těsnicí pásky na závitu G 3/8'', aby nedocházelo k nežádoucím únikům oleje ze snímače.

b) Snímač na principu tenké desky (membrány) zatížené vnitřním přetlakem

Velká přednost tohoto snímače je v jeho kompaktnosti oproti předešlému snímači. Opět jeho výroba není technologicky ani finančně příliš náročná, až na nutnost svaření obou hliníkových dílů, to je nutné i u předchozího snímače. Upevnění k pedometru může být provedeno jakýmkoliv způsobem z již zmiňovaných v předešlé kapitole, tím je zajištěna jeho univerzálnost použití při vlastním měření. Opět je třeba vhodným způsobem zamezit poškození tenzometru(ů) a přívodních kabelů. I zde je nutné kontrolovat stav teflonové těsnicí pásky na závitu G 3/8'', aby nedocházelo k nežádoucím únikům oleje ze snímače.

4 Praktické využití pedometru

Pedometr je možné využívat pro měření síly, kterou se působí na pedál (brzdový, spojkový) ve vozidle. Primárně je určen pro měření síly působící při brzdění na brzdový pedál ve vozidle, které je vybaveno hydraulickou brzdovou soustavou bez podtlakového posilovače. Zde je vliv hmotnosti celého pedometru možno zanedbat – nedochází k samovolnému brzdění vlivem vlastní tíhy pedometru, který je upevněn na brzdovém pedálu. Pokud by k tomuto jevu nedocházelo u konkrétního vozu s podtlakovým posilovačem, nic nebrání využití pedometru i v tomto případě.

Existuje několik variant měření při kterých se pedometr může uplatnit:

- a) při brzdění vozidla s požadavkem na konstantní velikost síly působící na brzdový pedál,
- b) při brzdění vozidla, kde je třeba určit konkrétní sílu (např. maximální dovolenou) při brzdění, kterou se působí na brzdovém pedálu,
- c) při určení nejrůznějších charakteristik závislostí brzdné dráhy, doby pro zabrzdění na velikosti síly působící na brzdovém pedálu atd.,
- d) při stanovení síly na brzdovém pedálu, při které již dochází k zablokování kol vozidla při brzdění,
- e) při jiném druhu jízdních zkoušek – jako doplňkové měřicí zařízení.

Ad a)

Je nutno podotknout, že byl pedometr zapůjčen k měření, které prováděla fakulta DFJP, kde sloužil pro kontrolu velikosti síly působící na brzdový pedál. Síla měla být při brzdění stejné velikosti. Měření bylo prováděno na voze Škoda Roomster (příloha 5(b)). Pedometr při tomto měření obstál.

Naměřené hodnoty se dají odečítat, za pomoci manometru, vizuálně nebo s využitím tlakových snímačů, kde lze provádět záznam získaných údajů a po ukončení samotného měření se může provádět jejich vyhodnocení.

4.1 Druhy zkoušek brzd

Předepsaný účinek brzd vozidel lze v provozu ověřit:

- a) jízdními zkouškami na silnici,
- b) na zkušebních zařízeních např. na válcových nebo plošinových zkušebních brzd [17].

Při brzdných zkouškách se měří zejména zpomalení vozidla, brzdná dráha, ovládací tlak v soustavě, ovládací síla na brzdovém pedálu a ohřátí brzd.

4.1.1 Brzdění kolových vozidel

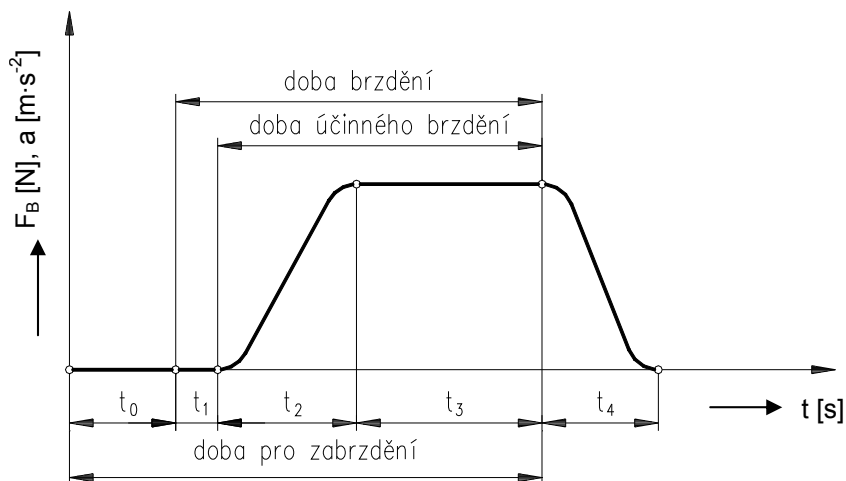
Brzděním rozumíme proces, při kterém řidič záměrně snižuje rychlost vozidla až do případného zastavení, nebo jím rozumíme zamezení pohybu stojícího vozidla.

Brzdění vozidla lze podle účelu rozdělit na:

- a) **provozní** – musí umožnit ovládnutí pohybu automobilu a jeho účinné a rychlé zastavení při všech režimech jízdy, které mohou nastat při provozu,
- b) **nouzové** – musí umožnit zastavení vozidla v případě poruchy provozního brzdění,
- c) **parkovací** – musí umožnit udržení stojícího vozidla na svahu,
- d) **odlehčovací** – musí umožnit snížení rychlosti, nebo její dodržení při jízdě ze svahu [18].

4.1.2 Skutečný průběh brzdění

Pro praktický provoz vozidel jsou důležité hodnoty doby a dráhy potřebné pro brzdění od okamžiku, kdy řidič dostane povel brzdit do potřebného zpomalení, případně zastavení vozidla. Tato dráha a čas se pak prakticky skládají z několika odlišných úseků, neboť brzdná síla nepůsobí okamžitě a nemá konstantní velikost. Průběh brzdné síly a zpomalení vozidla při zanedbání odporu vzduchu, odporu valení a za předpokladu jízdy po rovině v závislosti na čase je znázorněn na obrázku (obr. 4.1) [18].



Obr. 4.1 Průběh brzdné síly a zpomalení v procesu brzdění [18]

- kde je: t_0 reakční doba řidiče od podnětu k zabrzdění až k době, kdy řidič začne působit na brzdový pedál ($t_0 \cong 0,8 s$) [s]
- t_1 doba prodlevy brzdy od okamžiku působení řidiče na brzdový pedál až po dobu, kdy se začne účinek brzdy projevovat ($t_1 \cong 0,1 s$ pro kapalinové brzdy) [s]
- t_2 doba náběhu brzdění od okamžiku začátku působení brzd do plného požadovaného účinku ($t_2 \cong 0,15 s$ pro kapalinové brzdy) [s]
- t_3 doba plného brzdění od okamžiku, kdy brzdy dosáhnou plného účinku až do doby, kdy účinek brzdy začíná po uvolnění brzdového pedálu klesat [s]
- t_4 doba doběhu brzdění ($t_4 \cong 0,2 s$ pro kapalinové brzdy) [s] [18].

Celková doba potřebná pro zabrzdění vozidla t_B je dána součtem všech dob t_0 až t_4 , součet dob $t_1 + t_2 + t_3$ se nazývá **doba brzdění** a $t_2 + t_3$ představuje **dobu účinného brzdění**.

$$t_B = t_0 + t_1 + t_2 + t_3 \quad (4.1)$$

Není-li vozidlo brzděno až do zastavení, je třeba uvažovat i s dobou doběhu brzdění t_4 . Pro zjednodušení celého průběhu brzdění na obrázku (obr. 4.1) je možné uvažovat jednotlivé křivky s lineárním průběhem.

V případě jízdních zkoušek na silnici, při kterých byl využit pedometr, se zanedbá čas t_0 , protože řidič přesunul nohu, bez vyvození síly na brzdový pedál, ještě před okamžikem projetí

značky pro začátek brzdění s určitým časovým předstihem, než se začal čas zaznamenávat. Stejně tak se bude postupovat v případě časů t_1 , t_2 a vztah (4.1) se zjednoduší na výraz (4.2)

$$t_B = t_3 \quad (4.2)$$

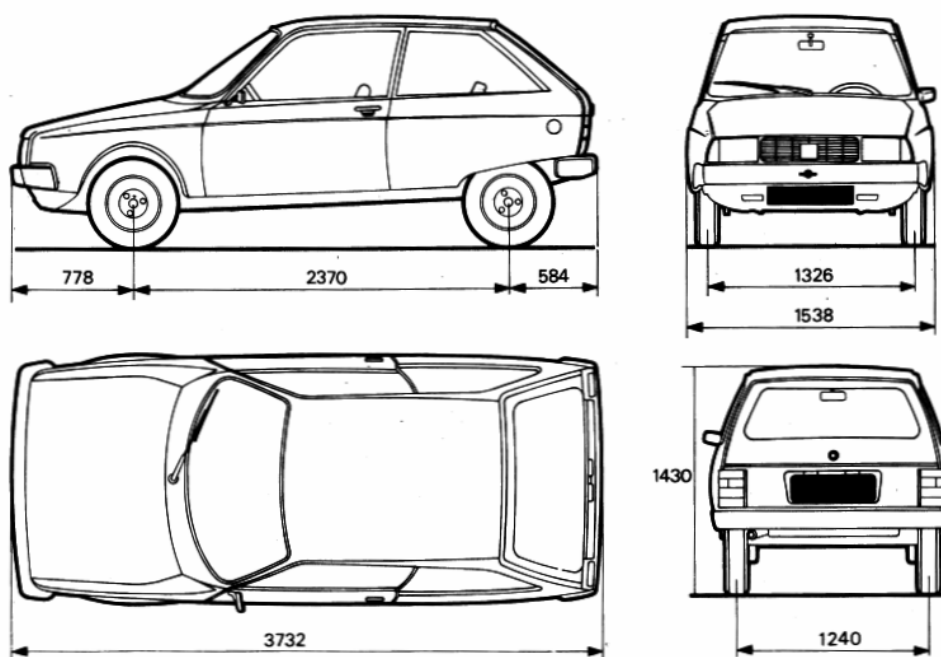
kde je: t_B celková doba potřebná pro zabrzdění vozidla [s].

4.2 Experimentální měření s využitím pedometru

Pro měření s využitím pedometru byl vybrán vůz Olcit Club 11R, z již zmiňovaného důvodu absence podtlakového posilovače brzdového účinku. Základní technické informace o tomto automobilu jsou v tabulce pod tímto odstavcem (tab. 4.1), na obrázku (obr. 4.2) jsou zakótovány jmenovité rozměry.

Tab. 4.1 Základní technické parametry vozidla [19]

Parametr vozidla Olcit Club 11R	Hodnota
Největší výkon motoru podle ISO, při 6500 ot./min	42 kW (57,4 k)
Největší teoretická rychlost	148 km·h ⁻¹
Pohotovostní hmotnost automobilu bez zatížení	875 kg
Povolená pohotovostní hmotnost automobilu s plným zatížením	1275 kg
Hmotnost převáženého nákladu	400 kg
Celková povolená pojízdná hmotnost	2075 kg

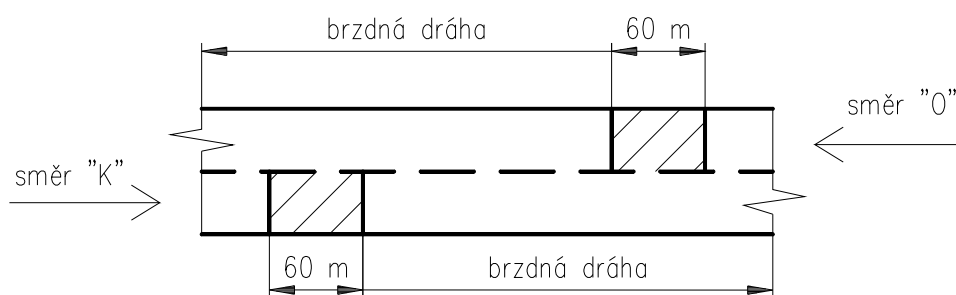


Obr. 4.2 Jmenovité rozměry automobilu [19]

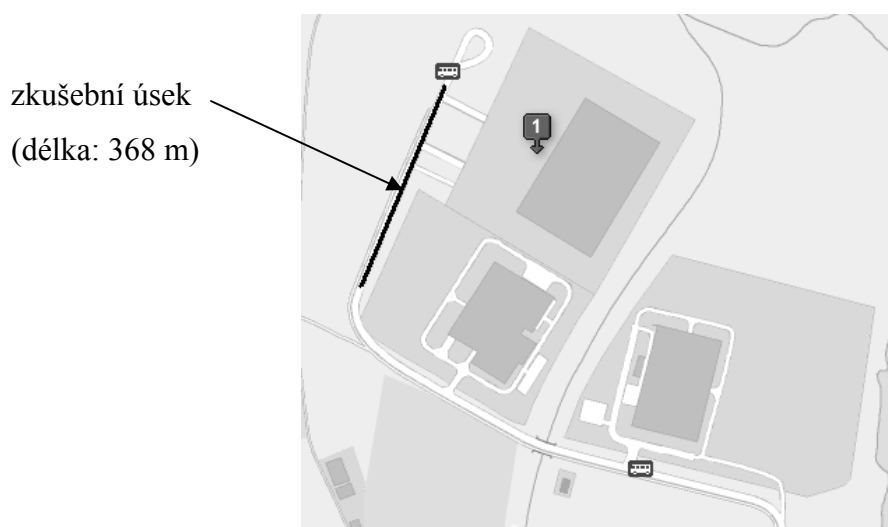
Oltcit je poháněn benzínovým motorem o obsahu válců 1129 cm^3 . Motor je čtyřválcový s protilehlým uspořádáním válců (tzv. „boxer“). Poháněna je přední náprava. Automobil je vybaven dvou-okruhovými kapalinovými brzdami s omezovačem brzdného účinku na zadní nápravě.

4.2.1 Vlastní průběh měření

Praktické měření bylo provedeno na odlehlé komunikaci u továrny Ronal CR, Pardubice-Staré Čivice (pozice 1, obr. 4.4). Měřicím pásmem byly odměřeny dva protilehlé úseky o délce $l_c = 60 \text{ m}$ pro kontrolu jmenovité počáteční rychlosti, při které se začalo brzdit – viz obrázek (obr. 4.3).



Obr. 4.3 Zkušební úsek



Obr. 4.4 Vyznačený zkušební úsek na mapě [20]

Měření bylo provedeno dne 24. listopadu 2007 s těmito podmínkami a parametry:

- teplota: 7,3 °C,
- vlhkost: 63 %,
- souřadnice GPS: 50°1'36.351"N, 15°40'48.083"E,
- nadmořská výška: 226 m.

Mezi jednotlivými měřeními byla provedena přibližně 2minutová přestávka, aby nedocházelo k přílišnému zahřátí brzd automobilu. Důsledně se dbalo na to, aby nedošlo k zablokování kol při brzdění.

Automobil se pohyboval požadovanou počáteční rychlostí (40 km·h⁻¹ nebo 50 km·h⁻¹), projel kontrolní úsek dlouhý 60 m (obr. 4.3), který sloužil pro zjištění skutečné počáteční rychlosti před začátkem brzdění. Protože délka úseku byla známá, stačilo změřit dobu projetí tohoto úseku a tyto údaje dosadit do vztahu

$$V_s = \frac{l_c}{t_c} \cdot 3,6 \quad (4.3)$$

kde je: V_s střední skutečná rychlost [km·h⁻¹]

l_c délka kontrolního úseku [m]

t_c kontrolní čas [s].

Počáteční rychlost byla dále kontrolována tachometrem ve vozidle a přístrojem GPS. Když se vůz blížil ke značce na vozovce, která označovala místo pro začátek brzdění, řidič přesunul nohu na brzdový pedál s upevněným pedometrem a po dosažení této značky začal vyvozovat předem určenou sílu na brzdový pedál. Zároveň byla spuštěna časomíra pro zjištění doby potřebné pro zabrzdění vozidla a uložena hodnota kontrolního času t_c formou mezičasu. Po zabrzdění vozidla byla zhotovena, školní křídou na silnici, značka s číslem měření, která představovala hodnotu brzdné dráhy. Pro každou zvolenou hodnotu síly na brzdovém pedálu se projelo danou počáteční rychlostí nejprve úsekem „K“ (k továrně) a po otočení vozu nazpět úsekem „O“ (od továrny).

Použité standardní letní pneumatiky byly nahuštěny na předepsaný tlak udávaný výrobcem (1,9 bar přední kola, 2,0 bar zadní kola). Další parametry pneumatik jsou uvedeny v tabulce (tab. 4.2).

Tab. 4.2 Parametry pneumatik

Označení pneumatiky	145 SR 13 D 216 Radial
Výrobce	VICTORIA, Romania (Rumunsko)
Provedení	Tube Type (provedení s duší)
Přibližná hloubka dezénu před měřením (pro všechny 4 pneumatiky)	5 mm

4.2.2 Naměřené hodnoty

Cílem bylo naměřit velikost brzdné dráhy potřebné pro zabrzdění vozidla a dobu brzdění, vše v závislosti na síle, kterou se působilo na brzdový pedál – viz (tab.4.3, tab. 4.4).

4.2.2.1 Vzorové výpočty pro dopočítávané hodnoty

Veškeré výpočty jsou provedeny pro pátý sloupec, čísla měření 9 a 10 (tab. 4.3).

a) Síla na brzdový pedál F_O

$$\underline{\underline{F_O}} = \frac{p_i + 0,2729 \text{ bar}}{0,0236 \text{ bar} \cdot N^{-1}} = \frac{5 \text{ bar} + 0,2729 \text{ bar}}{0,0236 \text{ bar} \cdot N^{-1}} = \underline{\underline{223,4 N}} \quad (4.4)$$

kde je: F_O síla na brzdový pedál resp. zatěžující síla působící na brzdový pedál [N]

p_i tlak zobrazený (indikovaný) manometrem [bar].

b) Průměrná doba brzdění $t_{B\phi}$

$$\underline{\underline{t_{B\phi}}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{B_i} = \frac{1}{2} \cdot (3,1 \text{ s} + 3,5 \text{ s}) = \underline{\underline{3,3 \text{ s}}} \quad (4.5)$$

kde je: $t_{B\phi}$ průměrná doba brzdění [s]

N počet naměřených hodnot

t_{B_i} doba brzdění resp. čas potřebný na zastavení vozidla při brzdění [s].

c) Střední skutečná rychlost $V_{S,9,10}$

$$\underline{\underline{V_{S,9}}} = \frac{l_c}{t_{c,9}} \cdot 3,6 = \frac{60 \text{ m}}{5,2 \text{ s}} \cdot 3,6 = \underline{\underline{41,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (4.6)$$

$$\underline{\underline{V_{S,10}}} = \frac{l_c}{t_{c,10}} \cdot 3,6 = \frac{60 \text{ m}}{5 \text{ s}} \cdot 3,6 = \underline{\underline{43,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (4.7)$$

kde je: $V_{S_{9,10}}$ střední skutečná rychlost pro měření číslo 9 a 10 [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]

l_c délka kontrolního úseku [m]

$t_{c,9,10}$ kontrolní čas pro měření číslo 9 a 10 [s].

d) Průměrná střední skutečná rychlost $V_{S\phi}$

$$\underline{\underline{V_{S\phi}}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_{S_i} = \frac{1}{2} \cdot (41,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} + 43,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}) = \underline{\underline{42,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (4.8)$$

kde je: $V_{S\phi}$ průměrná střední skutečná rychlost [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]

N počet naměřených hodnot

V_{S_i} střední skutečná rychlost pro jednotlivá měření [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$].

e) Průměrná brzdná dráha s_ϕ

$$\underline{\underline{s_\phi}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i = \frac{1}{2} \cdot (15,4 \text{ m} + 22,5 \text{ m}) = \underline{\underline{19 \text{ m}}} \quad (4.9)$$

kde je: s_ϕ průměrná brzdná dráha [m]

N počet naměřených hodnot

s_i brzdná dráha pro jednotlivá měření [m].

Tab. 4.3 Naměřené hodnoty pro počáteční rychlost $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Počáteční rychlost $V_0 = 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$			1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Číslo měření			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Označení úseku			„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“
Tlak zobrazený manometrem	p_i	[bar]	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Síla na brzdový pedál	F_O	[N]	53,9		96,3		138,7		181,1		223,4											
Doba brzdění	t_B	[s]	12,3	13,7	7,3	7,6	5	5,2	4,3	3,6	3,1	3,5										
Průměrná doba brzdění	$t_{B\sigma}$	[s]	13,0		7,5		5,1		4,0		3,3											
Kontrolní čas	t_c	[s]	4,7	4,7	4,9	4,9	4,9	5,2	4,9	5	5,2	5										
Střední skutečná rychlost	V_S	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	46,0	46,0	44,1	44,1	44,1	41,5	44,1	43,2	41,5	43,2										
Průměrná střední skutečná rychlost	$V_{S\sigma}$	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	46,0		44,1		42,8		43,6		42,4											
Brzdná dráha	s	[m]	69	81,4	41,5	46,1	31,5	35,1	27,3	18,9	15,4	22,5										
Průměrná brzdná dráha	s_σ	[m]	75,2		43,8		33,3		23,1		19,0											

Pokračování tab. 4.3

Počáteční rychlost $V_0 = 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$			11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Číslo měření			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20										
Označení úseku			„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“
Tlak zobrazený manometrem	p_i	[bar]	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10										
Síla na brzdový pedál	F_O	[N]	265,8		308,2		350,5		392,9		435,3											
Doba brzdění	t_B	[s]	3,1	2,8	2,6	2,7	2,2	2,2	1,7	1,8	1,8	1,4										
Průměrná doba brzdění	$t_{B\sigma}$	[s]	3,0		2,7		2,2		1,8		1,6											
Kontrolní čas	t_c	[s]	5	4,9	5,2	5,1	5,1	4,9	5,2	4,9	5,2	4,9										
Střední skutečná rychlost	V_S	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	43,2	44,1	41,5	42,4	42,4	44,1	41,5	44,1	41,5	44,1										
Průměrná střední skutečná rychlost	$V_{S\sigma}$	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	43,6		41,9		43,2		42,8		42,8											
Brzdná dráha	s	[m]	19,3	15,6	12,9	16,8	11,9	10,3	10,3	10	10,3	9,75										
Průměrná brzdná dráha	s_σ	[m]	17,5		14,9		11,1		10,2		10,0											

Tab. 4.4 Naměřené hodnoty pro počáteční rychlost $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Počáteční rychlost $V_0 = 50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$			1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Číslo měření			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Označení úseku			„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“
Tlak zobrazený manometrem	p_i	[bar]	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Síla na brzdový pedál	F_O	[N]	53,9		96,3		138,7		181,1		223,4											
Doba brzdění	t_B	[s]	14,5	13,1	8,2	10,5	5,7	6,7	5,1	5,2	3,5	3,6										
Průměrná doba brzdění	$t_{B\sigma}$	[s]	13,8		9,4		6,2		5,2		3,6											
Kontrolní čas	t_c	[s]	4,3	4,1	4,3	3,9	4,4	4	4,2	4,1	4,1	4,4										
Střední skutečná rychlost	V_S	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	50,2	52,7	50,2	55,4	49,1	54,0	51,4	52,7	52,7	49,1										
Průměrná střední skutečná rychlost	$V_{S\sigma}$	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	51,5		52,8		51,5		52,1		50,9											
Brzdná dráha	s	[m]	72,1	85,1	54,3	79,6	36,9	42,9	35,4	40,6	21,7	29,1										
Průměrná brzdná dráha	s_σ	[m]	78,6		67,0		39,9		38,0		25,4											

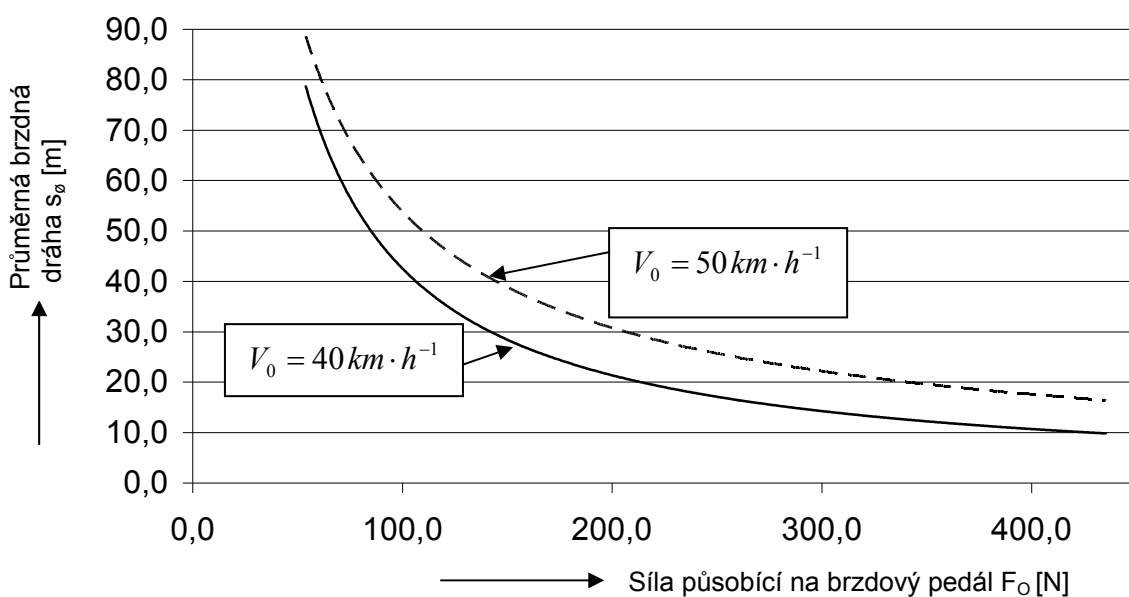
Pokračování tab. 4.4

Počáteční rychlost $V_0 = 50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$			11		12		13		14		15		16		17		18		19		20	
Číslo měření			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Označení úseku			„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“	„O“	„K“
Tlak zobrazený manometrem	p_i	[bar]	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
Síla na brzdový pedál	F_O	[N]	265,8		308,2		350,5		392,9		435,3											
Doba brzdění	t_B	[s]	3,4	3,2	3,1	2,9	2,9	3	2,6	2,8	2,1	1,9										
Průměrná doba brzdění	$t_{B\sigma}$	[s]	3,3		3,0		3,0		2,7		2,0											
Kontrolní čas	t_c	[s]	4,2	4,1	4,2	3,8	4	4,1	4,4	4	4,3	3,9										
Střední skutečná rychlost	V_S	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	51,4	52,7	51,4	56,8	54,0	52,7	49,1	54,0	50,2	55,4										
Průměrná střední skutečná rychlost	$V_{S\sigma}$	$[\text{km}\cdot\text{h}^{-1}]$	52,1		54,1		53,3		51,5		52,8											
Brzdná dráha	s	[m]	23,1	22	19,6	23,9	19,4	18,7	15,5	23,1	15,8	16,1										
Průměrná brzdná dráha	s_σ	[m]	22,6		21,8		19,1		19,3		16,0											

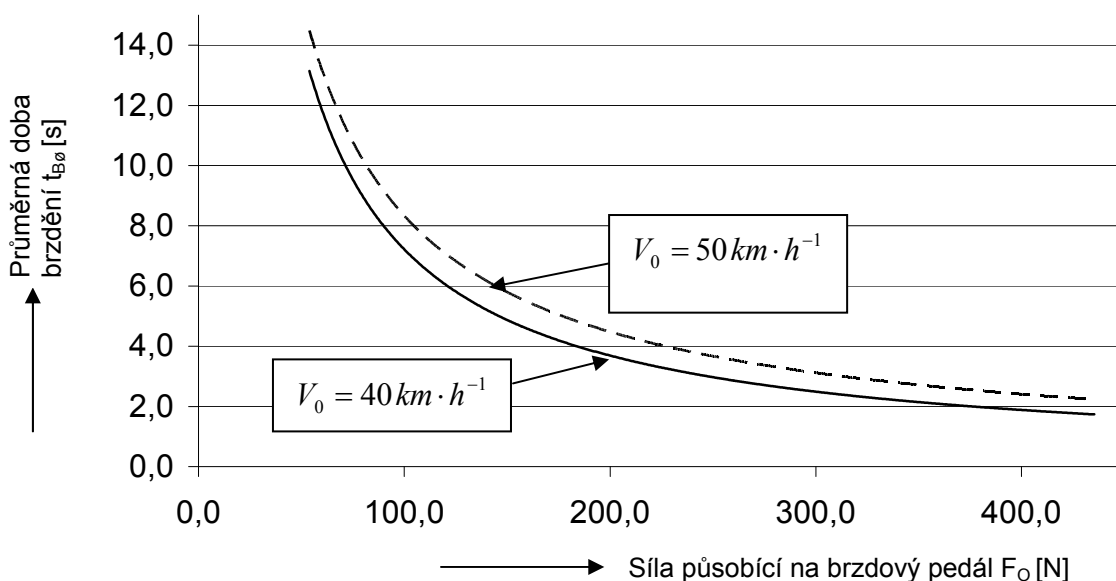
4.2.3 Grafické závislosti z naměřených údajů

Grafy jsou vytvořeny pro dvě různé počáteční rychlosti. Jednak pro rychlost $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a dále pro $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nejprve jsou zakresleny naměřené hodnoty ve formě bodů (X) pro jednotlivé počáteční rychlosti a jimi je vždy proložena křivka, viz příloha (příloha 4). Poté je, pro lepší porovnání, vytvořena dvojice grafů, kde jsou vždy vyneseny dvě křivky pro stejnou veličinu, ale pro různé počáteční rychlosti V_0 (graf 4.1, graf 4.2).

Graf 4.1 Závislost průměrné brzdné dráhy na velikosti síly působící na brzdový pedál pro počáteční rychlost $V_0 = 40 \text{ km/h}$ a $V_0 = 50 \text{ km/h}$



Graf 4.2 Závislost průměrné doby brzdění na velikosti síly působící na brzdový pedál pro počáteční rychlost $V_0 = 40 \text{ km/h}$ a $V_0 = 50 \text{ km/h}$



Křivky, které jsou vytvořeny proložením naměřených hodnot, se asymptoticky blíží k hranici, jež by odpovídala mezní síle působící na brzdový pedál F_0 , při které by došlo k současnému brzdění všech kol na mezi adheze.

Průběh jednotlivých regresních křivek lze matematicky vyjádřit výrazem

$$y = K \cdot x^n \quad (4.10)$$

kde je: y obecné označení závislé veličiny (s_θ nebo $t_{B\theta}$) [m], [s]
 K konstanta pro danou funkci
 x obecné označení nezávislé veličiny (F_0) [N]
 n exponent (nabýval hodnot z intervalu $n \in \langle -0,81; -0,99 \rangle$).

5 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a posléze vyrobit jednoduchý snímač ovládací síly působící na pedál, nebo-li pedometr.

Navržený snímač je založen na principu hydraulického přenosu energie. Je zkonstruován z hliníkových polotovarů, čímž se dosáhlo relativně malých výrobních nákladů.

Podle vlastního návrhu vyrobený pedometr je osazen manometrem, který slouží pro vizuální odečet naměřených hodnot. Aby pedometr bylo možné zapojit do měřicího systému pro výzkum jízdních vlastností vozidel, zejména z důvodu synchronního záznamu průběhu síly na pedál spolu s ostatními měřenými veličinami, byl proveden detailní návrh dvou snímačů tlaku umožňujících odečítání naměřených hodnot elektrickou cestou. Funkční závislost mezi deformací vlivem vnitřního přetlaku a výstupní elektrickou veličinu, u navrhnuté části tlakového snímače, je umožněna elektrickými odporovými tenzometry. Výhoda snímačů vlastní konstrukce tkví nejen v nižší pořizovací ceně, ale je zde i pedagogický přínos ve formě aplikace nauky o Pružnosti a pevnosti na konkrétní technický projekt.

Před použitím pedometru byla provedena jeho kalibrace. Pro ověření správné činnosti pedometru v praxi byl zrealizován experiment se skutečným vozidlem. Snímač ovládací síly působící na pedál se osvědčil nejen při tomto experimentu s vozidlem staršího data výroby (Oltcit), ale také vyhověl při měření na automobilu moderní konstrukce značky Škoda Roomster. Lze tedy konstatovat, že vyrobený pedometr je pro praxi použitelný.

Při návrhu pedometru a snímačů tlaku, jakož i při tvorbě kompletní výkresové dokumentace, bylo s výhodou využito konstruování za pomoci počítače nebo-li CAD. Konkrétně se jednalo o 3D CAD software Autodesk Mechanical Desktop 2006, Autodesk Inventor Professional 10 a 2D program AutoCAD 2002 s nástavbou MechSoft-PROFI Plus for AutoCAD 2002.

Použitá literatura

- [1] F. VLK. *Diagnostika motorových vozidel*, Brno: Vlk, 2006. 444 stran. ISBN 80-239-7064-X.
- [2] *CORRSYS-DATRON* [online]. [cit. 2008 – 04 – 02]. Dostupné z WWW: < http://www.corrsys-datron.com/Support/Data_Sheets/Datasheets-Sensors/cds-d_PEDALFORCE_e.pdf >.
- [3] *ikvalita.cz*. [online]. [cit. 2008 – 03 – 01]. Dostupné z WWW: < <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=26> >.
- [4] *PROVINTER s.r.o.* [online]. [cit. 2007 – 11 – 25]. Dostupné z WWW: < <http://www.vahy-hk.cz/kalibrace-a-overeni-vah/index.htm> >.
- [5] S. KOLDA, D. KRAJŇÁKOVÁ, A. KIMLA. *Matematika pro chemiky II*, Praha: SNTL, 1990. 352 stran, 54 obrázků, 33 tabulek. ISBN 80-03-00463-2.
- [6] VL. PECHOČ. *Vyhodnocování měření a početní metody v chemickém inženýrství*, Praha: SNTL, 1981. 228 stran, 91 obrázků, 54 tabulek.
- [7] ČVUT FEL, katedra měření. *Senzory tlaku* [online]. [cit. 2008–21–03]. Dostupné z WWW: < http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/sz/pdfs/prednasky/06_tlak.pdf >.
- [8] Materiály z přednášek předmětu Pružnost a pevnost II prof. Ing. J. Menčíka, CSc., UPCE DFJP Pardubice, 1996 – 1999.
- [9] J. MICHALEC. *Pružnost a pevnost I*, ČVUT Praha, 2006. 320 stran, 319 obrázků. ISBN 80-01-02359-1.
- [10] J. ŘEZNÍČEK, J. ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi – Příklady I*, ČVUT Praha, 2005. 66 stran, 95 obrázků. ISBN 80-01-03209-4.

- [11] F. VALENTA. *Pružnost a pevnost III (Vybrané partie z PP)*, ČVUT Praha, 1995. 272 stran, 226 obrázků. ISBN 80-01-01278-6.
- [12] J. ŘEZNÍČEK, J. ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi – Příklady II*, ČVUT Praha, 2006. 62 stran, 112 obrázků. ISBN 80-01-03584-0.
- [13] J. MICHALEC. *Pružnost a pevnost II*, ČVUT Praha, 1994. 215 stran, 180 obrázků. ISBN 80-01-01087-2.
- [14] S. ĎAĎO, M. KREIDL. *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*, ČVUT Praha, 1981. 173 stran, 209 obrázků.
- [15] P. WASGESTIAN. *Tenzometry HBM* [online (pdf)]. [cit. 2008–29–03]. Dostupné z WWW: <<http://www.hbm.cz/>>.
- [16] Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Technická měření. *Měření napětí a síly* [prezentace v souboru pdf]. [cit. 2008–27–03].
- [17] A. VÉMOLA. *Diagnostická zařízení I. díl*, Brno: Technické překladatelství a vydavatelství, 1996. 152 stran.
- [18] M. VALA, M. TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*, Pardubice, 2003. 229 stran, 326 obrázků, 15 tabulek. ISBN 80-7194-503-X.
- [19] Smíšená společnost OLTCIT S.A., Craiova. *Návod k provozu a údržbě automobilu*, Rumunsko, 1988. 60 stran.
- [20] *Mapy.cz*. [online]. [cit. 2008 – 04 – 06]. Dostupné z WWW: <http://www.mapy.cz/#x=135962016@y=135741056@z=15@mm=ZP@sa=s@st=s@ssq=Ronal%20Pardubice@sss=1@ssp=135202594_137128143_135243746_137164463>.
- [21] B. STŘÍŽ. *Metodická příručka z pružnosti a pevnosti*, VŠST Liberec, 1991. 239 stran, 287 obrázků. ISBN 80-7083-064-6.

[22] B. STRÍŽ. *Pružnost a pevnost – 1. díl*, VŠST Liberec, 1990. 241 stran, 217 obrázků. ISBN 80-7083-013-1.

[23] P. PUCHMAJER, J. ŘEZNÍČKOVÁ. *Sbírka úloh z pružnosti a pevnosti*, ČVUT Praha, 2003. 181 stran, 183 obrázků. ISBN 80-01-02448-2.

[24] J. LEINVEBER, P. VÁVRA. *Strojnické tabulky – Třetí doplněné vydání*, ALBRA, 2006. 914 stran. ISBN 80-7361-033-7.

[25] V. PROCHÁZKOVÁ, A. ALBERT, R. KŘÍŽ. *Konstrukční cvičení I*, SNTL, 1989. 88 stran, 126 obrázků, 33 tabulek. ISBN 80-03-00055-6.

[26] J. POSPÍCHAL. *Technické kreslení*, Vydavatelství ČVUT, 2004. 84 stran, 340 obrázků. ISBN 80-01-02196-3.

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Elektronický pedometr (CORRSYS-DATRON)	12
Obr. 2.2 Hydraulický snímač ovládací síly (pedometr).....	12
Obr. 2.3 Těsnění pístu o-kroužkem	13
Obr. 2.4 Jmenovitý průměr pístu	14
Obr. 2.5 Základní rozměry podstavy u pedometru.....	15
Obr. 2.6 Vzdálenost roztečných přímek otvorů pro šrouby M5.....	15
Obr. 2.7 Rozměry brzdových pedálů u vybraných osobních vozů.....	16
Obr. 2.8 Utěsnění pracovního prostoru válce pod pístem	17
Obr. 2.9 Zvýšení těsnicí schopnosti pístu pedometru (detail v řezu)	17
Obr. 2.10 Válec pedometru.....	18
Obr. 2.11 Mosazná propojka G 3/8''	18
Obr. 2.12 Upevnění pedometru k pedálu.....	19
Obr. 2.13 Ishikawův diagram	20
Obr. 2.14 Montáž pedometru.....	22
Obr. 2.15 Kalibrace pedometru	23
Obr. 2.16 Regresní přímka	27
Obr. 3.1 Bourdonova trubice	31
Obr. 3.2 Částečný 3D řez nádobou (zakótovaný).....	32
Obr. 3.3 Výpočtový model nádoby	32
Obr. 3.4 Detail vetknutí pláště nádoby	34
Obr. 3.5 Princip superpozice	35
Obr. 3.6 Zobrazení střední části pláště nádoby (čárkovaná čára).....	37
Obr. 3.7 Rovinná napjatost.....	37
Obr. 3.8 Mohrova kružnice (dvouosý nesymetrický tah).....	38
Obr. 3.9 Částečný 3D řez membránou (zakótovaný)	40
Obr. 3.10 Výpočtový model vetknuté desky	40
Obr. 3.11 Maximální průhyb desky.....	46
Obr. 3.12 Průběh tečného a radiálního napětí v desce	46
Obr. 3.13 Zakázaná oblast pro lepení tenzometru(ů)	47
Obr. 3.14 Rozdělení elektrických odporových tenzometrů.....	49
Obr. 3.15 Elektrické odporové tenzometry	49
Obr. 3.16 Odporový můstek s galvanoměrem.....	51

Obr. 3.17 Půlmostové zapojení činného a kompenzačního tenzometru.....	53
Obr. 3.18 Umístění měřícího a kompenzačního tenzometru	54
Obr. 3.19 Rozdělení fóliových tenzometrů pro různé druhy měření.....	54
Obr. 3.20 Tenzometrická růžice (vhodné pro membrány)	55
Obr. 3.21 Dvoukanálové zapojení tenzometrů do půlmostu	55
Obr. 3.22 Rozmístění tenzometrů a jejich propojení na plášti nádoby.....	56
Obr. 3.23 Rozmístění a zapojení tenzometrů na membráně tlakového snímače.....	56
Obr. 3.24 Přímé připevnění tlakového snímače	57
Obr. 3.25 Připevnění tlakového snímače a manometru pomocí „T“ propojky	57
Obr. 4.1 Průběh brzdné síly a zpomalení v procesu brzdění	61
Obr. 4.2 Jmenovité rozměry automobilu	62
Obr. 4.3 Zkušební úsek.....	63
Obr. 4.4 Vyznačený zkušební úsek na mapě.....	63

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Naměřené hodnoty tlaků	24
Tab. 2.2 Mezivýsledky	28
Tab. 3.1 Základní mechanické vlastnosti (trubka)	33
Tab. 3.2 Příklad naměřených deformací při tlakové zkoušce.....	39
Tab. 3.3 Základní mechanické vlastnosti (kulatina).....	41
Tab. 4.1 Základní technické parametry vozidla	62
Tab. 4.2 Parametry pneumatik.....	65
Tab. 4.3 Naměřené hodnoty pro počáteční rychlost 40 km·h ⁻¹	67
Tab. 4.4 Naměřené hodnoty pro počáteční rychlost 50 km·h ⁻¹	68

Seznam grafů

Graf 2.1 Znázornění naměřených hodnot a průběh regresní přímky.....	30
Graf 4.1 Závislost průměrné brzdné dráhy na velikosti síly působící na brzdový pedál pro počáteční rychlost $V_0 = 40$ km/h a $V_0 = 50$ km/h	69
Graf 4.2 Závislost průměrné doby brzdění na velikosti síly působící na brzdový pedál pro počáteční rychlost $V_0 = 40$ km/h a $V_0 = 50$ km/h	69

Seznam příloh

- Příloha 1 – Možná podoba formulářů FMEA pro vyráběné prvky pedometru
- Příloha 2 – Digitální 3D vizualizace v programu Autodesk Inventor Professional 10
- Příloha 3 – Digitální 3D vizualizace jednotlivých snímačů tlaku v programu Autodesk Inventor Professional 10
- Příloha 4 – Grafické závislosti zhotovené z naměřených údajů při experimentálním měření
- Příloha 5 – Fotografie z experimentálních měření, kde byl použit pedometr
- Příloha 6 – Fotografie vyrobeného pedometru (in natura)
- Příloha 7 – Výkresová dokumentace

PŘÍLOHY

7 příloh k bakalářské práci

Příloha 1

- Možná podoba formulářů FMEA pro vyráběné prvky pedometru.

Prvek/ Funkce	Možná vada	Možné následky vady	Význam	Možné příčiny/ mechanismy vady	Výskyt	Stávající způsoby posuzování návrhu	Odhaditelnost	Rizikové číslo	Doporučená opatření	Odpovědnost /Termin realizace	Provedená opatření	Význam	Výskyt	Odhaditelnost	Rizikové číslo	
píst	rozměr	nebude se pohybovat	8	špatné nástroje	4	kontrola posuvným měřítkem	2	64	pravidelná kontrola nástrojů	vyrábějící dělník/ na začátku směny	proškolení	8	1	2	16	
		nebude těsnit	8	špatné stroje	2											
		nelze použít při provozu	7	chyba dělníka	4											
	závit M5	únik oleje	8	špatný nástroj	3	vizuální	5	200	kontrola nástrojů a řezných kapalin	vyrábějící dělník/ na začátku směny	proškolení; výstupní kontrola závitů	8	2	3	48	
		montáž	8	špatné řezné podmínky	4											
				nevhodná řezná kapalina	5											
	závit M3				chyba dělníka	3	vizuální	5	200	kontrola nástrojů a řezných kapalin	vyrábějící dělník/ na začátku směny	proškolení, výstupní kontrola závitů	8	2	3	48
		montáž	8	ořívání	5											
		netěsnost pístu	8	špatný nástroj	3											
				špatné řezné podmínky	4											
			nevhodná řezná kapalina	5												
			chyba dělníka	5												
			dodavatel	1												
materiál	oxidace	2	dodavatel	1	vizuální	2	20									
	opotřebení	5	konstruktér	1												
	pevnost	5	chyba dělníka	2												

Prvek/ Funkce	Možná vada	Možné následky vady	Význam	Možné příčiny/ mechanismy vady	Vyskyt	Stávající způsoby posuzování návrhu	Odhaditelnost	Rizikové číslo	Doporučená opatření	Odpovědnost /Termin realizace	Provedená opatření	Význam	Vyskyt	Odhaditelnost	Rizikové číslo
tělo	svar	netěsnost	7	nastavené parametry při svaření	3	vizuální	5	105	kontrola svařecích parametrů	svářeč; mistr dílny	pravidelná školení	7	1	5	35
		geometrie	3	přídavný materiál	2										
		pevnost	5	svařecí přípravek	2										
				orýsování	3										
				chyba dělníka	3										
rozměr	montáž k pedálu		6	orýsování	4	kontrola posuvným měřítkem	2	48							
				špatné stroje	2										
				chyba dělníka	4										
				únik oleje	3										
závit G 3/8''	montáž		8	špatný nástroj	3	vizuální	5	200	kontrola nástrojů a řezných kapalin	vyrábějící dělník/ na začátku směny	proškolení, výstupní kontrola závitu	8	2	2	32
			8	špatné řezné podmínky	4										
				řezná kapalina	5										
				chyba dělníka	3										
				špatný stroj	2										
ostré hrany	poškození	poranění	10	chyba dělníka	3	vizuální	3	90	mezi-operace „odhranění“	dělník; technolog	začlenění do technologie výrobního postupu	10	2	3	60
			7	technologický postup	3										
			1	dodavatel	1										
materiál	opotřebení	oxidace	4	konstrukční	2	vizuální	5	40							
			3	chyba dělníka	2										
			3		3										

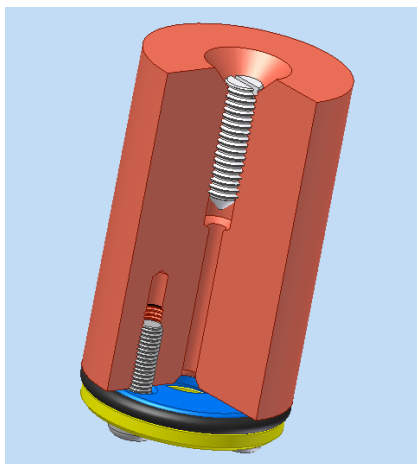
Prvek/ Funkce	Možná vada	Možné následky vady	Význam	Možné příčiny/ mechanismy vady	Vyskyt	Stávající způsoby posuzování návrhu	Odhaditelnost	Rizikové číslo	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Význam	Vyskyt	Odhaditelnost	Rizikové číslo	
středící podložka	rozměr	nelze smontovat	8	orýsování	4	kontrola posuvným měřítkem	2	64	kontrola nástrojů a použití vrtacích přípravků	vyrábějící dělník/ na začátku směny	zavedení vrtacích přípravků do výroby, proškolení pracovníků	8	2	2	32	
		neumožní pohyb pístu	8	špatné nástroje	3											
		netěsnost	8	špatné stroje	2											
				chyba dělníka	4											
	materiál	koroze	3	dodavatel	1	nekontroluje se	4	24								
		obrobitelnost	2	nákupčí	2											
	ostře hrany	poranění	10	špatné nástroje	3	vizuální	6	180	technologická mezi-operace „odhranění“	začlenění do technologie výrobního postupu	dělník; technolog	začlenění do technologie výrobního postupu	10	1	6	60
		poškození o-kroužku	7	technologický postup	3											
		opotřebení	5	chyba dělníka	3											
	nadměrná drsnost funkčních ploch	netěsnost	8	špatné řezné podmínky	4	vizuální	5	160	kontrola nástrojů a řezných podmínek	vyrábějící dělník/ na začátku směny a při obrábění	proškolení	proškolení	8	2	5	80
		poškození o-kroužku	7	opotřebené nástroje	3											
		opotřebení	4	špatné stroje	2											
			špatné upnutí	2												
			chyba dělníka	3												
			špatné stroje	2												
geometrie	netěsnost	8	špatné stroje	2	nekontroluje se	6	144	používání upinacích přípravků	vyrábějící dělník/ na začátku směny a při obrábění	zavedení upinacích přípravků do výroby, proškolení pracovníků	zavedení upinacích přípravků do výroby, proškolení pracovníků	8	1	6	48	
	montáž	8	špatné upnutí	2												
			chyba dělníka	3												
			špatná obrobitelnost materiálu	1												

Prvek/ Funkce	Možná vada	Možné následky vady	Význam	Možné příčiny/ mechanismy vady	Vyskyt	Stávající způsoby posuzování návrhu	Odhaditelnost	Rizikové číslo	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Význam	Vyskyt	Odhaditelnost	Rizikové číslo	
stahovací podložka	rozměr	nelze smontovat	8	orýsování	3	kontrola posuvným měřítkem	2	48	kontrola nástrojů a použití vrtacích přípravků	vyrábějící dělník/ na začátku směny	zavedení vrtacích přípravků do výroby, proškolení pracovníků	8	1	2	16	
		neumožní pohyb pístu	8	špatné nástroje	2											
		netěsnost	8	špatné stroje	2											
				chyba dělníka	3											
	materiál	koroze	3	dodavatel	1	nekontroluje se	4	24								
		obrobitelnost	2	nákupčí	2											
	ostré hrany	poranění	10	špatné nástroje	3	vizuální	5	150	technologická mezi-operace „odhranění“	začlenění do technologie výrobního postupu	dělník; technolog	začlenění do technologie výrobního postupu	10	1	5	50
		poškození o-kroužku	7	technologický postup	3											
		opotřebení	5	chyba dělníka	3											
				špatné řezné podmínky	3											
	nadměr- ná drsnot funkčních ploch	netěsnost	8	špatné řezné podmínky	3	vizuální	5	120	kontrola nástrojů a řezných podmínek	vyrábějící dělník/ na začátku směny a při obrábění	proškolení	proškolení	8	2	5	80
		poškození o-kroužku	7	opotřebené nástroje	2											
opotřebení		4	špatné stroje	2												
			špatné upnutí	2												
geometrie	netěsnost	8	chyba dělníka	3	nekontroluje se	6	144	používání upínacích přípravků	vyrábějící dělník/ na začátku směny a při obrábění	zavedení upínacích přípravků do výroby, proškolení pracovníků	zavedení upínacích přípravků do výroby, proškolení pracovníků	8	1	6	48	
	montáž	8	špatné stroje	2												
			špatné upnutí	2												
			chyba dělníka	3												
		špatná obrobitelnost materiálu	1													

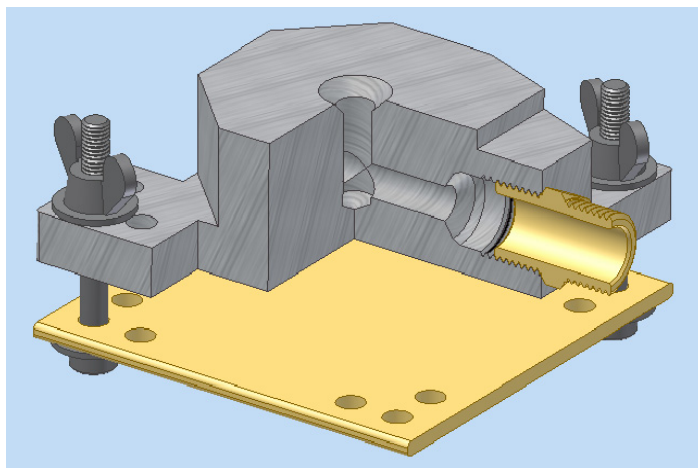
Příloha 2

- Digitální 3D vizualizace v programu Autodesk Inventor Professional 10.

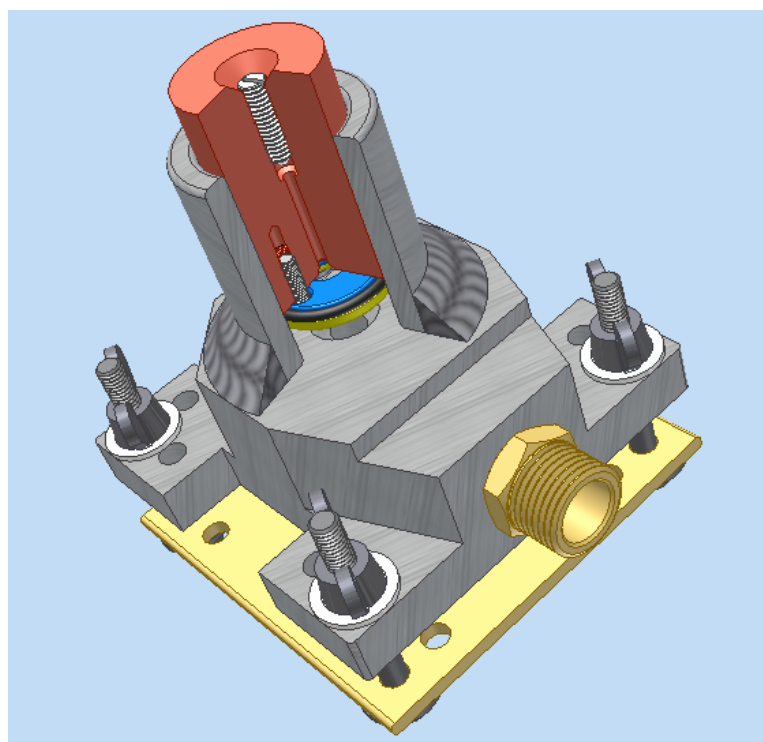
a) Detail pístu v částečném řezu



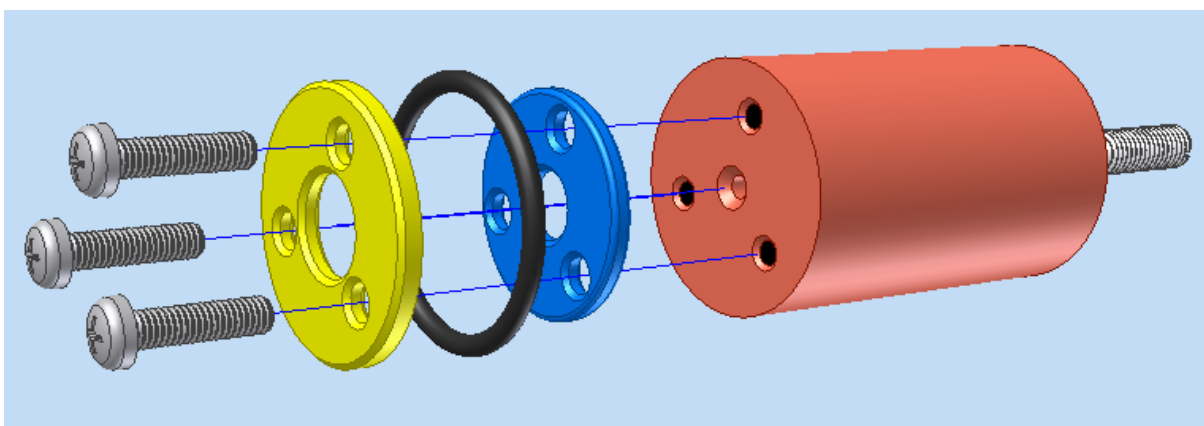
b) Částečný řez podstavou a propojkou



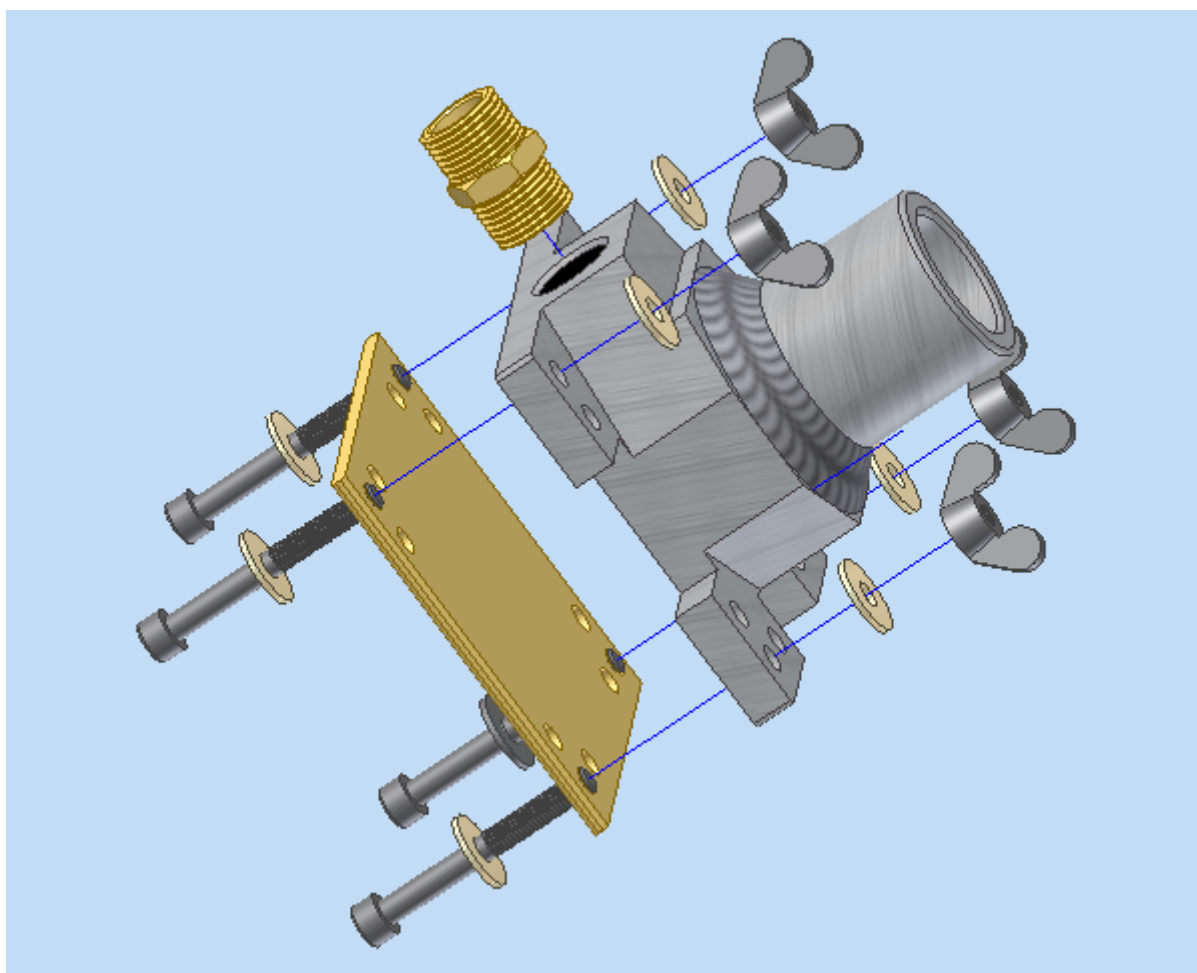
b) Pedometr – celkový pohled s částečným řezem



c) Montážní rozklad pro sestavu pístu



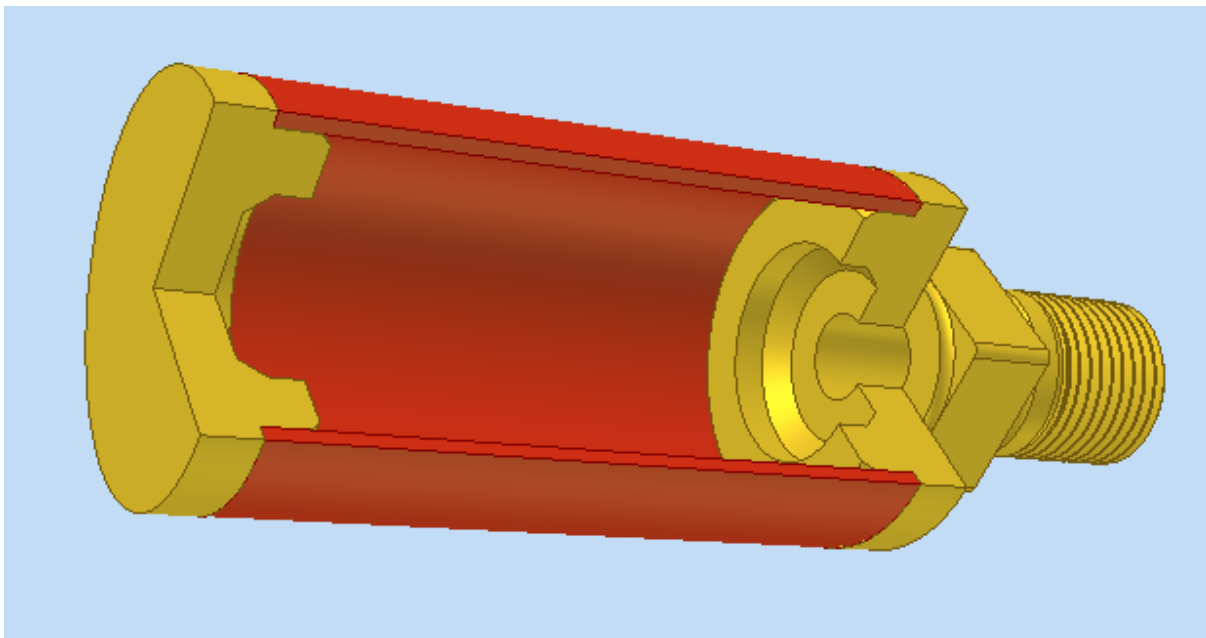
d) Montážní rozklad pro tělo pedometru



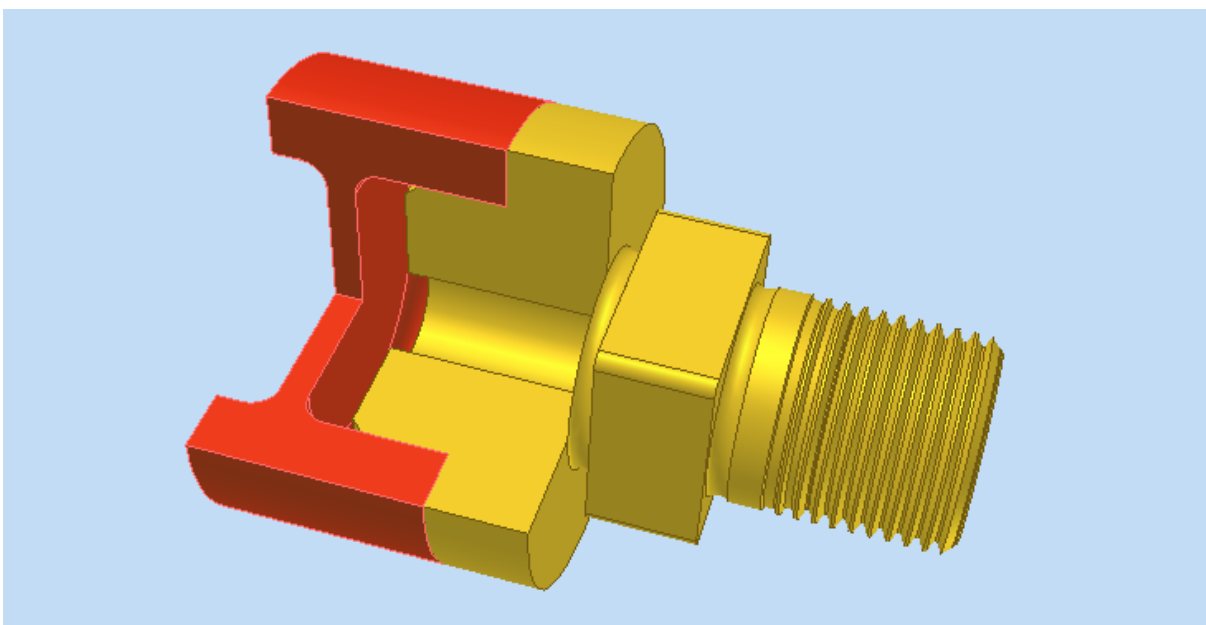
Příloha 3

- Digitální 3D vizualizace jednotlivých snímačů tlaku v programu Autodesk Inventor Professional 10.

a) Snímač tlaku na principu tenkostěnné válcové nádoby



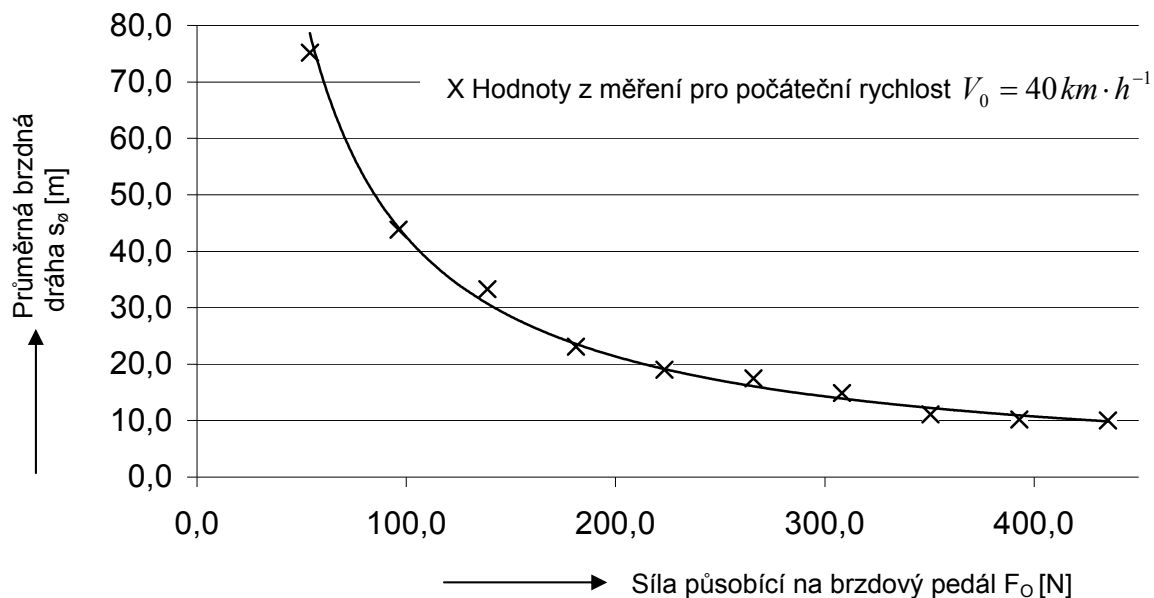
b) Snímač tlaku na principu tenkostěnné membrány



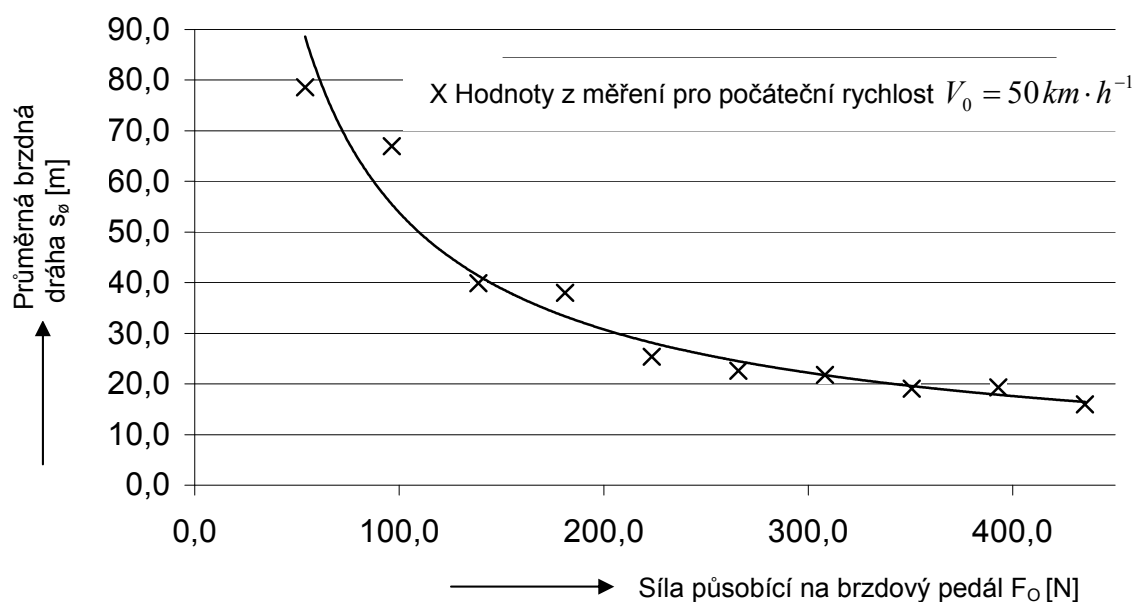
Příloha 4

- Grafické závislosti zhotovené z naměřených údajů při experimentálním měření.

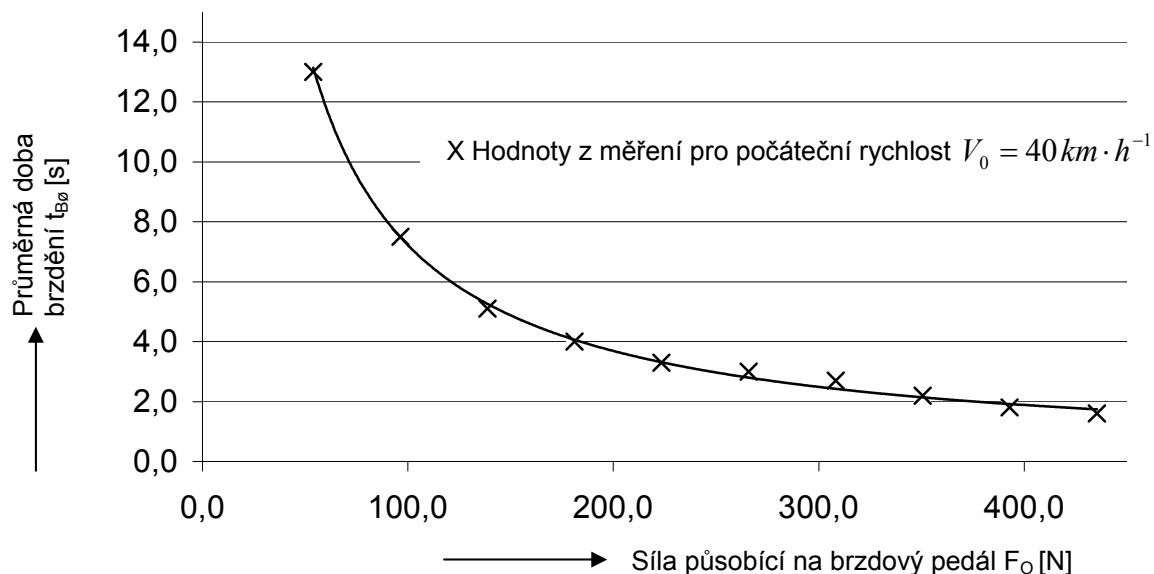
a) Závislost průměrné brzdné dráhy na velikosti síly působící na brzdový pedál pro $V_0 = 40 \text{ km/h}$



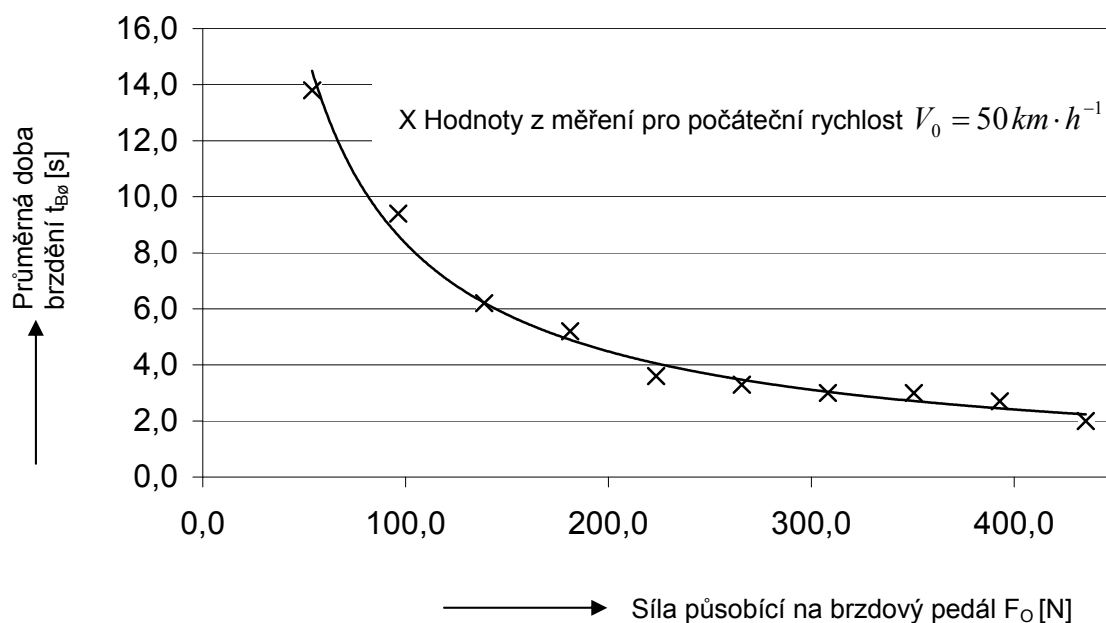
b) Závislost průměrné brzdné dráhy na velikosti síly působící na brzdový pedál pro $V_0 = 50 \text{ km/h}$



c) Závislost průměrné doby brzdění na velikosti síly působící na brzdový pedál pro $V_0 = 40 \text{ km/h}$



d) Závislost průměrné doby brzdění na velikosti síly působící na brzdový pedál pro $V_0 = 50 \text{ km/h}$



U výše uvedených grafů byly nejprve vyneseny naměřené hodnoty ve formě bodů (X) a poté těmito body byla proložena křivka.

Příloha 5

- Fotografie z experimentálních měření, kde byl použit pedometr.

a) Pohled na „zkušební trať“ u továrny Ronal CR (bez vozidla a s vozidlem Olcit)



b) Upevnění pedometru na brzdovém pedálu ve vozidle Škoda Roomster



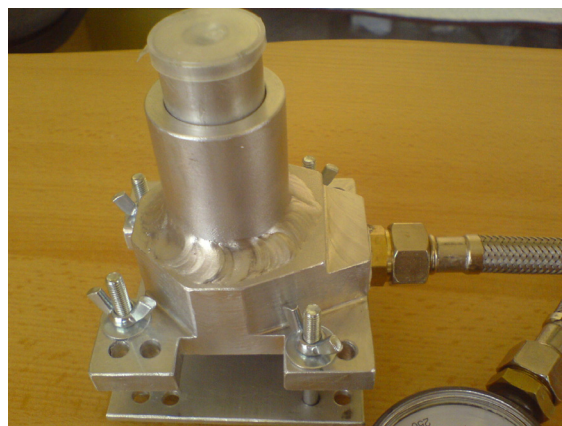
Příloha 6

- Fotografie vyrobeného pedometru (in natura).

a) Pedometr s připojeným manometrem



b) Pedometr s připojeným manometrem a s krycí čepičkou



c) Celkový pohled



Příloha 7

- Výkresová dokumentace.

7.1 Seznam výkresů

a) Pedometr

Název výkresu	Číslo výkresu
PEDOMETR	P-001-2008_BC
PEDOMETR (kusovník)	P-001A-2008_BC
PODSTAVA	P-002.1-2008_BC
VÁLEC	P-002.2-2008_BC
TĚLO	P-002-2008_BC
PÍST	P-003-2008_BC
STŘEDÍCÍ_PODLOŽKA	P-004-2008_BC
STAHOVACÍ_PODLOŽKA	P-005-2008_BC
DESKA	P-006-2008_BC

b) Snímač tlaku – tenkostěnná válcová nádoba

Název výkresu	Číslo výkresu
S.T._NÁDOBA	STN-001-2008_BC
LEVÉ_ČELO	STN-002-2008_BC
PLÁŠŤ	STN-003-2008_BC
PRAVÉ_ČELO	STN-004-2008_BC

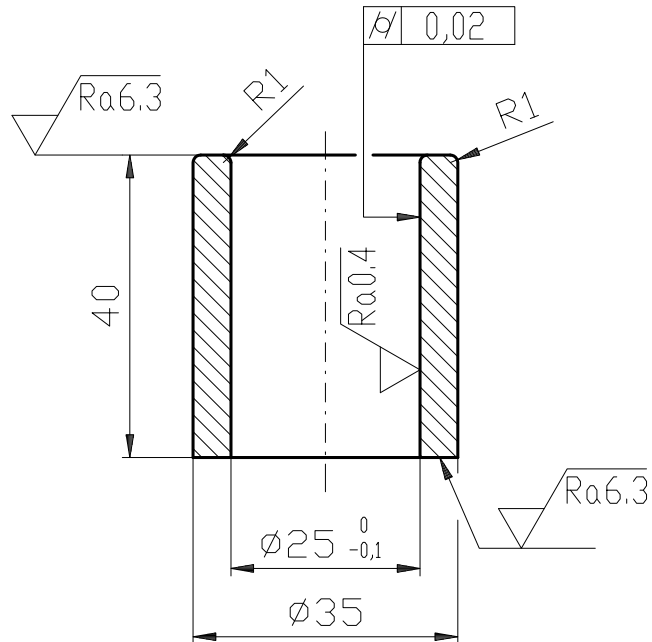
c) Snímač tlaku – membrána

Název výkresu	Číslo výkresu
S.T._MEMBRÁNA	STM-001-2008_BC
MEMBRÁNA	STM-002-2008_BC
PRAVÉ_ČELO_M	STM-003-2008_BC

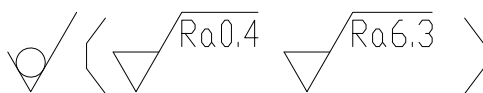
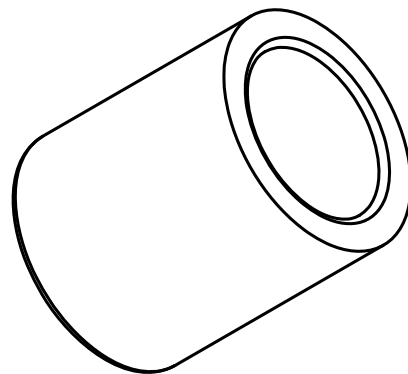
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

č. pol.	Název - rozměr	Čís. výkresu - č. normy	Hmotnost(kg)	Množství
	Polotovar	Materiál výchozí	Jednotka	
1	TĚLO	P-002-2008_BC	0,320 kg	1
2	PÍST	P-003-2008_BC	0,042 kg	1
3	STŘEDÍCI PODLOŽKA	P-004-2008_BC	0,004 kg	1
4	STÁHOVACÍ PODLOŽKA	P-005-2008_BC	0,005 kg	1
5	DESKA	P-006-2008_BC	0,065 kg	1
6	ŠROUB M5x16	ISO 7434	0,002 kg	1
7	ŠROUB M3x12	ISO 7045 (Z)-4.8	0,001 kg	3
8	ŠROUB M5x45	ISO 4762-8.8	0,009 kg	4
9	MATICE M5	ČSN 02 1665.0	0,002 kg	4
10	PODLOŽKA 5,3	ISO 7093-5	0,001 kg	8
11	PROPOJKA G 3/8" (MOSAZ)	-----	0,007 kg	1
12	0-KROUŽEK 21x2 FPM80	DIN 3770 Rubena Náchod	0,001 kg	1
13	NEREZ OPLETENÁ FLEXI HADIČKA G 3/8"-1200	IN 602010 Protimex	0,250 kg	1
14	HYDRAULICKÝ OLEJ OT-HP3	ISO VG 32 Paramo	--- kg	-
15	MANOMETR 0-18 bar, G 3/8"	-----	0,050 kg	1

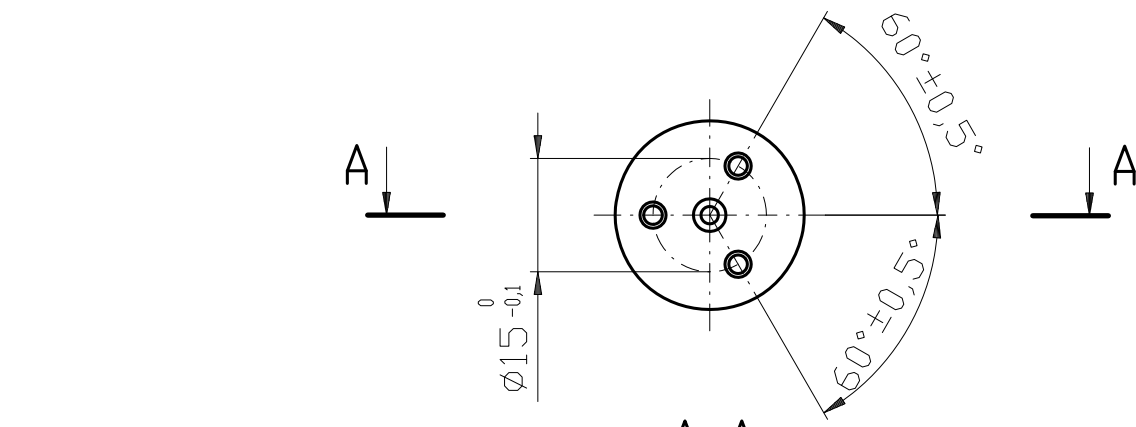
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE		DF JP
ZN.MAT.			T.O.	HMOTNOST kg	0,801	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT.				ČSN		TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.		SESTAVA P-001-2008_BC
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ	NORM.REF.			STARÝ V.		Č.V.
PŘEZK.						
TECHNOL.	SCHVÁLIL	20.05.2008				
NÁZEV	PEDOMETR			P-001A-2008_BC		
				List	2	Listů 9



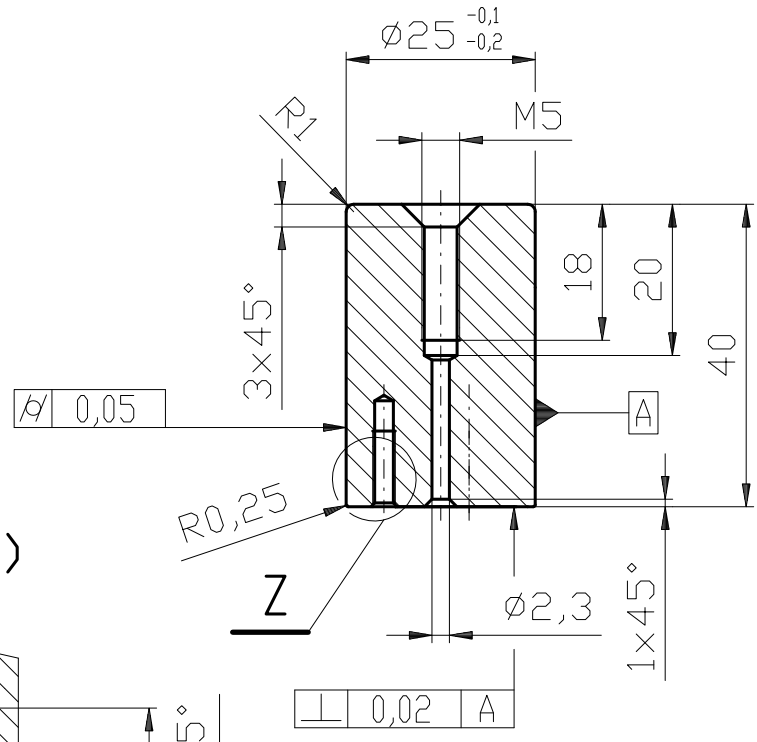
3D POHLED



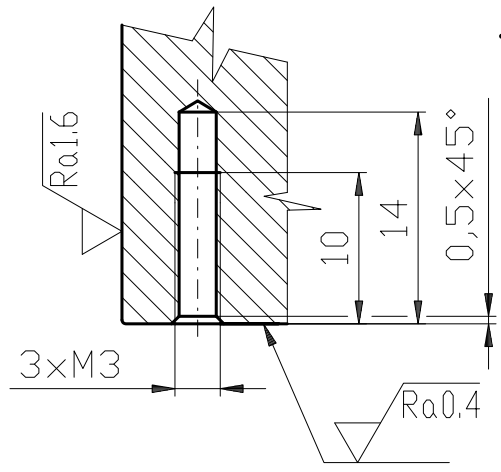
INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE		DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6060 (AlMgSi0,5)			T.O.	HMOTNOST kg	0,040	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT. TR KR 35x5-40				ČSN		TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.		Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.				
PŘEZK.						
TECHNOL.		SCHVÁLIL	20.05.2008	STARÝ V.		Č.V.
NÁZEV				P-002.2-2008_BC		
VÁLEC				List 4	Listů 9	



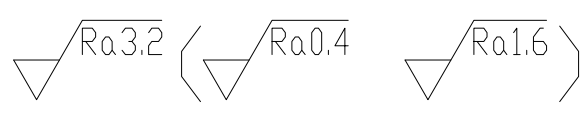
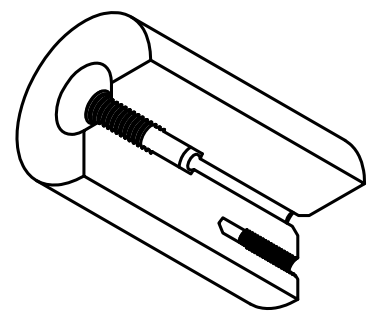
A-A



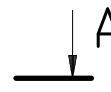
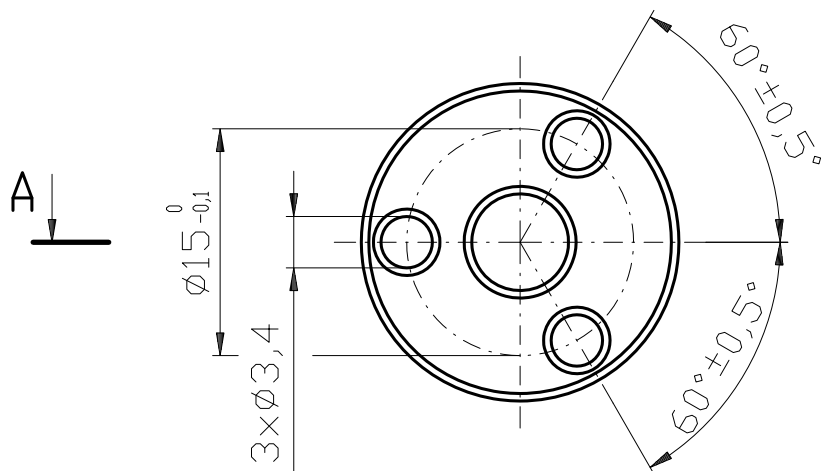
Z (M 2:1)



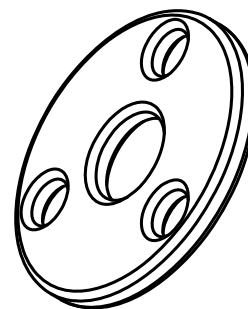
3D POHLED S ČÁSTEČNÝM ŘEZEM



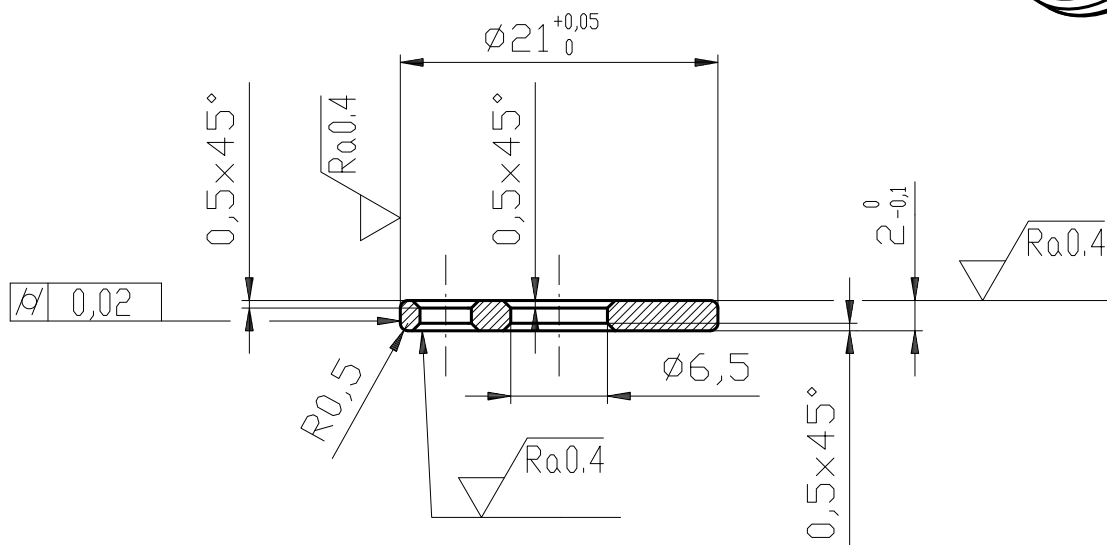
INDEX	ZMENA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)				T.O.	HMOTNOST kg 0,042
ROZM.-POLOT. KR 25-40					MĚŘ. M 1:1
POM. ZAŘ.				ČSN	TŘ.Č.
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL	20.05.2008	STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV					
PÍST				P-003-2008_BC	
				List 6	Listů 9



3D POHLED



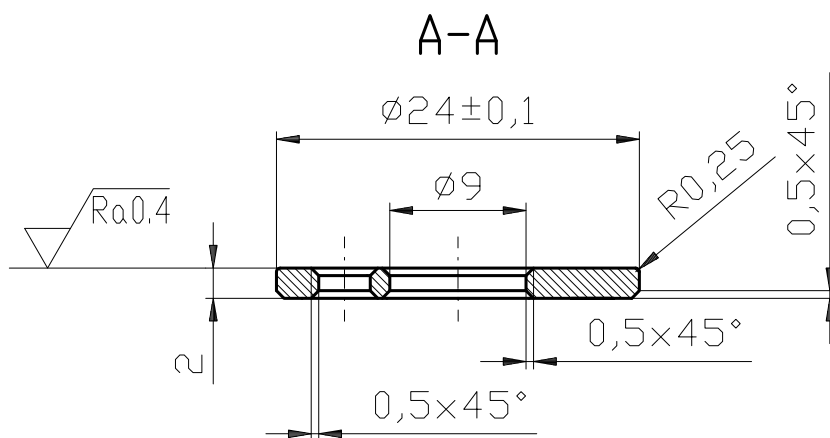
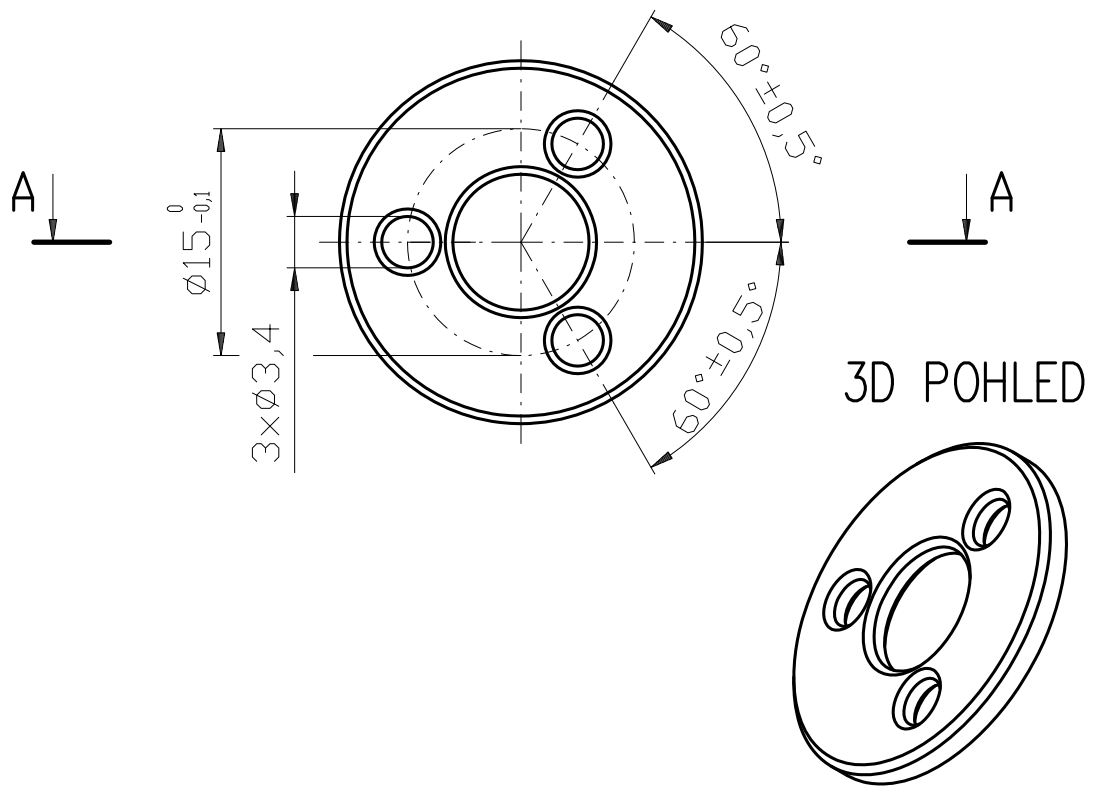
A-A



OTVORY $\phi 3,4$ SVRTAT SE STAĤ. P., Č.V. P-005-2008_BC



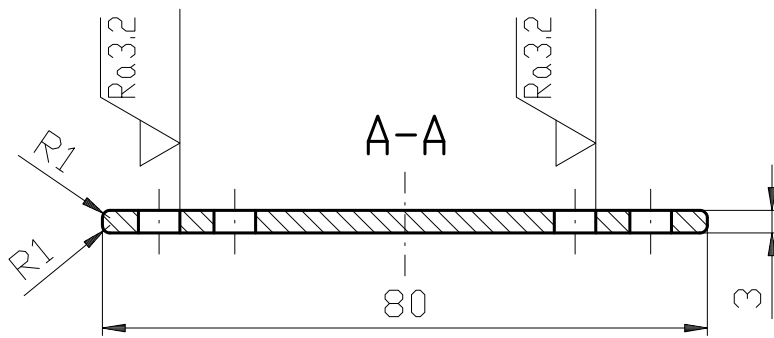
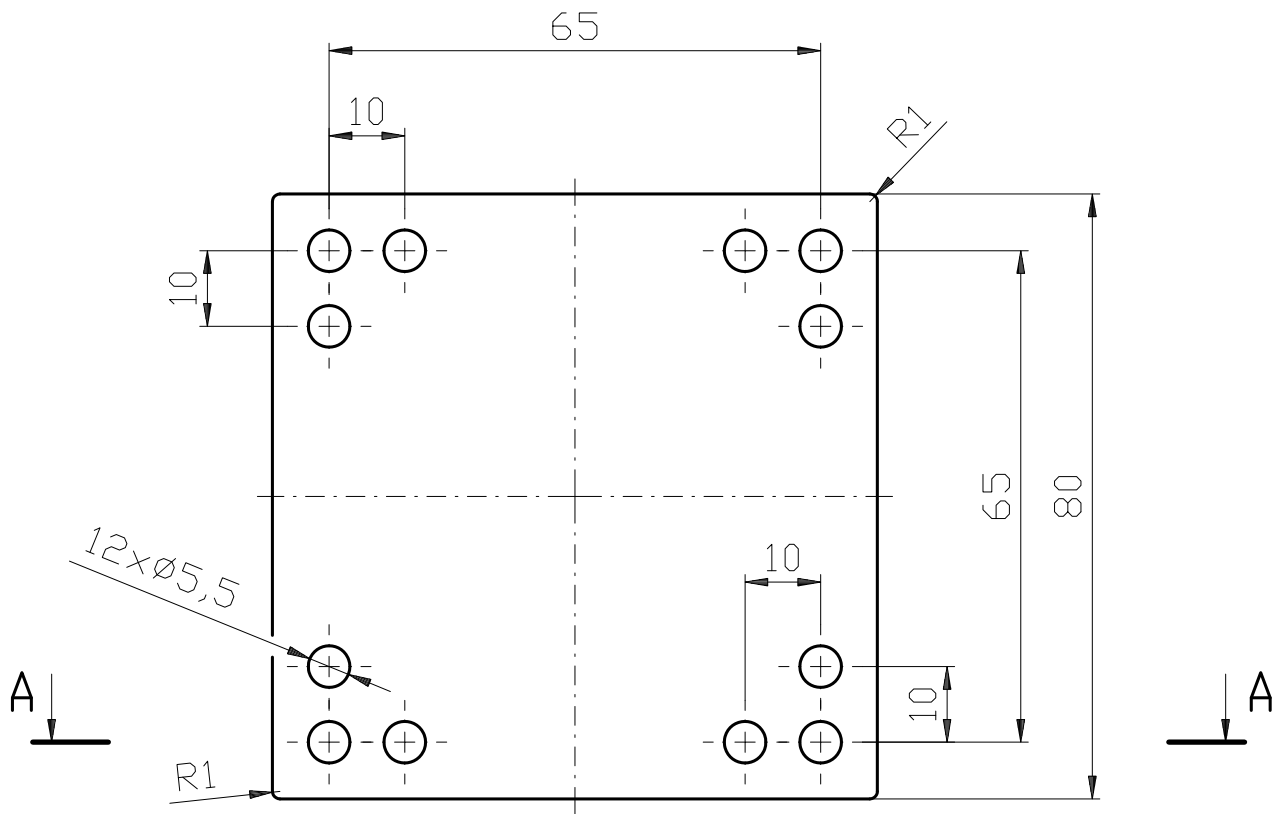
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)		T.O.		HMOTNOST kg 0,004	MĚŘ. M 2:1
ROZM.-POLOT. KR 23-2				ČSN	TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.	Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.			
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL		20.05.2008	STARÝ V.
NÁZEV					Č.V.
STŘEDÍCÍ_PODLOŽKA				P-004-2008_BC	
				7	9



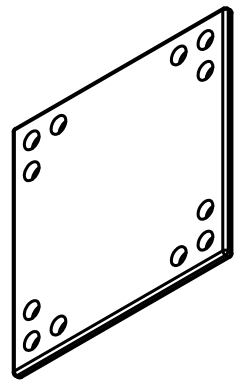
OTVORY $\varnothing 3,4$ SVRTAT SE STRĚ. P., Č.V. P-004-2008_BC



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)		T.O.		HMOTNOST kg 0,005	MĚŘ. M 2:1
ROZM.-POLOT. KR 24-2				ČSN	TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.	Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.			
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL		20.05.2008	STARÝ V. Č.V.
NÁZEV				P-005-2008_BC	
STAHOVACÍ_PODLOŽKA				List 8	Listů 9



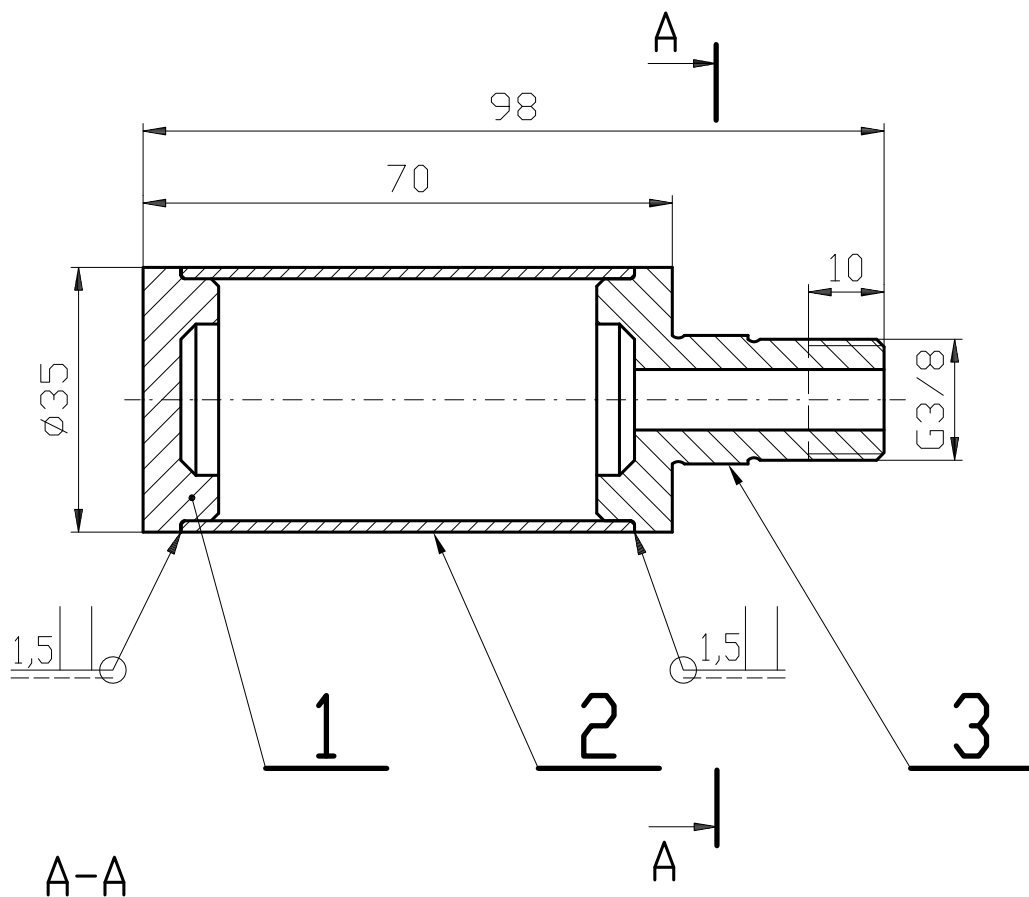
3D POHLED
(M 1:2)



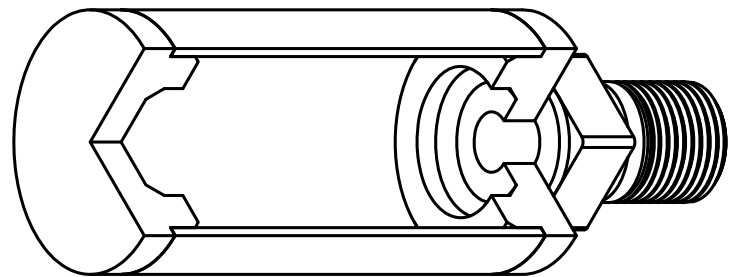
OTVORY \varnothing 5,5 SVRTAT S POD., Č.V. P-002.1-2008_BC



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6060 (AlMgSi0,5)		T.O.		HMOTNOST kg 0,065	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT. PLŮ 80x3-80				ČSN	TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.	Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.			
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL		20.05.2008	STARÝ V.
NÁZEV					Č.V.
DESKA				P-006-2008_BC	
				List 9	Listů 9



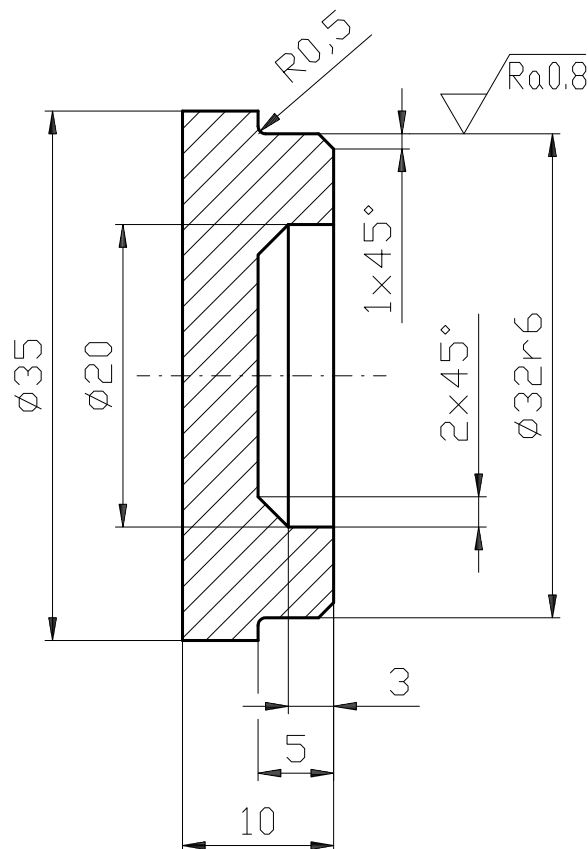
3D POHLED S ČÁSTEČNÝM ŘEZEM



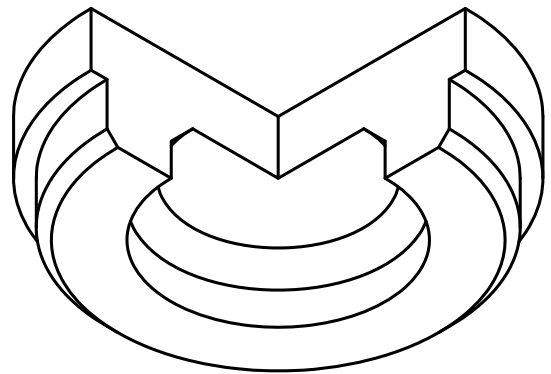
PO SVAŘENÍ PROVÉST TLAKOVOU ZKOUŠKU

č. pol.	Název - rozměr	Čís. výkresu - č. normy Materiál výchozí	Hmotnost(kg)	Množství
	Polotovar		Jednotka	
3	PRAVÉ ČELO	STN-004-2008_BC	0,032 kg	1
2	PLAŠŤ	STN-003-2008_BC	0,026 kg	1
1	LEVÉ ČELO	STN-002-2008_BC	0,020 kg	1

INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE		DF JP
ZN.MAT.			T.O.	HMOTNOST kg	0,078	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT.				ČSN		TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.		Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ	NORM.REF.			STARÝ V.		Č.V.
PŘEZK.						
TECHNOL.	SCHVÁLIL	20.05.2008				
NÁZEV	S.T._NÁDOBA			STN-001-2008_BC		
				List 1		Listů 4



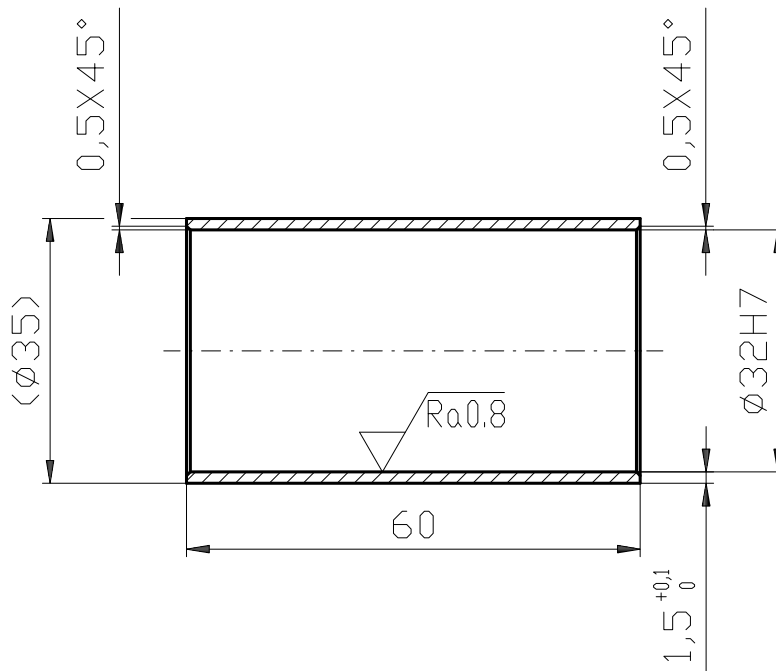
3D POHLED S ČÁSTEČNÝM
ŘEZEM



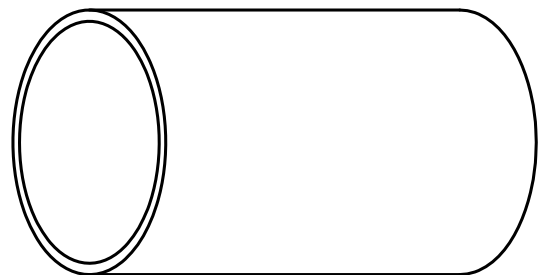
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT NA 1x45°



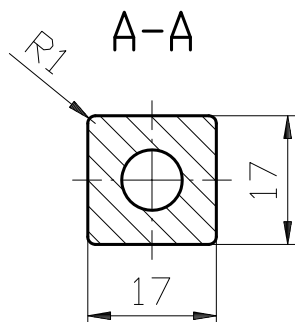
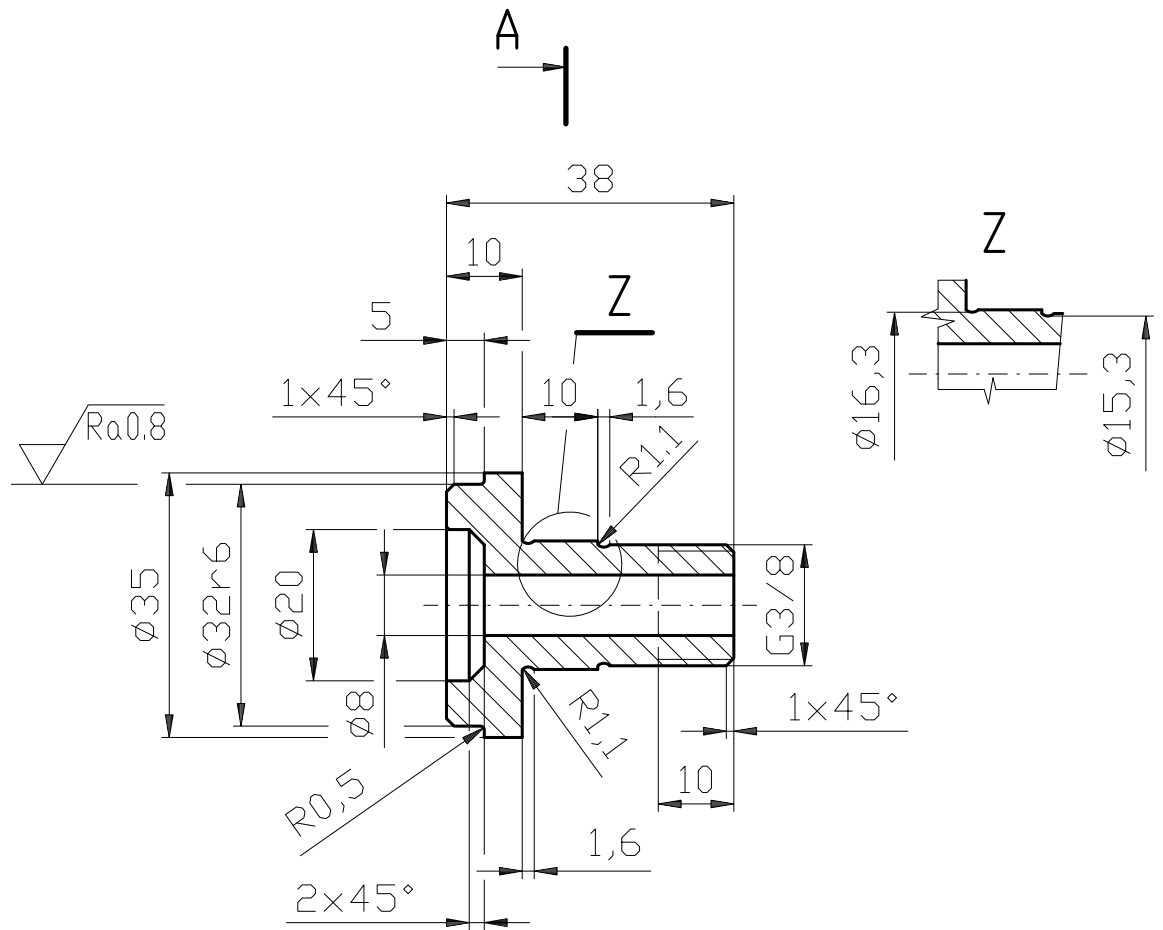
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)			T.O.	HMOTNOST kg 0,020	MĚŘ. M 2:1
ROZM.-POLOT. KR 35-10				ČSN	TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.	Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.			
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL	20.05.2008	STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV LEVÉ_ČELO				STN-002-2008_BC	
				List 2	Listů 4



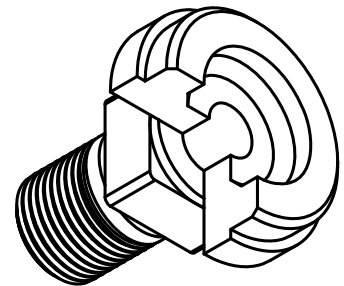
3D POHLED



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE		DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6060 (AlMgSi0,5)			T.O.	HMOTNOST kg	0,026	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT. TR KR 35x1,5-60				ČSN		TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.		Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.				
PŘEZK.						
TECHNOL.		SCHVÁLIL	20.05.2008	STARÝ V.		Č.V.
NÁZEV				STN-003-2008_BC		
PLÁŠŤ				List	3	Listů
				4		



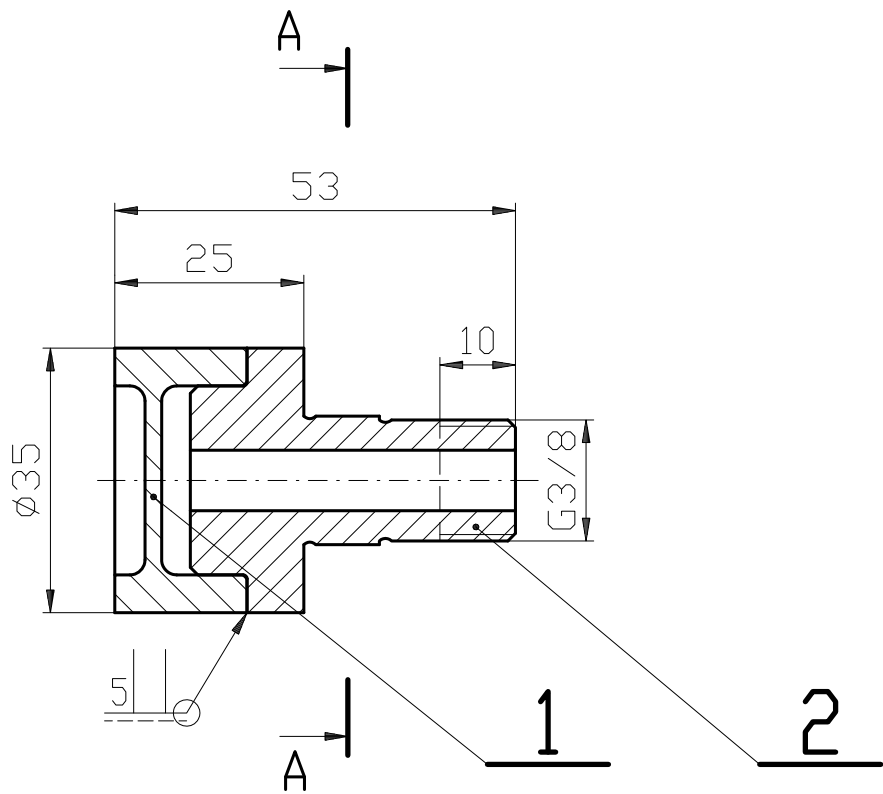
3D POHLED S ČÁSTEČNÝM
ŘEZEM



NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT NA 1x45°

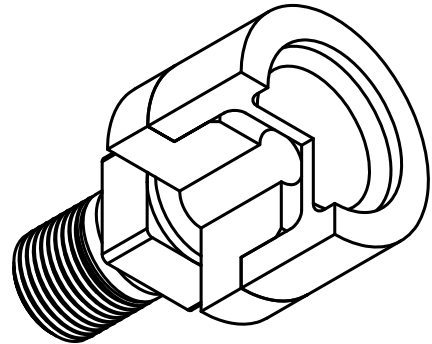
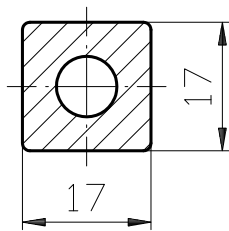


INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)		T.O.		HMOTNOST kg 0,032	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT. KR 35-38				ČSN	TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.	Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.			
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL		20.05.2008	STARÝ V.
NÁZEV					Č.V.
PRAVÉ_ČELO				STN-004-2008_BC	
				List 4	Listů 4



3D POHLED S ČÁSTEČNÝM ŘEZEM

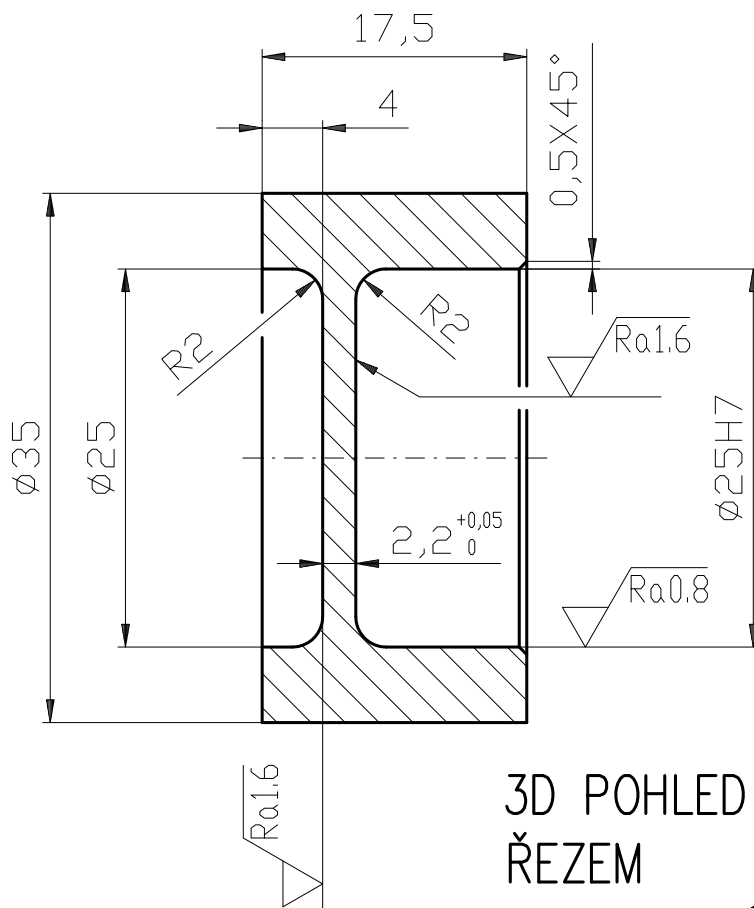
A-A



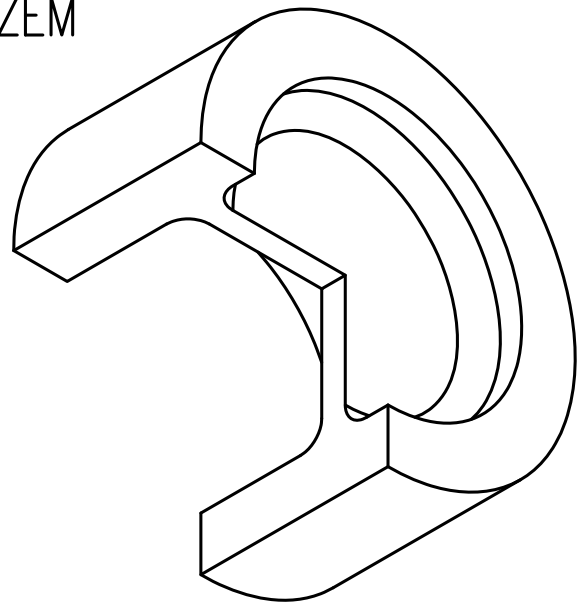
PO SVAŘENÍ PROVÉST TLAKOVOU ZKOUŠKU

č. pol.	Název - rozměr	Čís. výkresu - č. normy	Hmotnost(kg)	Množství
	Polotovar	Materiál výchozí	Jednotka	
2	PRAVÉ ČELO M	STM-003-2008_BC	0,040 kg	1
1	MEMBRÁNA	STM-002-2008_BC	0,026 kg	1

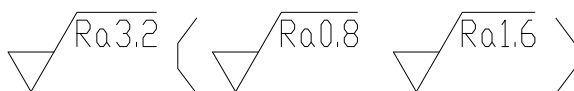
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE		DF JP
ZN.MAT.			T.O.	HMOTNOST kg	0,066	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT.				ČSN		TŘ.Č.
POM. ZAŘ.				POZN.		Č. KUSOVNÍKU
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ	NORM.REF.			STARÝ V.		Č.V.
PŘEZK.						
TECHNOL.	SCHVÁLIL	20.05.2008				
NÁZEV	S.T._MEMBRÁNA			STM-001-2008_BC		
				List 1		Listů 3



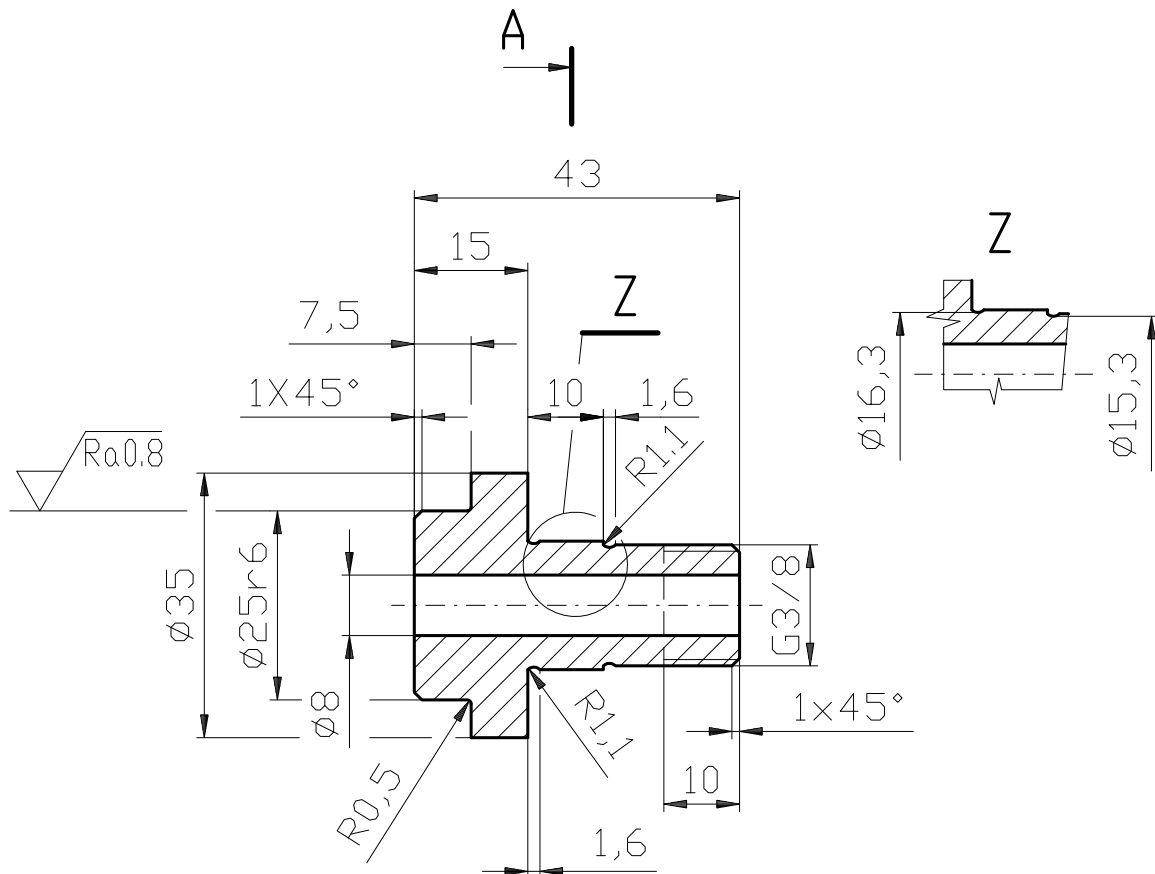
3D POHLED S ČÁSTEČNÝM
ŘEZEM



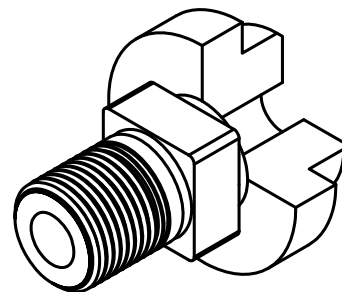
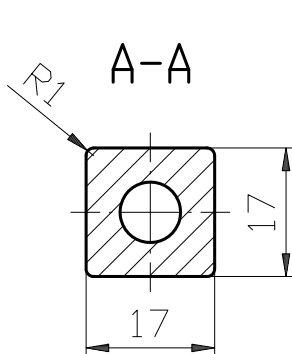
NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT NA 1x45°



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)			T.O.	HMOTNOST kg 0,026	MĚŘ. M 2:1
ROZM.-POLOT. KR 35-17,5				ČSN	TŘ.Č.
POM. ZAŘ.		NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL	20.05.2008	STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV MEMBRÁNA				STM-002-2008_BC	
				List 2	Listů 3



3D POHLED S ČÁSTEČNÝM
ŘEZEM



NEKÓTOVANÉ HRANY SRAZIT NA 1x45°



INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UNIVERZITA PARDUBICE	DF JP
ZN.MAT. EN 573-3 AW 6063 (AlMg0,7Si)			T.O.	HMOTNOST kg 0,040	MĚŘ. M 1:1
ROZM.-POLOT. KR 35-43					
POM. ZAŘ.				ČSN	TŘ.Č.
VYPR. TOMÁŠ POKORNÝ		NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU
PŘEZK.					
TECHNOL.		SCHVÁLIL	20.05.2008	STARÝ V.	Č.V.
NÁZEV PRAVÉ_ČELO_M				STM-003-2008_BC	
				List 3	Listů 3

KNIHOVNA UNIVERZITY PARDUBICE

Autor	Tomáš Pokorný
Název závěrečné práce	Návrh konstrukce pedometru a jeho využití
Obor	Dopravní prostředky (zaměření SV)
Rok obhajoby	2008
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Zikmund, Ph.D.
Název souboru (souborů)	Pokorny_Tomas_Navrh_konstrukce_pedometru_a_jeho_vyuziti_BC08
Označení rozsahu zpřístupnění	Souhlasím se zpřístupněním souboru (souborů) <i>Pokorny_Tomas_Navrh_konstrukce_pedometru_a_jeho_vyuziti_BC08</i> prostřednictvím informačního systému Univerzity Pardubice pro definované skupiny uživatelů
Anotace	Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí snímače ovládací síly působící na pedál, též nazývaným pedometr. Text je rozdělen na tři stěžejní kapitoly. V první kapitole je popsána konstrukce pedometru a možný způsob kalibrace. Další kapitola se věnuje konstrukci dvou snímačů tlaku, kterými by bylo možné provádět odečítání naměřených údajů elektrickou cestou. Poslední část práce se zabývá využitím pedometru a ověřením jeho činnosti během experimentálního měření.
Klíčová slova	pedometr, Ishikawův diagram, FMEA, kalibrace, jednoduchá lineární regrese, snímač tlaku, tenkostěnná válcová nádoba, vetknutá kruhová deska, tenzometr, brzdění, ovládací síla na brzdovém pedálu