

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**KONSTRUKCE OPTICKÉHO MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ ČÁSTIC
VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH SPALOVÁCÍCH MOTORŮ**

**CONSTRUCTION OF OPTICAL MEASURING DEVICE
PARTICLE IN EXHAUST GASES OF COMBUSTION ENGINE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Rudolf Soják

Květen 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor

B2301 Strojírenství

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**KONSTRUKCE OPTICKÉHO MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ ČÁSTIC
VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH SPALOVÁCÍCH MOTORŮ**

**CONSTRUCTION OF OPTICAL MEASURING DEVICE
PARTICLE IN EXHAUST GASES OF COMBUSTION ENGINE**

Bakalářská práce

KVM – BP – 236

Rudolf Soják

Vedoucí diplomové práce: M. S. Michal Vojtíšek, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.

Počet stran: 29

Počet obrázků: 22

Počet příloh: 1

Počet výkresů: 9

Květen 2011

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

KONSTRUKCE OPTICKÉHO MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ ČÁSTIC VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Anotace

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí optického měřicího zařízení částic ve výfukových plynech spalovacích motorů, s využitím rozptylu světla na částicích. Práce obsahuje také rešerši současného stavu měření kouřivosti. V závěru práce je prakticky ověřena ochrana optických komponentů před částicemi, vysokými teplotami a vibracemi.

Klíčová slova: pevné částice, kouřivost, optické zařízení, výfukové plyny, emise

CONSTRUCTION OF OPTICAL MEASURING DEVICE PARTICLE IN EXHAUST GASES OF COMBUSTION ENGINE

Annotation

Bachelor work describes the construction of an optical measuring device of particles in the exhaust gases of combustion engines, using the light scattering on particles. There is also an appreciation of the present state of measuring smoke index. In the conclusion is practically verified the protection of optical components from particles, high temperatures and vibrations.

Key words: particles, smoke, optical device, exhaust gases, emissions

Desetinné třídění: (př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)
Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno: 2011
Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu M. S. Michalu Vojtíškovy, Ph.D. za rady, připomínky a čas, který mé práci věnoval. Také bych rád poděkoval ostatním zainteresovaným za jejich rady. Práce vznikla díky finančnímu příspěvku studentské grantové soutěže 2826/115.

Seznam symbolů a jednotek

Bn	Bosch Nummer	[°BOSCH]
I_z, I_r	dopadající, resp. odražené záření	[W/m ²]
k, α	součinitel absorpce	[m ⁻¹]
T	propustnost světla	[-]
l	dráha	[m]
ϵ	molární absorpce látky	[m ² /mol]
c	koncentrace	[kg/m ³]
σ	absorpční průřez	[m ²]
ρ	hustota látky	[kg/m ³]
m	hmotnost	[kg]
V	objem	[m ³]
v	rychlost	[m/s]
Q_v	objemový průtok	[m ³ /s]
S	plocha	[m ²]
d	průměr	[m]

1 Obsah

1	Obsah.....	8
2	Seznam obrázků	9
3	Úvod.....	10
4	Rešerše současného stavu měření kouřivosti a měření emisí pevných částic vznětových motorů	11
4.1	Měření kouřivosti filtrační metodou.....	11
4.2	Opacimetrie	12
4.2.1	Opacimetr Hartridge.....	13
4.2.2	Opacimetr Bosch	14
4.3	Přímé hmotnostní měření koncentrace částic	14
4.3.1	Gravimetrická metoda.....	15
4.3.2	Metoda ředění spalin	15
4.4	Výňatek z vyhlášky o technických prohlídkách a měření emisí vozidel č. 302/2001 Sb.....	15
5	Konstrukce zařízení.....	17
5.1	Návrh hlavní části – potrubí.....	17
5.1.1	Výpočet proudění.....	18
5.2	Tlumení vibrací.....	22
5.3	Konstrukce upevnění optických prvků	23
5.3.1	Návrh laserové části	23
5.3.2	Návrh absorpční části	24
5.3.3	Návrh fotodiody části	24
6	Časový a finanční rozpočet pro sestavení prototypu navrženého zařízení	25
6.1	Časový plán.....	25
6.2	Finanční rozpočet.....	25
7	Závěr	26
8	Seznam použité literatury	29

2 Seznam obrázků

Obr. 1 Filtrační kouřoměr Bosch.....	11
Obr. 2 Schéma Beer-Lambertova zákona	12
Obr. 3 Schéma opacimetru Hartridge.....	13
Obr. 4 Schéma opacimetru Bosch.....	14
Obr. 5 Schéma hlavní části.....	17
Obr. 6 Výpočtová geometrie	18
Obr. 7 Rychlost proudění při objemovém průtoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$	19
Obr. 8 Vektory rychlosti proudění při objemovém průtoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$	19
Obr. 9 Turbulentní kinetická energie při objemovém průtoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$	20
Obr. 10 Rychlost proudění při objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3/\text{h}$	20
Obr. 11 Vektory rychlosti proudění při objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3/\text{h}$	21
Obr. 12 Turbulentní kinetická energie při objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3/\text{h}$	21
Obr. 13 Vlnovec výfuku	22
Obr. 14 Zástavba vlnovce.....	22
Obr. 15 Řez laserové části	23
Obr. 16 Řez absorpční části	24
Obr. 17 Řez fotodiodové části	24
Obr. 18 Zástavba zařízení v laboratoři	26
Obr. 19 Pohled na upevnění optických komponent	26
Obr. 20 Čistá skla.....	27
Obr. 21 Sklo po 10 minutovém provozu motoru při nízkém zatížení	27
Obr. 22 Sklo po 10 minutovém provozu motoru při plném zatížení	27

3 Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh konstrukce optického měřicího zařízení částic ve výfukových plynech spalovacích motorů. Zařízení pracuje na principu rozptylu světla, které vznikne odrazem paprsku laserového zdroje od částic ve výfukových plynech. Při návrhu musí být brán zřetel na ochranu optických komponentů před vysokými teplotami, částicemi ve výfukových plynech a vibracemi.

Dále je třeba připravit časový a finanční rozpočet pro sestrojení zařízení. V případě odsouhlasení rozpočtu sestrojít navržené zařízení nebo zajistit jeho výrobu a následně ověřit jeho funkčnost v laboratoři spalovacích motorů.

Nakonec je třeba zhotovit výkresovou dokumentaci zařízení.

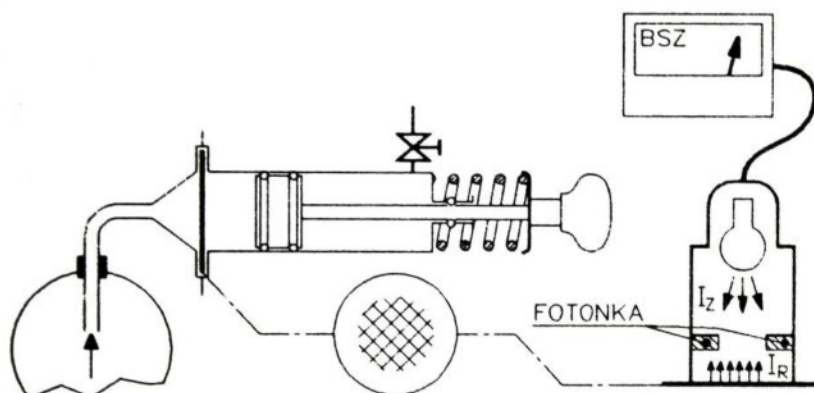
4 Rešerše současného stavu měření kouřivosti a měření emisí pevných částic vznětových motorů

Kouření vznětových motorů se stalo jedním z prvních všeobecně sledovaných jevů, které působí negativně na své okolí, protože je pozorovatelné i bez měřících přístrojů. Proto se vyvinuly metodiky na měření kouřivosti vznětových motorů.

4.1 Měření kouřivosti filtrační metodou

Jedna z prvních metod, která spočívá v zachycení částic na filtrační papírek, přes nějž se prosaje vzorek výfukových plynů definovaného objemu a definovanou rychlostí. Kouřivost stanovená filtrační metodou se vyhodnocuje opticky, srovnáním pohltivosti světla kontaminovaného papírku a čistého papírku. Její nevýhodou je nemožnost vztážením naměřených hodnot k výkonovým charakteristikám motoru.

Na obrázku č. 1 je uveden kouřoměr Bosch.



Obr. 1 Filtrační kouřoměr Bosch

Před odběrem vzorku se manuálně posune píst vlevo a zajistí se. Do příslušné mezery se vloží čistý filtrační papírek a nátrubek sondy se umístí do výfukového potrubí. Odblokováním pružiny se nasaje vzorek spalin do sondy. Rychlost pístu je dána škrcením odtoku vzduchu z pístu. Kontaminovaný papírek se vyhodnotí reflektivním fotometrem, který je citlivý na množství světla odraženého od vrstvy sazí pevných částic usazených na papírku. Výsledek je dán stupněm zčernání nebo **Bn** = Bosch Nummer v jednotkách °BOSCH

$$Bn = 10 \left(1 - \frac{I_z}{I_r} \right) \quad (1)$$

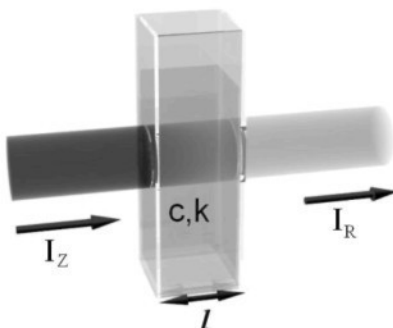
I_z, I_r Dopadající a odražené záření

Vliv odrazivosti podložky se eliminuje 5 vrstvami čistých papírků, stejným způsobem se nastavuje na stupnici nula. V modernějších provedeních kouřoměr pracuje s kontinuálním páskem papíru, pumpou a přívodní hadicí trvale připojenou k výfukovému potrubí.

4.2 Opacimetrie

Princip opacimetrie je založen na pohlcování světla v komoře naplněné plynem. Je-li v komoře čistý vzduch, světlo není pohlceno a hodnota opacity je 0% naopak, je-li vše pohlceno, je hodnota opacity 100%. Hodnota opacity se přepočítá na součinitel absorpce k .

Tento princip vychází z Beer-Lambertova absorpčního zákona týkajícího se absorpce světla v závislosti na vlastnostech materiálu, přes který světlo prostupuje. Zákon stanovuje logaritmickou závislost mezi propustností světla T skrz látku, absorpčním koeficientem látky k a dráhou světelného paprsku procházejícího materiálem l . Koeficient absorpce je součinem buď molární absorpce látky ϵ a koncentrace c v případě kapalin, nebo součinem absorpčního průřezu σ , a hustotou ρ látky.



Obr. 2 Schéma Beer-Lambertova zákona

Pro kapaliny, jsou tyto vztahy obvykle psány jako:

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-kl} = 10^{-\epsilon lc} \quad (2)$$

Pro plyny, zejména mezi fyziky a pro spektroskopii a spektrofotometrii, jsou normálně psány:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-k'l} = e^{-\sigma l \rho} \quad (3)$$

kde I_Z a I_R jsou intenzity dopadajícího a propouštěného světla. Rozdíl mezi použitím základu 10 a základu e je čistě smluvní, vyžadující násobnou konstantu pro převod mezi nimi, $k' = k \cdot \ln(10) \approx 2,303k$. [2]

Propustnost **T** je definována vztahy absorpce **A**, pro kapaliny je definována jako:

$$A = -\log \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

pro plyny, to je obvykle definována jako:

$$A' = -\ln \frac{I}{I_0} \quad (5)$$

To znamená, že se absorpce stává lineární s koncentrací podle:

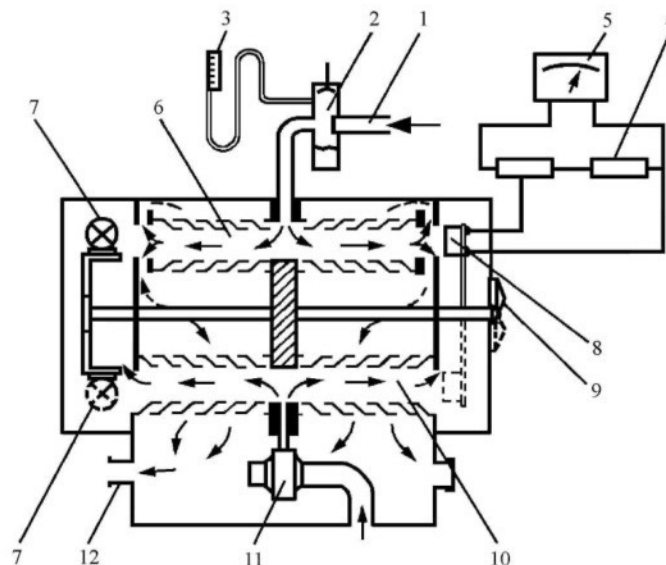
$$A = \epsilon lc = kl \quad (6)$$

a

$$A' = \sigma l\rho = k'l \quad (7)$$

4.2.1 Opacimetr Hartridge

V laboratorní třídě je nepsaným standardem opacimetr Hartridge.



Obr. 3 Schéma opacimetru Hartridge

1 - přívod výfukových plynů, 2 - kondenzační prostor, 3 - U-manometr,
 4 - potenciometr, 5 - stupnice kouřivosti, 6 - komora spalin, 7 - zdroj světla,
 8 - fotobuňka, 9 - přepínač poloh (nastavení nuly nebo měření), 10 - komora s čistým
 vzduchem, 11 - dmychadlo čistého vzduchu, 12 - výpustný otvor.

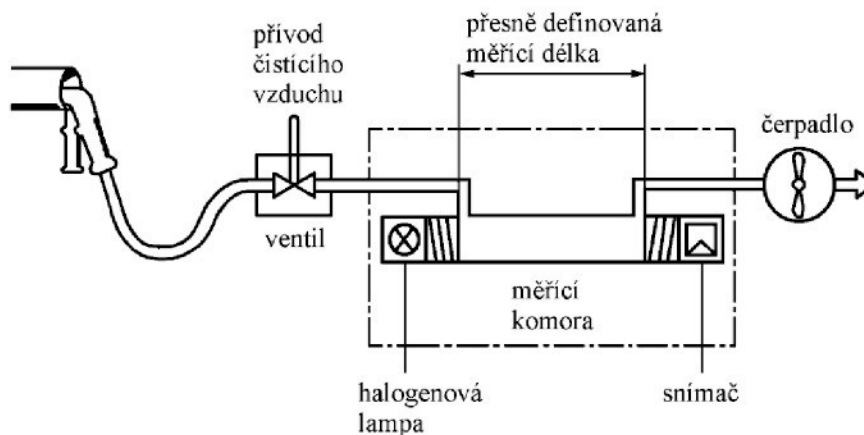
Při provozu přístroje je optická dráha v ose se vzduchovou trubicí a přívod spalin je uzavřen. Při vlastním měření se pak optická dráha překlápí do osy měřicí trubice, do které se současně vpouští vzorek spalin. Po odečtení hodnoty se držák s halogenovou žárovkou a fotonkou překlápí do polohy, kde je omýván proudem

čistého vzduchu. To udržuje povrch rozhodujících prvků bez úsad, které by bránily správné funkci přístroje. Při měření je předepsaná teplota spalin v měřicí trubici. Ta se kontroluje zabudovaným dilatačním teploměrem. Světlost přívodu spalin musí být 24 mm. Stupnice přístroje je v jednotkách HSU (Hartridge smoke unit) Z tohoto údaje se vypočítá absorpční koeficient **k**, podle vztahu:

$$k = -\frac{1}{L} \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (8)$$

L – délka optické dráhy, **N** – údaj opacimetru v HSU

4.2.2 Opacimetr Bosch



Obr. 4 Schéma opacimetru Bosch

V [3] je uvedeno: „Moderním zařízením pro měření kouřivosti vznětových motorů metodou volné akcelerace, založeném rovněž na měření optické hustoty výfukových plynů, tj. na poklesu intenzity vyzařovaného světla v měřicí komoře zaplněné výfukovými plyny, obsahujícími pevné částice, jsou přístroje firmy Bosch (RTT 100/110). Světlo, vyzařované halogenovou lampou, je vedeno přes optické čočky a křemenná skla k měřicí komoře. Po prosvícení sloupce výfukových plynů dopadne vyzařované světlo na fotoelektrický snímač. Sloupec výfukových plynů absorbuje a rozptyluje část vyzařovaného světla.”

4.3 Přímé hmotnostní měření koncentrace částic

Další možností jak měřit koncentraci částic je přímé hmotnostní měření. Nejčastější je Gravimetrická metoda nebo metoda ředění spalin.

4.3.1 Gravimetrická metoda

Princip této metody je v použití filtračního elementu ze skelných vláken potažených teflonem. Hmotnost elementu se určí na laboratorních vahách. Následně filtr umístíme do přístroje a pumpou přivádíme vzorek spalin. Poté filtr opět zvážíme a určíme hmotnostní koncentraci částic podle vzorce:

$$c_{M,PE} = \frac{M_2 - M_1}{V_{vzor}} \quad (9)$$

M_1, M_2 hmotnost nového, resp. kontaminovaného elementu

V_{vzor} celkový objem přivedeného vzorku spalin

4.3.2 Metoda ředění spalin

Aby se napodobily podmínky míšení výfukových plynů s okolním vzduchem za ústím výfukového traktu, ředí se výfukové plyny vzduchem. Dochází tím ke kondenzaci různých frakcí uhlovodíků a jejich ulpívání na sazích. Měření probíhá pomocí průtokového tunelu, který existuje v mnoha provedeních. Ovšem uspořádání tunelu je dáno předpisem Úřadu pro ochranu prostředí USA (EPA).

4.4 Výňatek z vyhlášky o technických prohlídkách a měření emisí vozidel č. 302/2001 Sb.

V [4] je uvedeno: „Parametrem, popisujícím emisní chování vznětového motoru v provozu je kouřivost motoru vyjádřená součinitelem absorpce světla (optickou hustotou - opacitou) výfukového plynu "k" (m^{-1}), zjišťovanou metodou volné akcelerace. Součinitel k je aritmetickým průměrem hodnot součinitelů absorpce změřených při čtyřech za sebou jdoucích akceleracích, které splnily podmínku, že rozpětí (pásmo) jejich hodnot není větší než $0,25m^{-1}$.

Pro traktory, vyrobené do konce roku 1980, se připouští toto rozpětí $0,5m^{-1}$.

Kouřivost motoru, vyjádřená součinitelem absorpce k, nesmí překročit:

a) u vozidel vyrobených do 31. 12. 1980 hodnotu $4m^{-1}$,

b) u vozidel vyrobených po 1. 1. 1981 hodnotu součinitele absorpce X_p , vypočtenou jako součet hodnoty korigovaného součinitele absorpce X_L , stanoveného pro kontrolovaný typ vozidla při jeho homologační zkoušce, a hodnoty $0,5 m^{-1}$

$$X_p = X_L + 0,5$$

k \leq X_p

Poznámka: Hodnota korigovaného součinitele absorpce X_L (m^{-1}) je uváděna na štítku vozidla, v dílenské dokumentaci k vozidlu a v technickém průkazu vozidla.

c) u vozidel, u kterých korigovaný součinitel absorpce nebyl stanoven podle bodu b), určí hodnotu dovolené kouřivosti X_p pověřená homologační zkušebna.

Přístroj pro měření kouřivosti vznětových motorů:

Přístroj musí umožňovat měření optické hustoty (opacity) výfukového plynu vznětového motoru metodou volné akcelerace, definované předpisem EHK č. 24, jednotná ustanovení pro homologaci vznětových motorů. Opacitu musí přístroj indikovat v absolutních jednotkách (m^{-1}), volitelně v procentech (%) nebo jednotkách HSU.

Kromě opacity, vyjádřené součinitelem absorpce, musí přístroj měřit otáčky motoru, dobu akcelerace motoru a teplotu motoru.

Přístroje pro měření kouřivosti vznětových motorů musí být schváleného typu.

Schválené opacimetry:

- MAHA MDO 2 (MAHA Consulting s.r.o.)
- DO 285 (AVL Company)
- DO 284 (AVL Company)
- SMOKE ANALYSER MODULE AT 601L (ATAL s.r.o.)
- AVL DiSmoke 4000 (AVL DiTEST Fahrzeugdiagnose GmbH)

5 Konstrukce zařízení

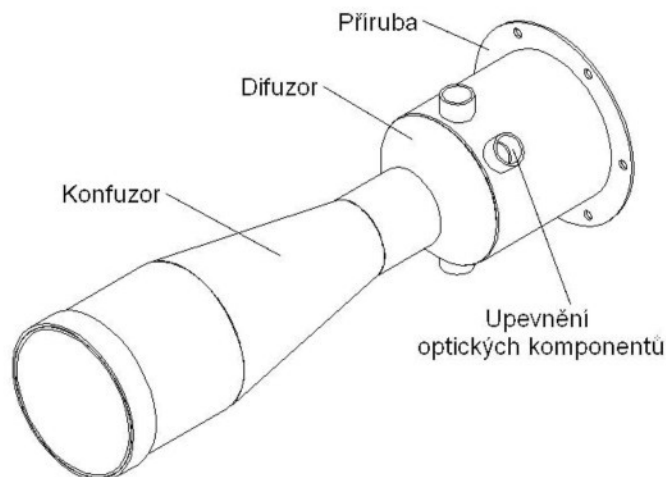
Zařízení bude sloužit v laboratoři katedry vozidel a motorů k měření obsahu pevných částic ve výfukových plynech vznětových motorů. Jeho princip je podobný klasickým opacimetrům. Zásadní odlišnost je v měření rozptylem světla na částicích, kdežto u klasických opacimetrů se měří pohlcení světla.

Hlavní konstrukční požadavky na návrh zařízení jsou tepelná odolnost okolo 500°C, útlum vibrací od motoru, ochrana optických komponentů před částicemi obsaženými ve výfukových plynech. Další požadavky jsou možnost kontinuálního měření, kvůli minimalizaci ztrát částic, v důsledku ulpívání částic na stěnách potrubí.

Výkresy všech vyráběných dílů jsou v příloze. Všechny vyráběné díly jsou z nerez oceli, kromě absorbéru, ten je plastový.

5.1 Návrh hlavní části – potrubí

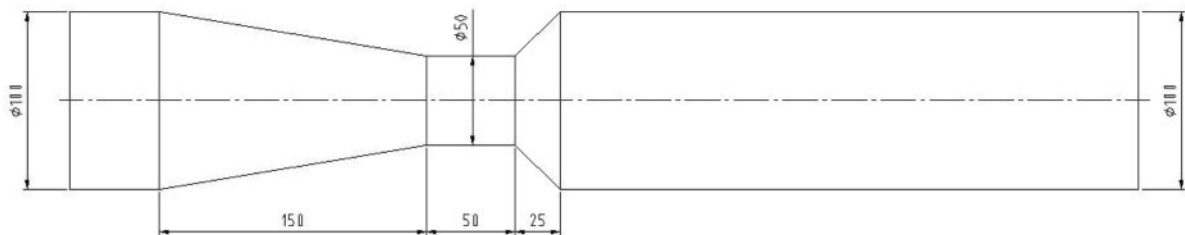
Z požadavku na kontinuální měření byla zvolena zástavba přístroje přímo do výfukového traktu v laboratoři KVM. Ten je tvořen potrubím o vnějším průměru 104 mm a tloušťce stěny 2 mm. Část potrubí bude nahrazena měřicím přístrojem, který se upevní pomocí přírub. Geometrie toho potrubního úseku je zvolena s ohledem na potřebu chránit optické komponenty před pevnými částicemi obsaženými ve výfukových plynech. Proto byl vybrán difuzor, u něhož dochází při dostatečně velkém rozšíření k odtržení proudu látky od stěny difuzoru. V tomto místě je nulová rychlost proudění a vzniká podtlak. Jelikož vstup do difuzoru má menší průměr než výstup, je před něj umístěn konfuzor, aby byla možná zástavba do výfukového traktu. Na obrázku č. 5 je znázorněno schéma této celé části.



Obr. 5 Schéma hlavní části

5.1.1 Výpočet proudění

Pro ověření správně navrženého rozšíření difuzoru, aby docházelo k odtržení proudu tekutiny, je třeba namodelovat proudění v této části potrubí. Znamé hodnoty jsou: průřez potrubí (na vstupu a výstupu 100 mm, mezi difuzorem a konfuzorem 50 mm), objemový průtok (volnoběh: 80 m³/h při 100°C, max. výkon: 500m³/h při 500°C). Na obrázku č. 6 je výpočtová geometrie potrubí.



Obr. 6 Výpočtová geometrie

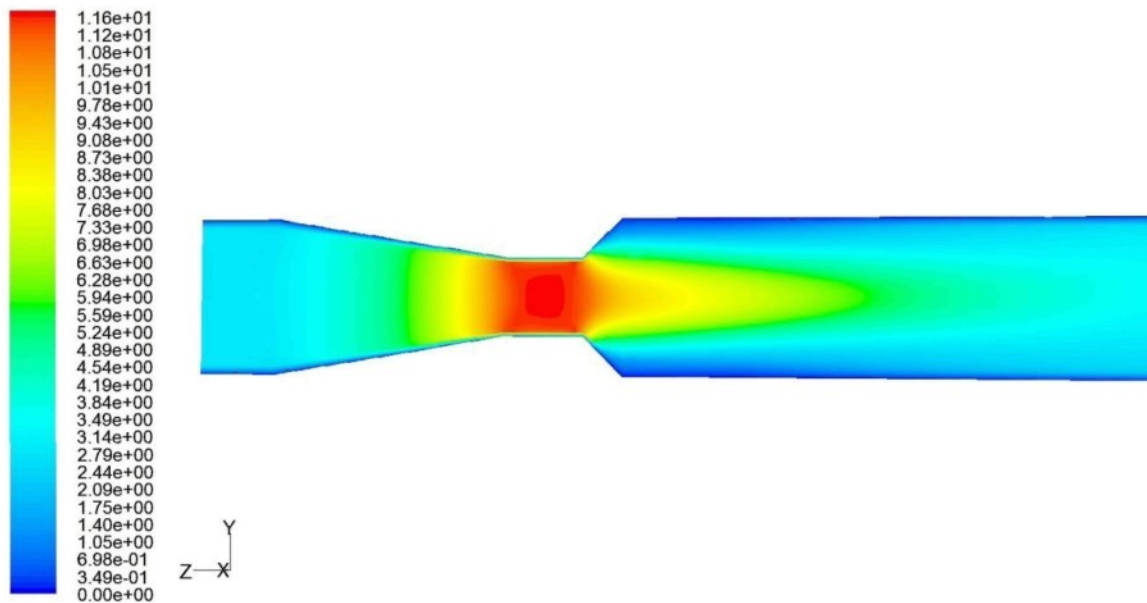
Simulace proudění byla vytvořena v softwaru Fluent ver. 6.3.26, nejprve však bylo nutné vytvořit 3D model v softwaru Inventor a uložit ho do formátu .step. Následně byl v softwaru Gambit ver. 2.3.16 definován objem, vytvořena 3D výpočtová síť s velikostí elementu 2 mm a celkovým počtem elementů 130000, jako látka nastaven vzduch, nakonec export do formátu .msh. Ve Fluentu znovu definován objem jako vzduch, nastavena vstupní rychlost (výpočet z objemového průtoku viz níže), přesnost iterací 0,0001, počet iterací 1000, viskozita k-epsilon. Spustí se výpočet a po něm se definuje rovina řezu, v ní se zobrazuje rychlost, vektory rychlosti a turbulentní kinetická energie.

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{4\dot{V}}{\pi \cdot d} = \frac{4 \cdot 80}{\pi \cdot 0,1 \cdot 3600} = 0,28 m \cdot s^{-1}$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{4\dot{V}}{\pi \cdot d} = \frac{4 \cdot 1300}{\pi \cdot 0,1 \cdot 3600} = 4,6 m \cdot s^{-1}$$

v_1, v_2 rychlost proudění při volnoběhu, resp. při plném výkonu

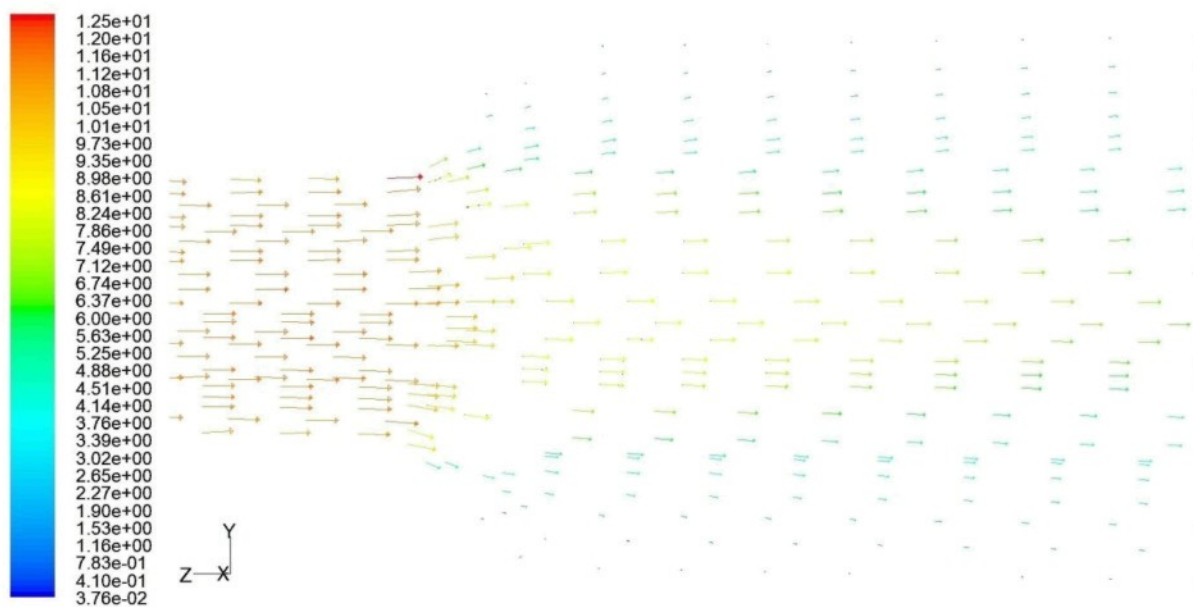
Na následujících obrázcích jsou nasimulované výpočty pro rychlost při volnoběžných otáčkách a při maximálním výkonu



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Apr 02, 2011
FLUENT 6.3 (3d, pbns, ske)

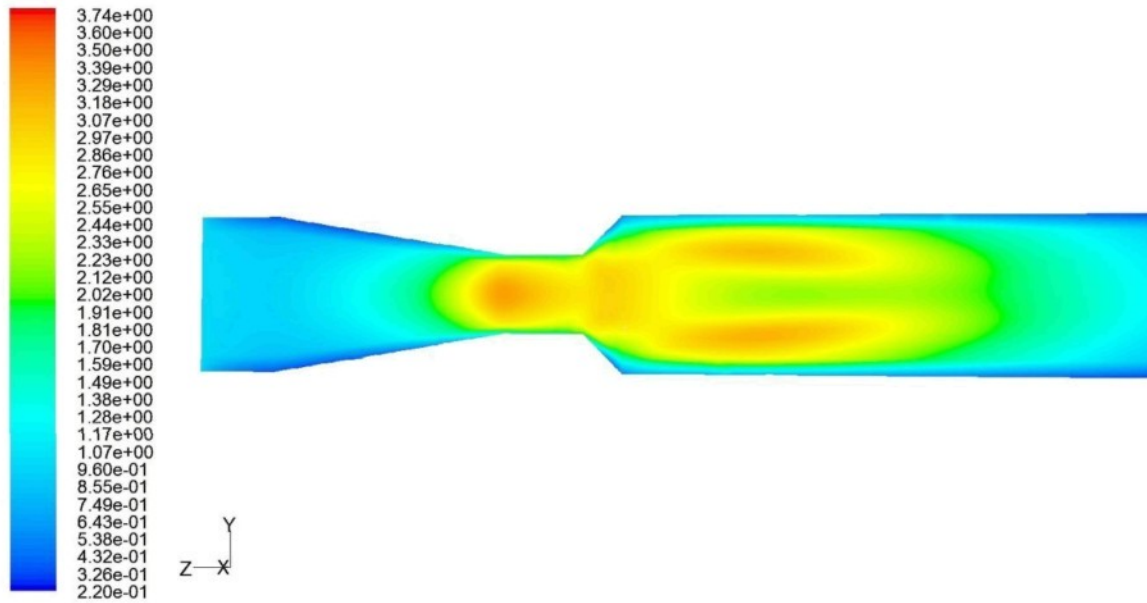
Obr. 7 Rychlost proudění při objemovém průtoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Apr 02, 2011
FLUENT 6.3 (3d, pbns, ske)

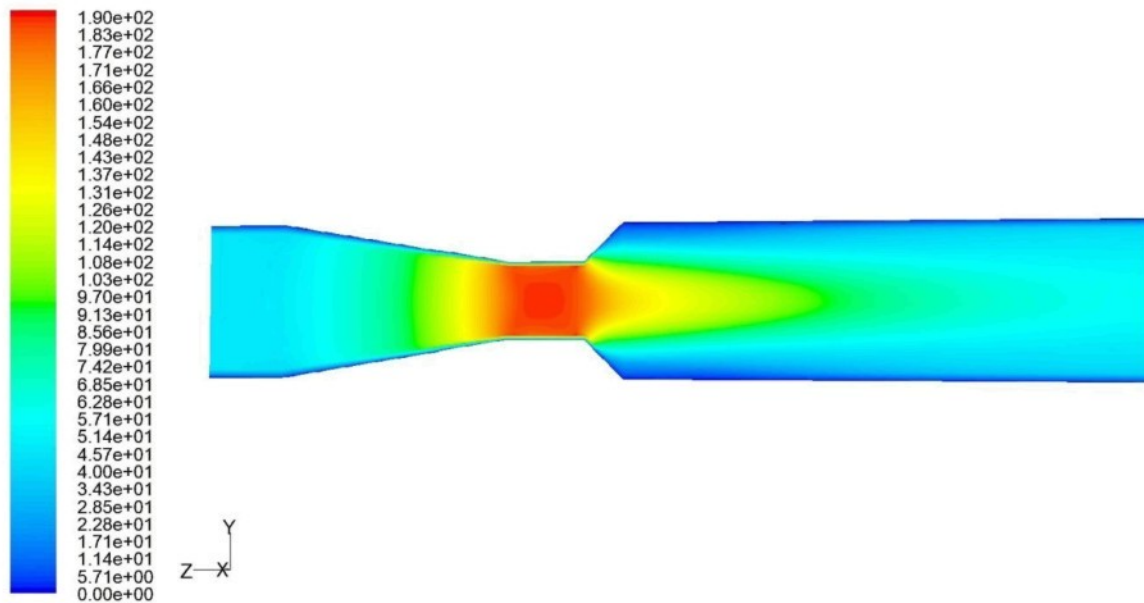
Obr. 8 Vektory rychlosti proudění při objemovém průtoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$



Contours of Turbulent Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Apr 02, 2011
FLUENT 6.3 (3d, pbns, ske)

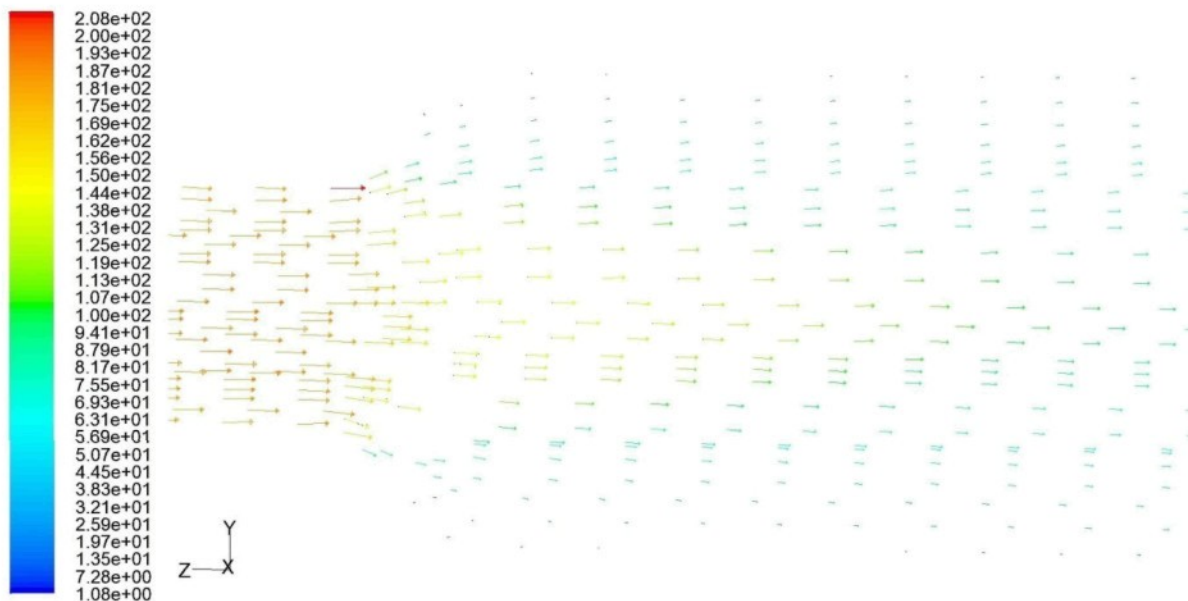
Obr. 9 Turbulentní kinetická energie při objemovém průtoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Apr 02, 2011
FLUENT 6.3 (3d, pbns, ske)

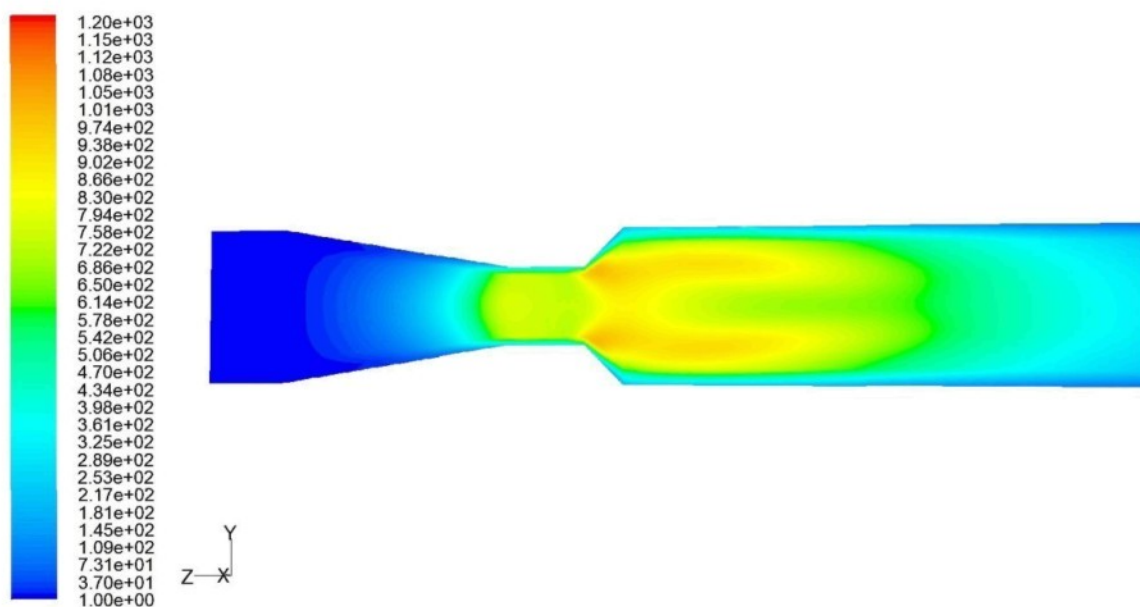
Obr. 10 Rychlost proudění při objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3/\text{h}$



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Apr 02, 2011
FLUENT 6.3 (3d, pbns, ske)

Obr. 11 Vektory rychlosti prodění při objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3/\text{h}$



Contours of Turbulent Kinetic Energy (k) (m2/s2)

Apr 02, 2011
FLUENT 6.3 (3d, pbns, ske)

Obr. 12 Turbulentní kinetická energie při objemovém průtoku $1300 \text{ m}^3/\text{h}$

Z obrázků je zřejmé, že rychlost za výstupem z difuzoru se u stěny potrubí blíží nule. Tudíž by v tomto místě mělo dojít k odtržení proudu látky a skla chránící optické prvky by měla zůstat čistá.

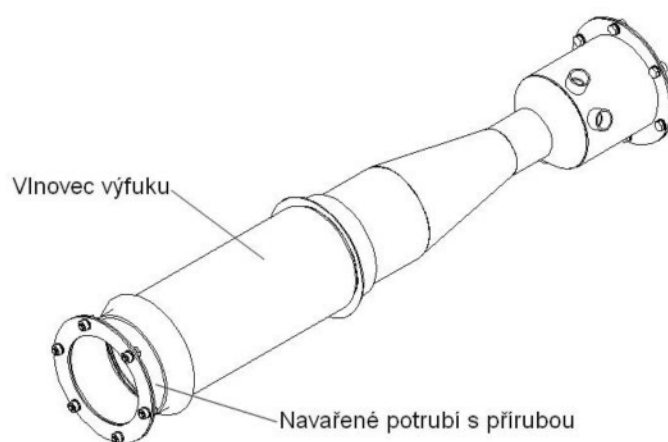
5.2 Tlumení vibrací

Pro tlumení vibrací šířících se od spalovacího motoru byl vybrán vlnovec výfuku, obr. 13.



Obr. 13 Vlnovec výfuku

Lze ho nalézt ve většině vozidel, ve kterých slouží k tomu, aby se z motoru nepřenášely vibrace na výfukové potrubí. Díky vlnovci se prodlužuje životnost výfukového systému. Součástí jeho předního dílu bývá většinou katalyzátor. Lze ho koupit ve většině obchodů s náhradními autodíly. Montáž vlnovce se provádí zasunutím potrubí dovnitř pružného dílu o min. 10 mm. Poté se svaří tak, aby trubka byla spojena svarem s vnějším i vnitřním límcem. Ještě je nutné dát pozor na orientaci vlnovce, bývá na něm vyražena šipka, značící směr proudění plynů. Pokud by byl navařen opačně, mohlo by docházet k nepříjemným zvukům. Standardně vyráběný průměr vlnovce je 108 mm, délka 300 mm. Na přední část vlnovce se navaří potrubí Ø108x4, na které je navařena příruba. Na zadní část je navařena hlavní část přístroje. Schéma zástavby vlnovce je na obrázku 14.



Obr. 14 Zástavba vlnovce

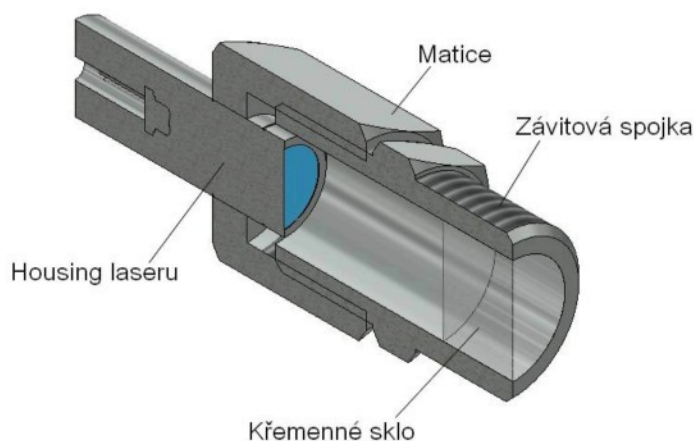
5.3 Konstrukce upevnění optických prvků

Optická soustava přístroje se skládá z laserového zdroje světla, absorberu laserového paprsku a kvalitní přesné fotodiody. Všechny tyto prvky jsou umístěny v jedné rovině, tak že absorber je naproti laserovému zdroji a fotodioda je umístěna pod úhlem 45° nad absorberem. Místo kde jsou optické prvky upevněny, je na obrázku č. 5.

Pro upevnění křemenných skel do závitových spojek je použito lepidlo RETOL 93, které má tepelnou odolnost až 400°C. Ale jelikož nejsou tyto spoje nijak namáhány, snese i teploty vyšší.

5.3.1 Návrh laserové části

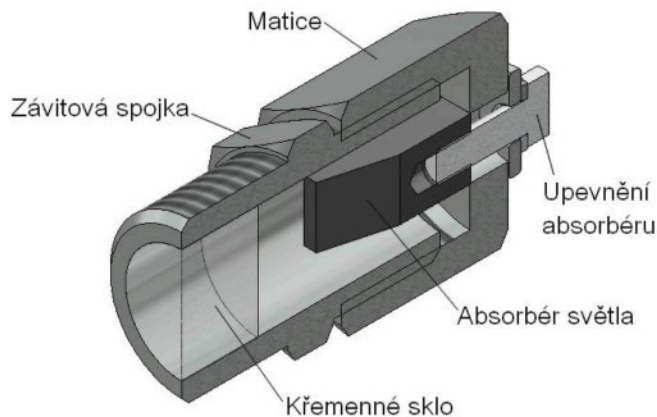
Tato část (obr. 18) se skládá ze závitové spojky, která je našroubována na potrubí přístroje. Na jednom jejím konci (část s delším závitem) je vlepeno křemenné sklo o průměru 15 mm a výšce 10 mm. Křemenné sklo bylo zvoleno z důvodu výborné tepelné odolnosti a také pro jeho propustnost širšího spektra záření. Na spojce je našroubována matice, ve které je nalepen housing pro laser. Jeho rozměry jsou Ø12-30. Součástí housingu je kolimační čočka, která sloučí světlo laseru do souvislého paprsku. Bez ní by laser svítil podobně jako dioda. Zdrojem světla je laserová dioda s vlnovou délkou 405nm, maximálním výkonem 200mW a pouzdrem typu TO-18. Její datasheet je v příloze.



Obr. 15 Řez laserové části

5.3.2 Návrh absorpční části

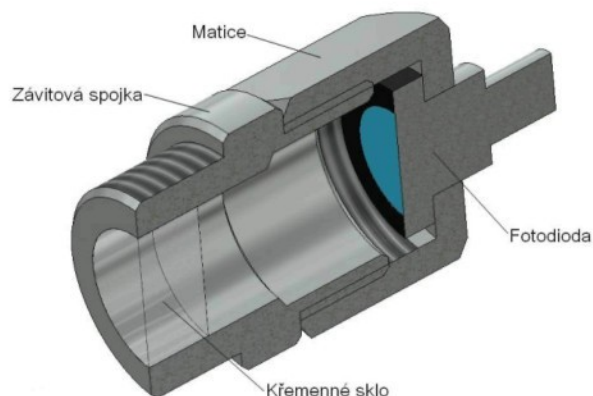
Absorpční část (obr. 19) má stejnou závitovou spojku a křemenné sklo jako předchozí část. Matice je podobná, ale má větší otvor, to proto, aby bylo možné nastavit absorber záření do správné polohy, tak aby došlo postupnými odrazy záření k jeho pohlcení. Pohlcující část absorberu má tvar dvou zrcadlových oblouků spojujících se tečně na konci do jediného bodu.



Obr. 16 Řez absorpční části

5.3.3 Návrh fotodiodové části

Závitová spojka je zde o něco větší, kvůli použité diodě. Vnitřní zúžení je zde kvůli sklu, které se vyrábí o průměru 22 mm. Tloušťka skla je také 10mm. Použita byla fotodioda Hamamatsu S2281-01[5]. Má dobrou citlivost i na záření o vlnové délce 405nm, přibližně 0,18 A/W. Její výhodou je vysoká citlivost, spolehlivost a také BNC konektor, jenž je její součástí. Fotodioda je přilepena do matice, její největší průměr je 25mm. Její datasheet je v příloze.



Obr. 17 Řez fotodiodové části

6 Časový a finanční rozpočet pro sestrojení prototypu navrženého zařízení

6.1 Časový plán

Březen 2011:

- Vypracování rešeršní části BP

Duben 2011:

- Navržení konstrukce optického měřicího zařízení
- Vytvoření finančního rozpočtu
- Předložení rozpočtu ke schválení

Květen 2011:

- Schválení rozpočtu
- Objednání všech součástí podle výkresové dokumentace
- Sestrojení prototypu
- Ověření funkčnosti ochrany optických komponentů
- Vypracování závěru BP

6.2 Finanční rozpočet

Díl	Dodavatel/ WWW	Dodací lhůta	Cena v Kč s DPH
Svařence, trubky, příruby - nerez	Nerrox s.r.o.	2-3 týdny	1200
Vlnovec 108-300	www.auto-doplňky.com	5 prac. dnů	1300
Spojovací materiál	-	-	300
Fotodioda Hamamatsu S2281-01	LAO - průmyslové systémy, s.r.o.	4 týdny	7200
Laserová dioda	-	-	700
Housing diody d12x30	-	2-3 týdny	300
Elektronika - buzení	-	2-3 týdny	200
Ostatní elektro materiál	-	-	500
Součásti z křemenného skla	www.petraturnov.eu	2-3 týdny	2000
Lepidlo RETOL 93	www.movychem.cz	5 prac. dnů	650
Celkem			14350

7 Závěr

Jelikož byl finanční rozpočet schválen, zařízení bylo vyrobeno a nainstalováno do laboratoře jak je vidět na obrázcích č. 18 a 19.



Obr. 18 Zástavba zařízení v laboratoři



Obr. 19 Pohled na upevnění optických komponent

Po montáži byla na zařízení odzkoušena funkčnost ochrany křemenných skel před usazováním sazí. Na následujících obrázcích je porovnání čistého skla, skla s jemným filmem nečistot po 10 minutách provozu motoru při nízkém zatížení a skla silně znečištěného sazemi při plném zatížení motoru po 10 minutách.



Obr. 20 Čistá skla



Obr. 21 Sklo po 10 minutovém provozu motoru při nízkém zatížení



Obr. 22 Sklo po 10 minutovém provozu motoru při plném zatížení

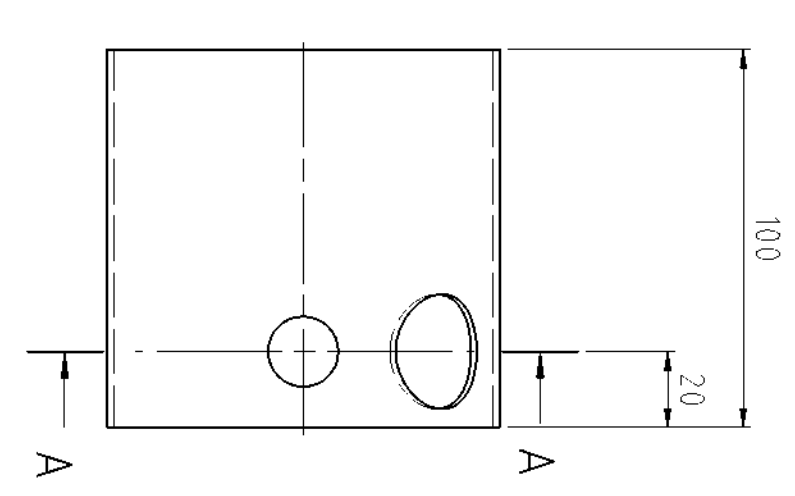
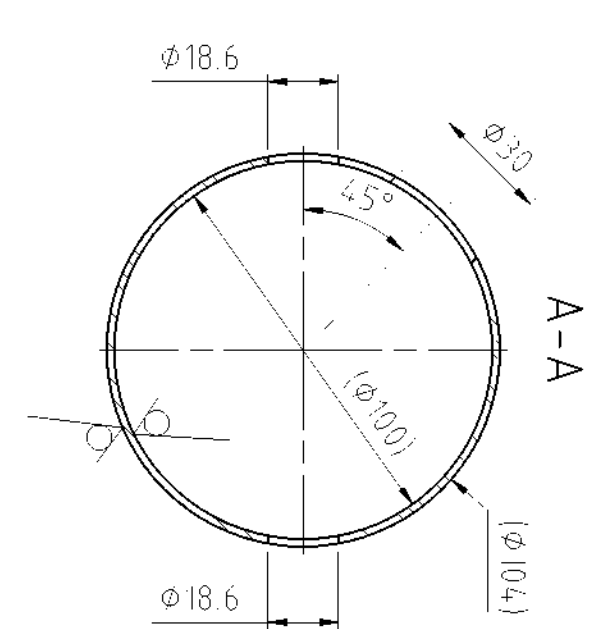
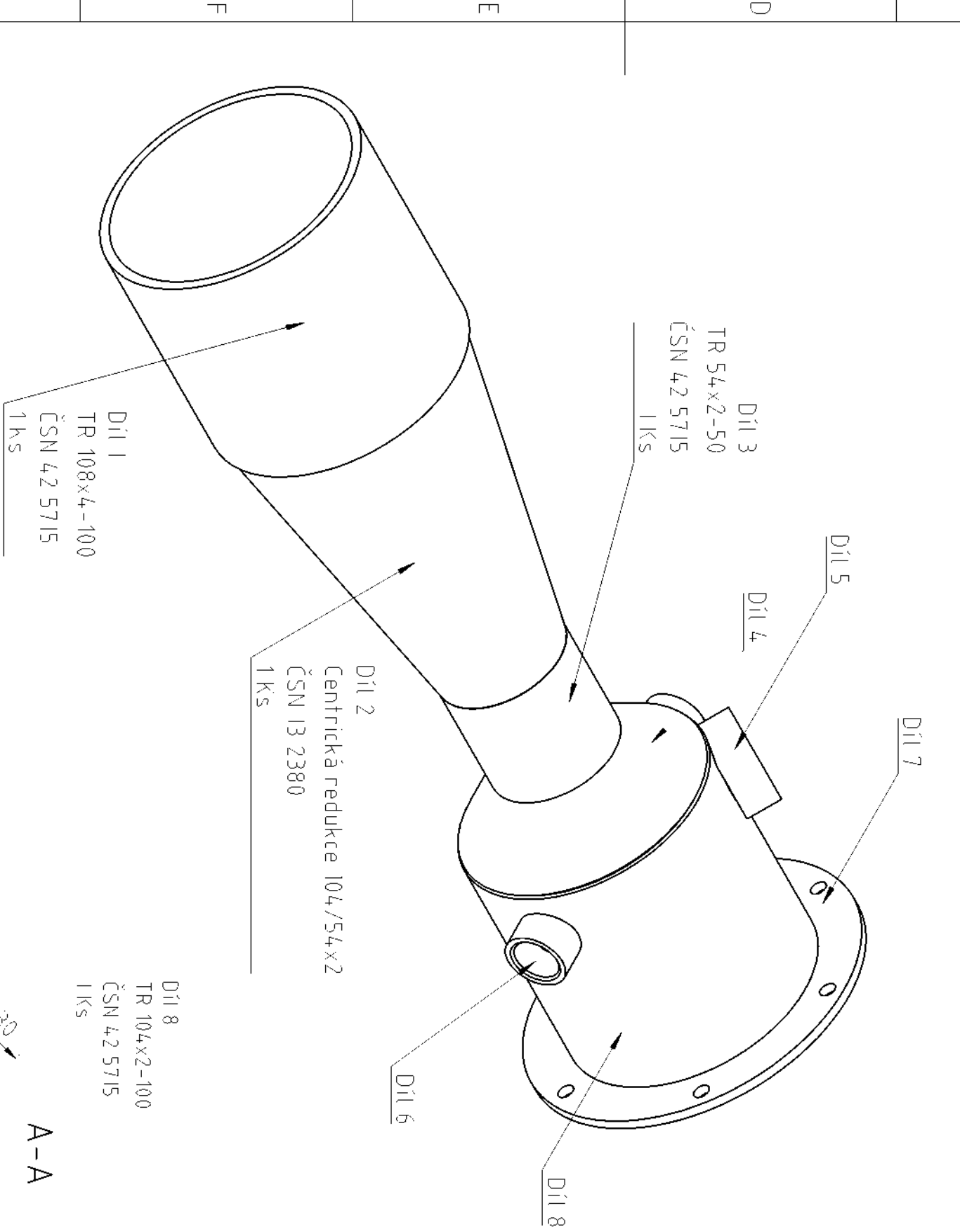
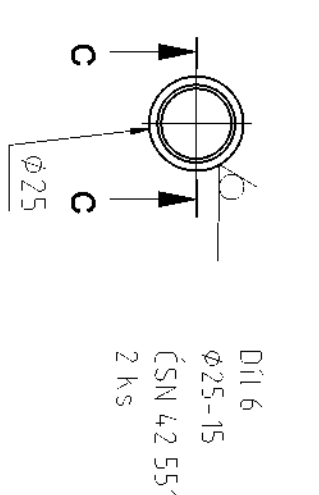
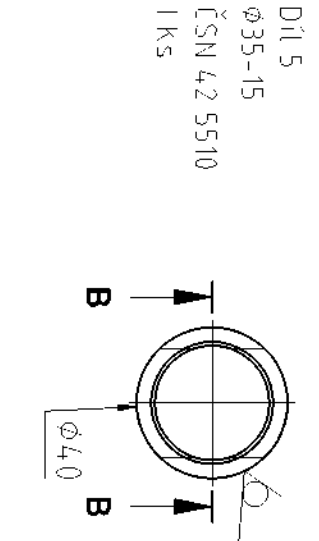
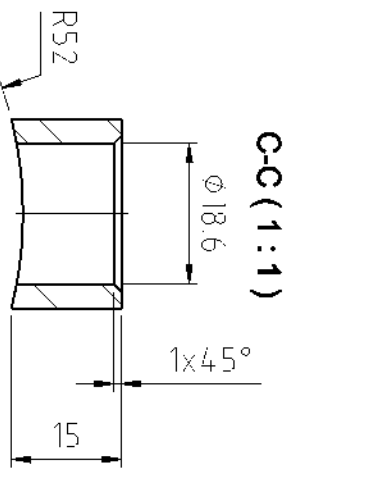
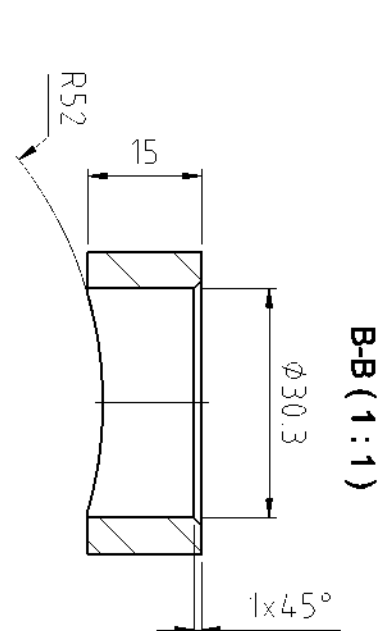
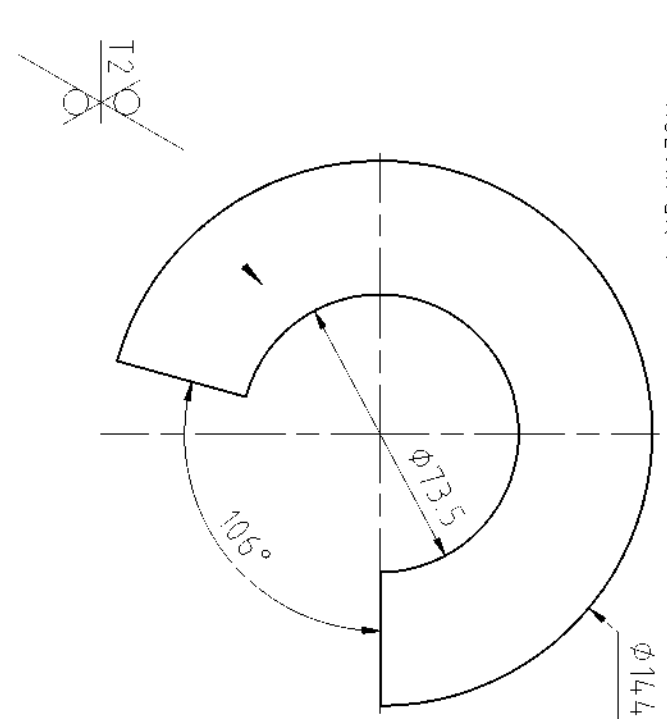
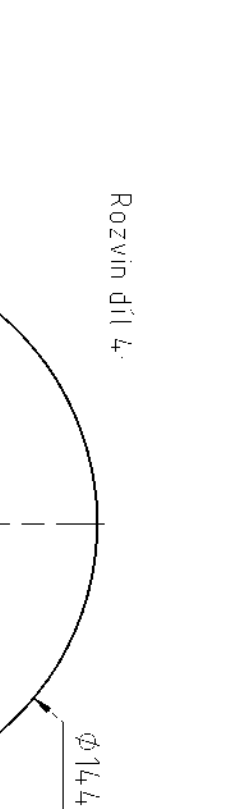
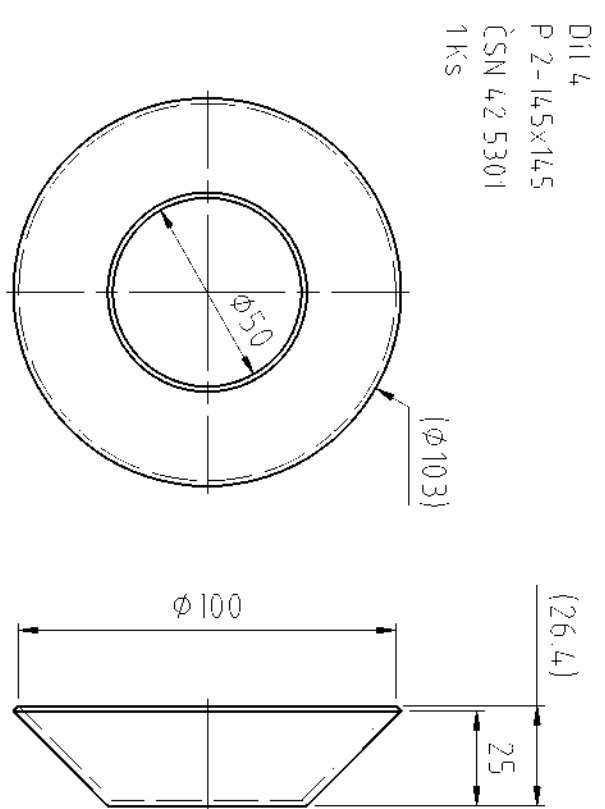
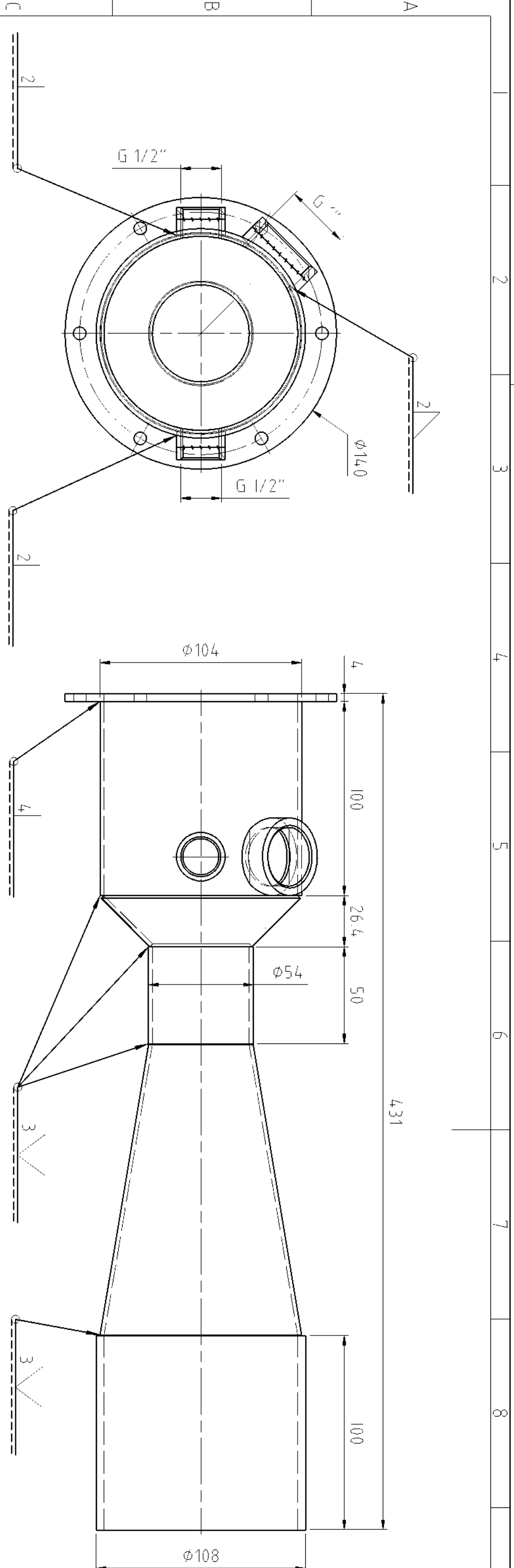
Z obrázků je patrné, že navržený tvar potrubí zejména pak difuzoru není správný. Nedochozí totiž k odtržení proudu plynů od stěny potrubí těsně za difuzorem, a proto se na sklech usazují saze. V budoucnu je tedy nutné tento problém vyřešit. Jedna z možností je vytvořit sací otvory u výstupu z difuzoru, tak aby

docházelo k samovolnému přisávání okolního vzduchu díky vzniklému podtlaku v difuzoru. Toto saní by muselo být realizováno trubicemi s vnitřní povrchovou úpravou absorbující světlo. Pokud by ani tato úprava nestačila, bylo by nutné navrhnout jiný tvar potrubí, nebo vytvořit na skle povrchovou úpravu, která by saze odpuzovala. Jistého zlepšení by také mohlo být dosaženo zaoblením vnitřních hran potrubí, bohužel zde je problém s nedostatkem místa pro nástroje.

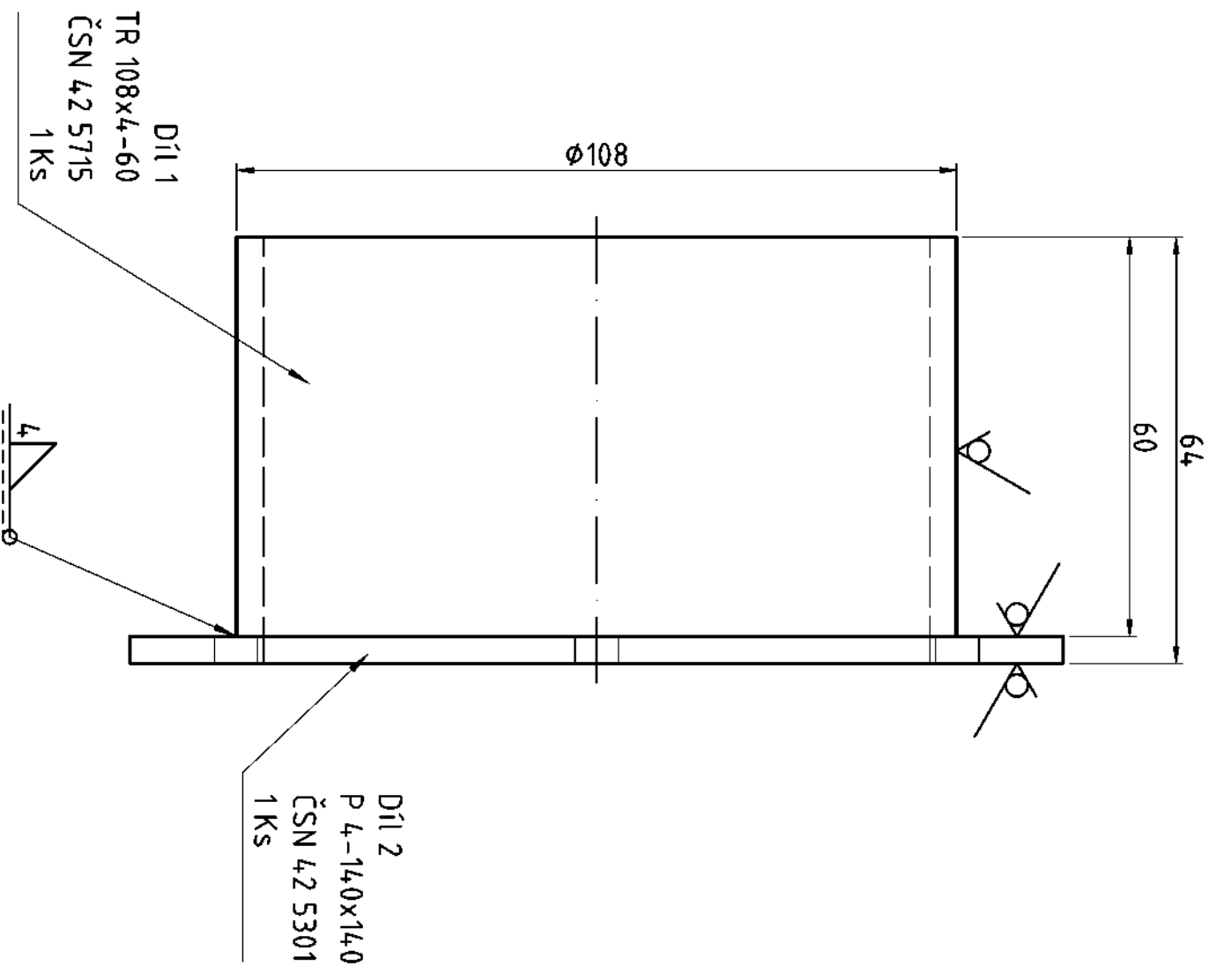
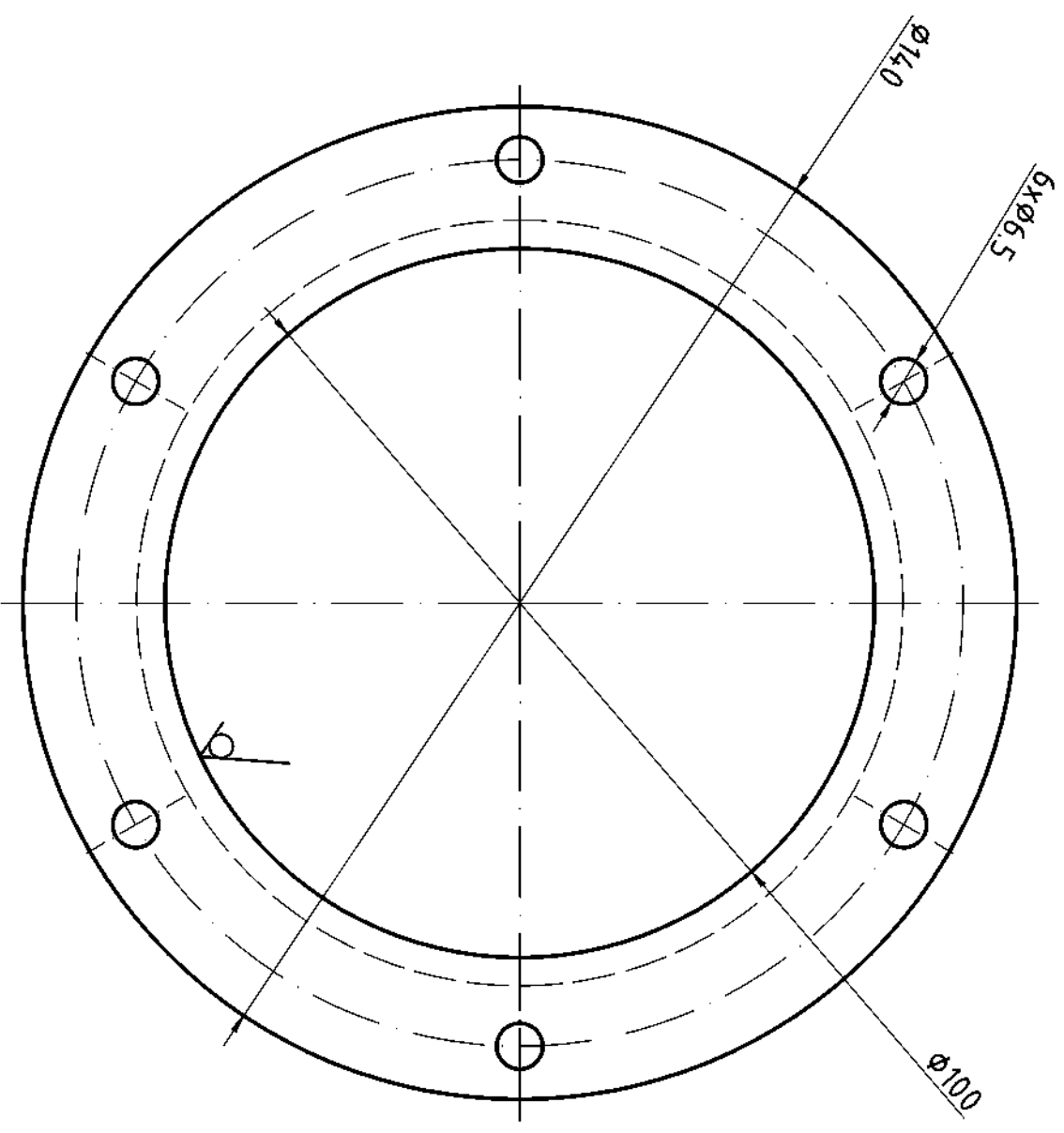
Dalším pozorovaným problémem při zkoušení přístroje je velice rychlé ohřátí závitových spojek a matic sloužících pro upevnění optických komponentů. Tudíž je nemožné umístění elektroniky, která nevydrží teploty vyšší než 100°C. Tento problém je možné řešit buď vodním chlazením, nebo umístěním tepelně nevodivé vložky mezi nerezovou ocel a elektronickou součástku.

8 Seznam použité literatury

1. Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů, první vydání, Praha 1997
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Beer-Lambert_law
3. <http://www.vossost.cz/pk/Data/doc/sao4/Kourivostvznetovychmotoru1.doc>
4. Vyhláška o technických prohlídkách a měření emisí vozidel č. 302/2001 Sb.
5. Kamimoto, T.: Characterization of Diesel Soot Aggregates by Scattering and Extinction Methods. Journal of Physics: Conference Series 45 (2006) 140-145.



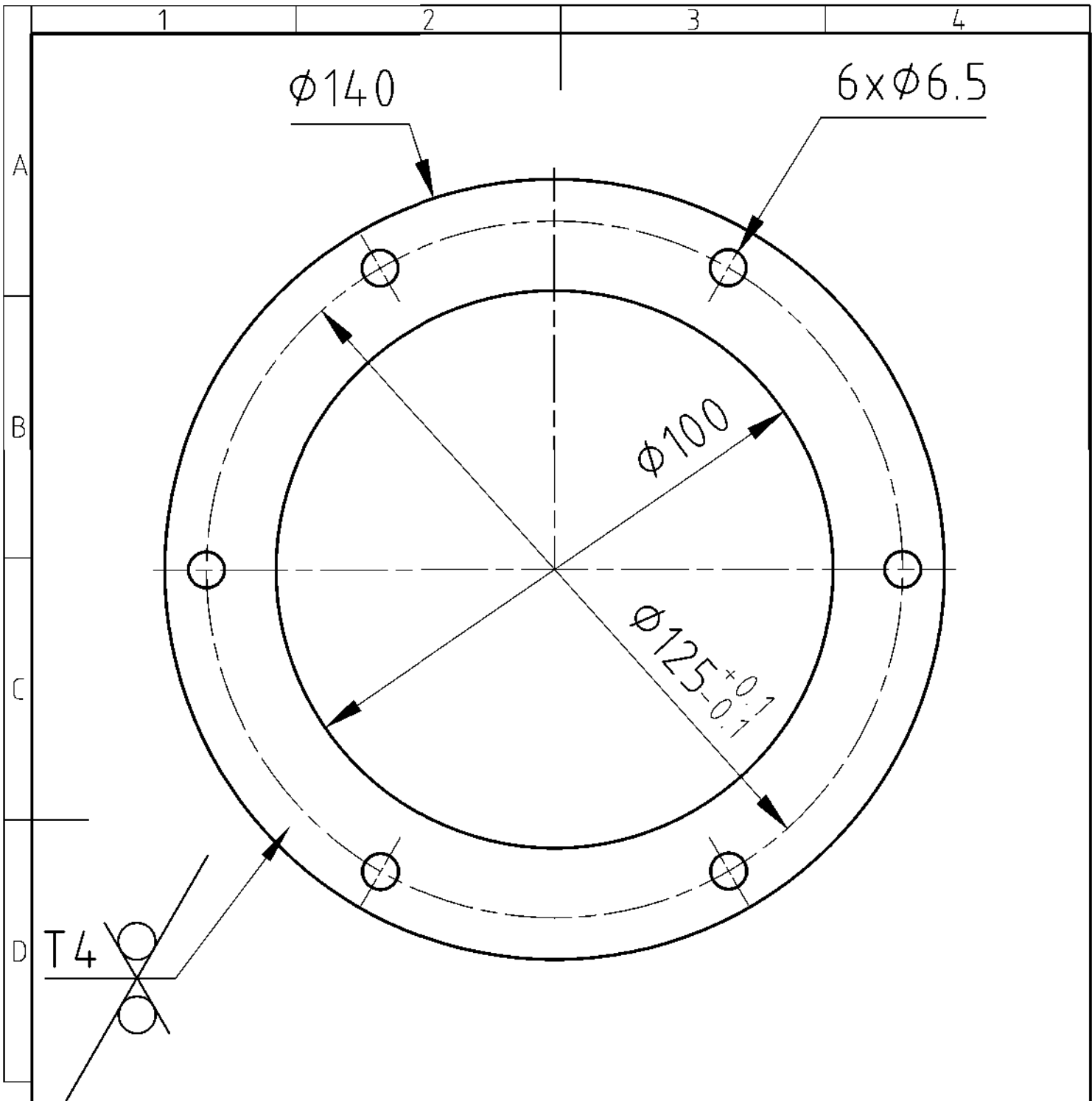
POVĚCH: BEZ ÚPRAV		PŘESNOST ISO 2768-mK	
SVAŘIT VĚDUCHOTĚSNĚ		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
HRANÝ DOČISTĚN ODĚHLIT		PROMÍTÁNÍ	
Rozm.-Paol: -		Ra 12,5	
Značka		Mater: 17 240	
Pozn.		Tr. odp: 075	
Změno		C. hm. kg	
Datum		kg	
Návrh		PROMÍTÁNÍ	
Index		kg	
Podpisy		kg	
Kreslil		kg	
Název		kg	
Prekousel		kg	
Technologie		kg	
Normaliz.		kg	
Schválil		kg	
Datum		kg	
4.5.2011		kg	
Typ		kg	
Osv. výkresu		kg	
KVM-BP-236-001		kg	
POTRUBÍ		kg	
TU v Liberci		kg	



POVRCH: BEZ ÚPRAV
HRANY DOČISTĚ ODMĚHLIT

Ra 12,5 (✓)


Rozm.-Počet		-		Mater.		17 240		Tr. odp. 075		PŘESNOST ISO 2768-mK	
Změna		-		Č. hm.		kg		Hr. hm.		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
Měřítko	Pozn.	c)		Kreslil		R SOJÁK		Typ		PRŮMĚŘNÍ	
1:1		b)		Datum		13.4.2011		Čís. výkresu		KVM-BP-236-002	
Č. seznamu		a)		Index		Podpisy		Název		VSTUP	
Č. sestavy		d)		Navrh				TU v Liberci			
Starý výkr.		e)		Kreslil				KVM-BP-236-002			
Nový výkr.		f)		Přezkoušel				KVM-BP-236-002			
		g)		Technolog							
		h)		Norm. diz.							
		i)		Schválil							
		j)		Datum							

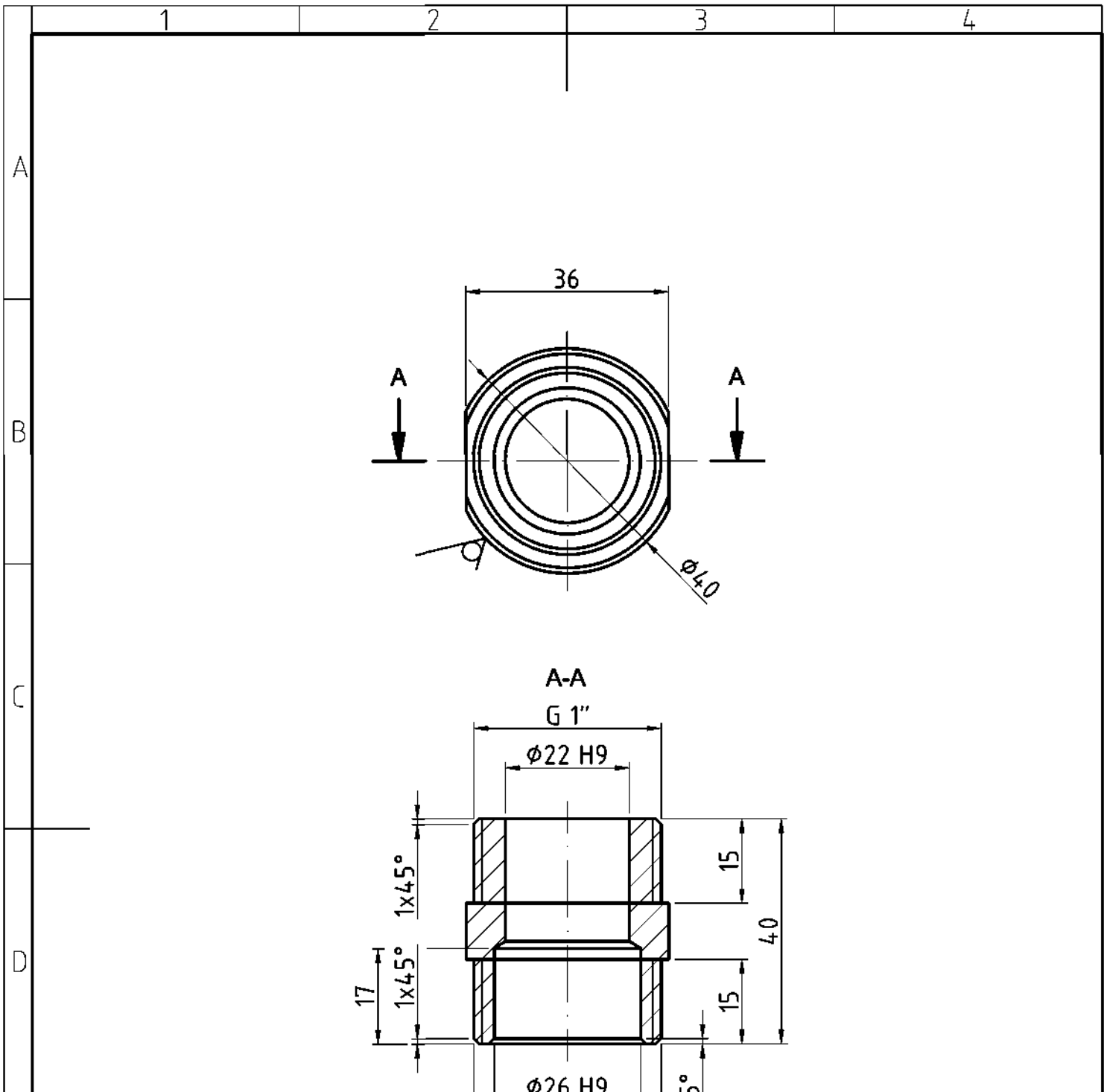


POVRCH: BEZ ÚPRAV

HRANY DOČISTA ODJEHLIT

$\sqrt{Ra\ 12,5}$ ($\sqrt{\text{V}}$)

Rozm.-Polot. P 4-140x140		ČSN 42 5301				PŘESNOST ISO 2768-mK		
		c)	Mater.	17 240	Tř. odp.	075	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		b)	Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ $\square \oplus$	
		a)	 TU v Liberci PŘÍRUBA Typ Čís. výkresu KVM-BP-236-003 List					
Změna	Datum	Index						Podpisy
Měřítka	Pozn.	Navrhl						
1:1		Kreslil						R.SOJÁK
Č.seznamu		Přezkoušel						
Č.sestavy		Technolog						
Starý výkr.		Normaliz.						
Nový výkr.		Schválil						
		Datum	14.3.2011					

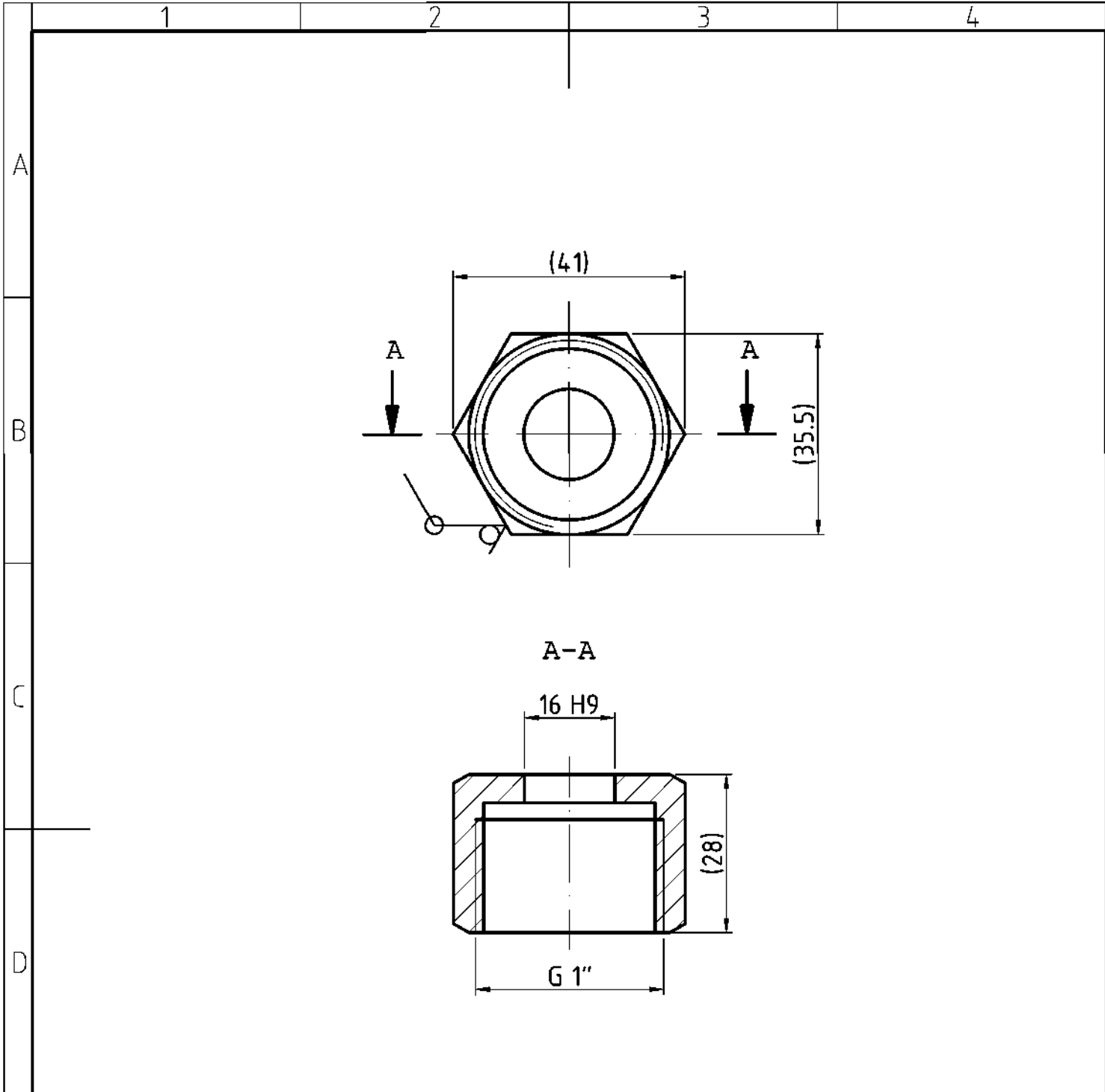


POVRCH: BEZ ÚPRAV

HRANY DOČISTA ODJEHLIT

$\sqrt{Ra\ 12,5}$ (✓)

Rozm.-Polot.	Ø40-40	ČSN 42 5510				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	17 240	Tř. odp.	075
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
				PROMÍTÁNÍ $\square \oplus$			
Změna		Datum	Index	Podpisy			
Měřítka	Pozn.	Navrhl					
1:1		Kreslil	R.SOJÁK	Název	FITINKA SENZOR		
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ	KVM-BP-236-004		
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu			
Starý výkr.		Normaliz.					
Nový výkr.		Schválil					
		Datum	4.5.2011				

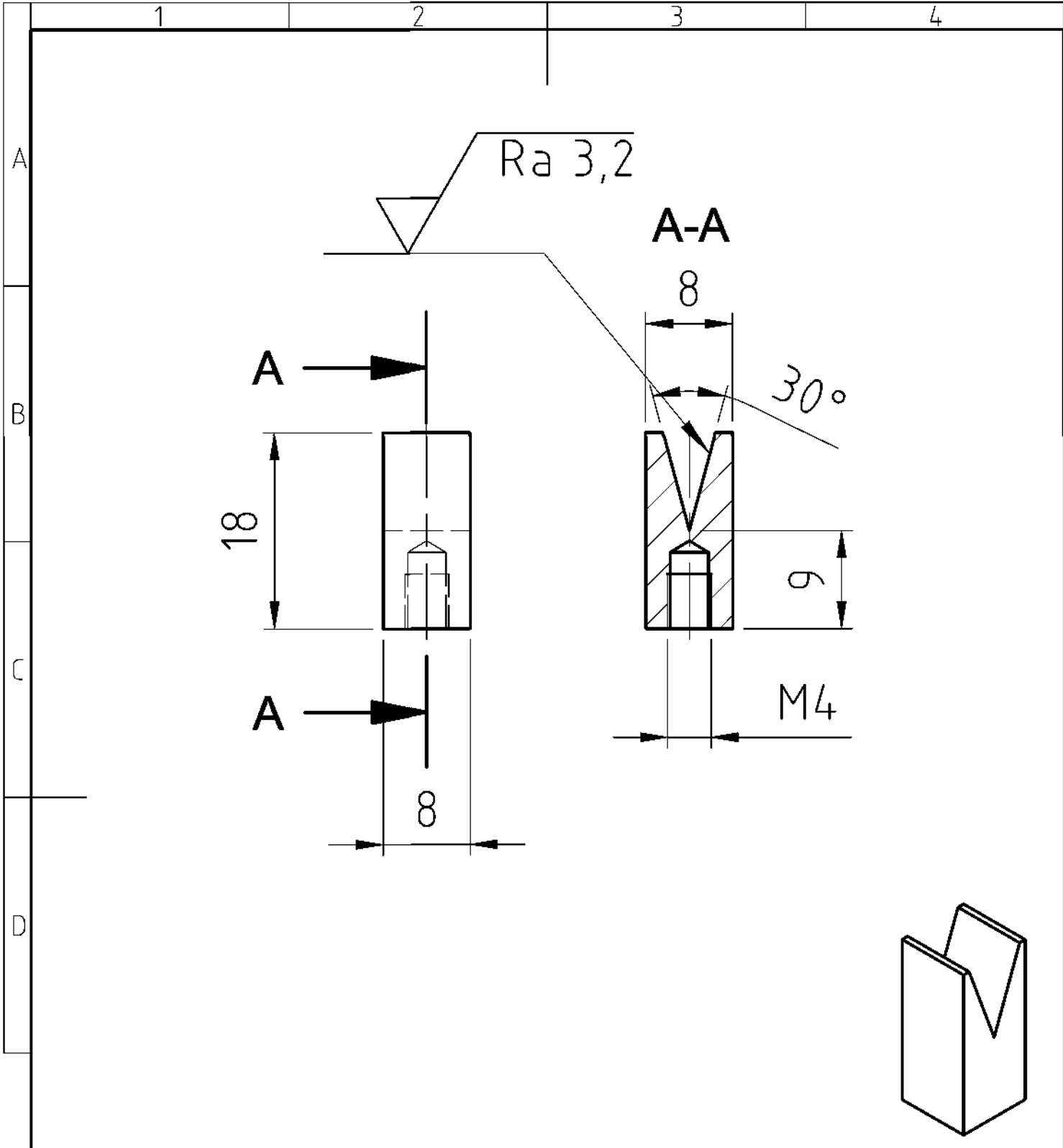


POVRCH: BEZ ÚPRAV

HRANY DOČISTA ODJEHLIT

Ra 12,5

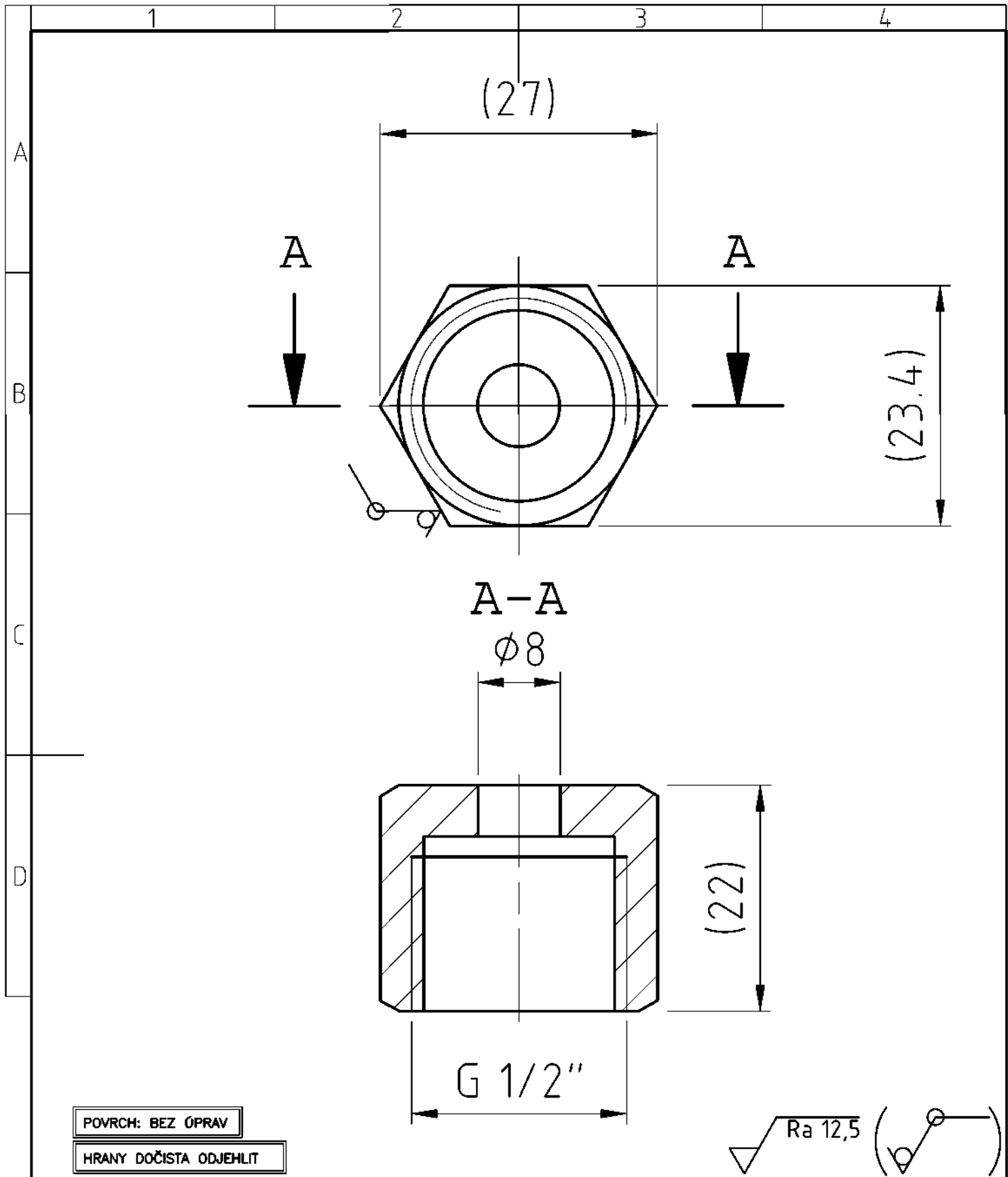
Rozm.-Polot.		VÍKO ZÁVITOVÉ SE ŠESTIHRANEM GF-110Rp1-4i				PŘESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mater.	17 445	Tř. odp.	112
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg
		a)		TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
						PROMÍTÁNÍ	
Změna		Datum	Index	TU v Liberci			
Měřítko	Pozn.	Navrhl		Název			
1:1		Kreslil	R.SOJÁK	MATICE PRO SENZOR			
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ			
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu			
Starý výkr.		Normaliz.		KVM-BP-236-005			
Nový výkr.		Schválil					
		Datum	4.5.2011	List			



BARVA: ČERNÁ
POVRCH: BEZ ÚPRAV

Ra 12,5 (Ra 3,2)

Rozm.-Polot. TL 10-10x20		c)		Mater.	ABS	Tř. odp.	PŘESNOST ISO 2768-mK
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		a)					PROMÍTÁNÍ
Změna	Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci ABSORBÉR SVĚTLA Typ Čís.výkresu KVM-BP-236-006			
Měřítka	Pozn.	Navrhl					
2:1		Kreslil	R.SOJÁK				
Č.seznamu		Přezkoušel					
Č.sestavy		Technolog					
Starý výkr.		Normaliz.					
Nový výkr.		Schválil					
		Datum	14.3.2011				

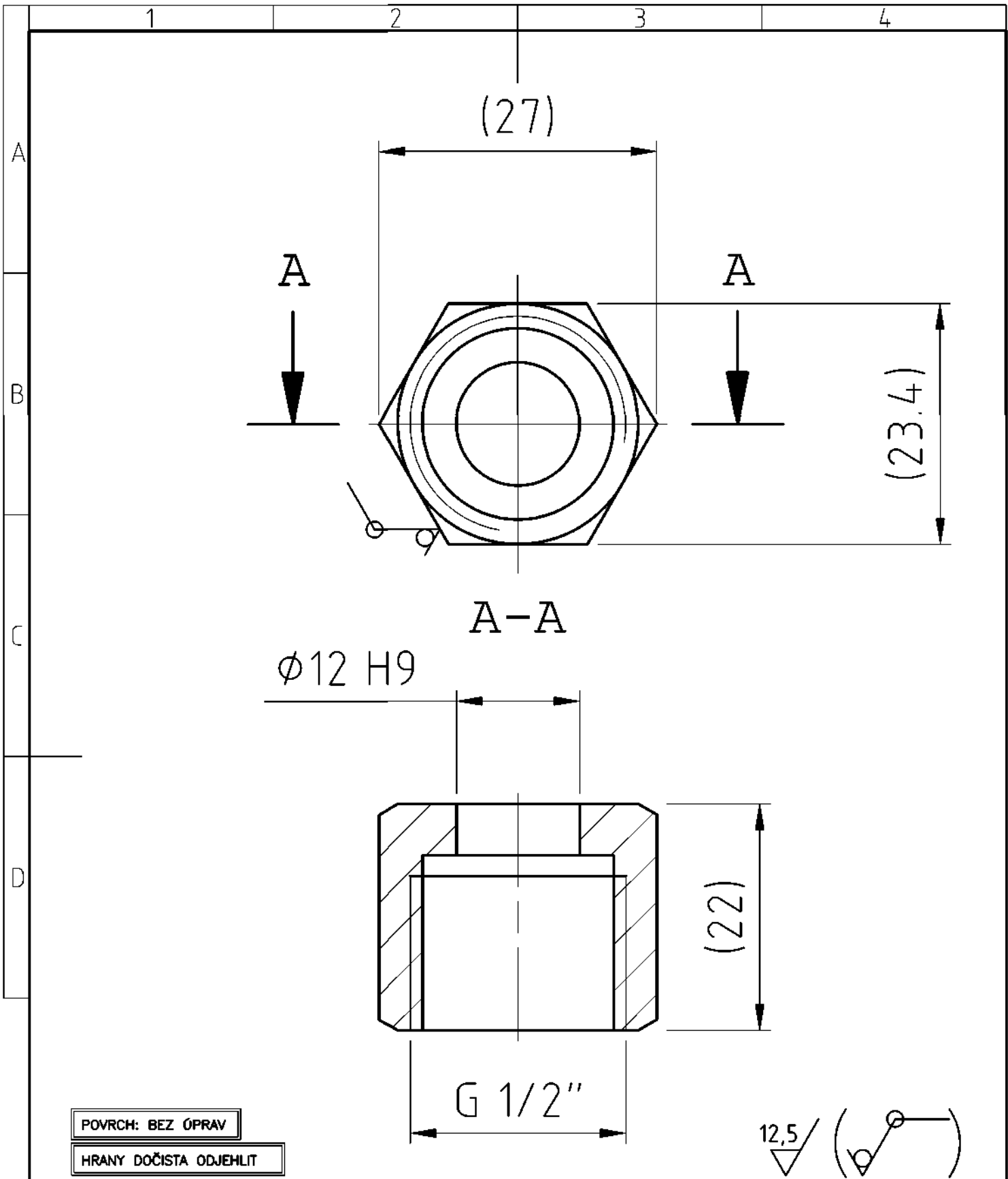


POVRCH: BEZ ÚPRAV

HRANY DOČISTA ODJEHLIT

Ra 12,5

Rozm.-Polot. VÍKO ZÁVITOVÉ SE ŠESTIHRANEM GF-110Rp12-4i				PŘESNOST ISO 2768-mK			
				Mater. 17 445		Tř. odp. 112	
				Č. hm. kg		Hr. hm. kg	
				TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
				PROMÍTÁNÍ			
Změna		Datum	Index	Podpisy			
Měřítka 2:1	Pozn.	Navrhl		 TU v Liberci MATICE ABSORBÉR KVM-BP-236-007			
		Kreslil	R.SOJÁK				
		Přezkoušel					
Č.seznamu		Technolog		Název			
Č.sestavy		Normaliz.		Typ			
Starý výkr.		Schválil		Čís.výkresu			
Nový výkr.		Datum	14.3.2011	KVM-BP-236-007			

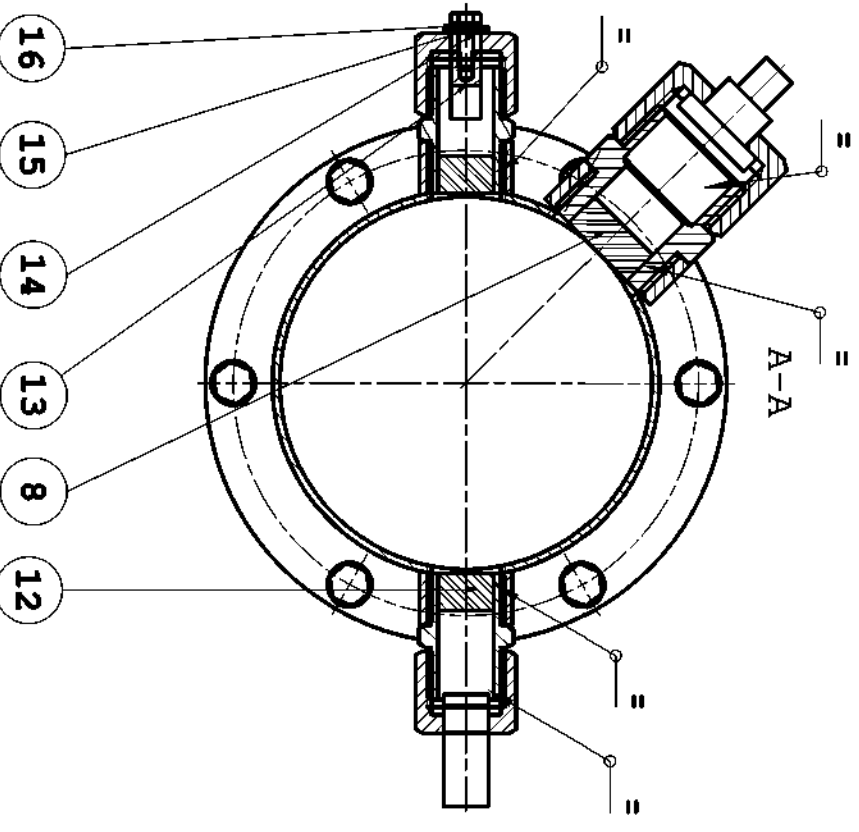
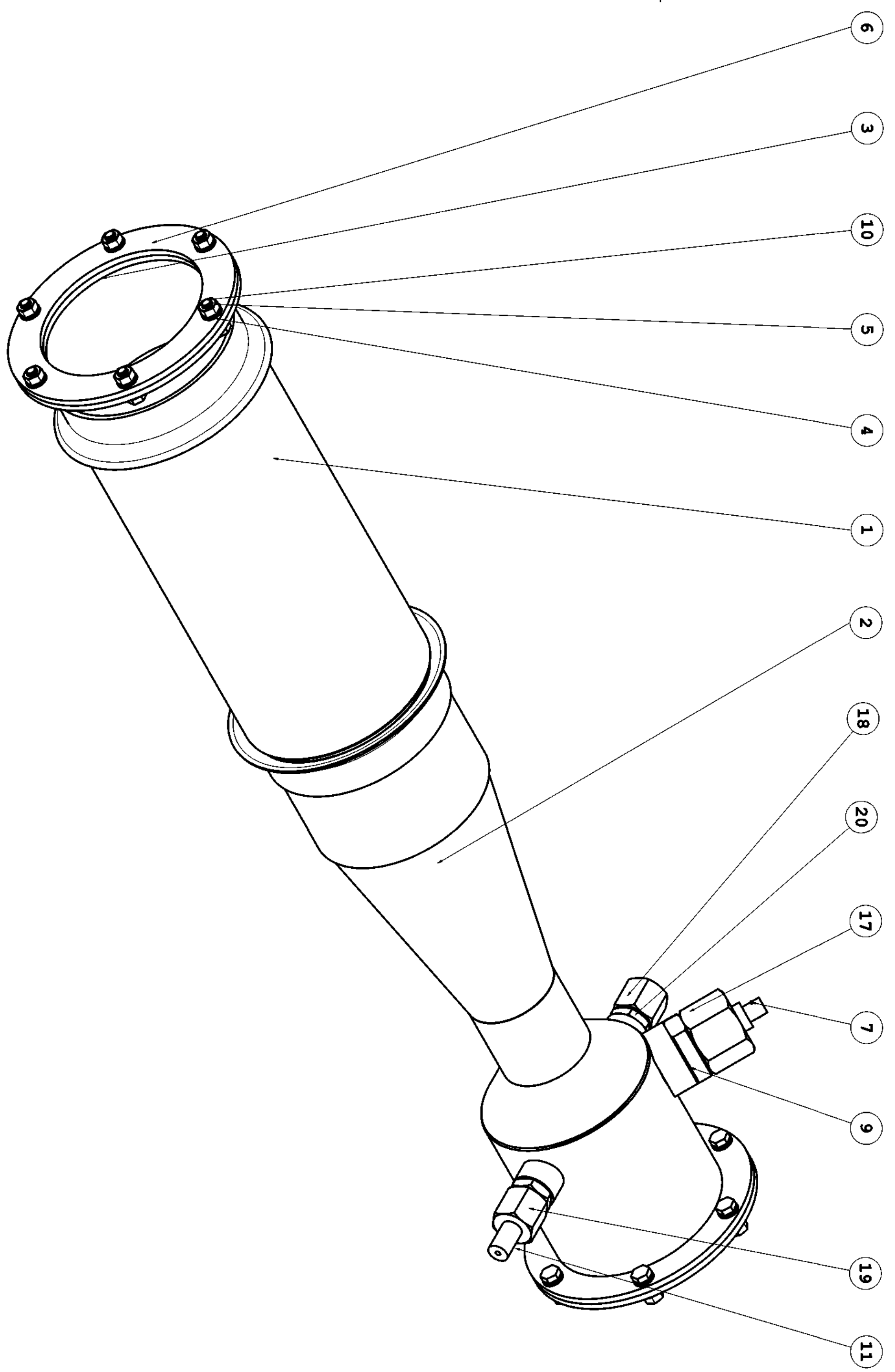
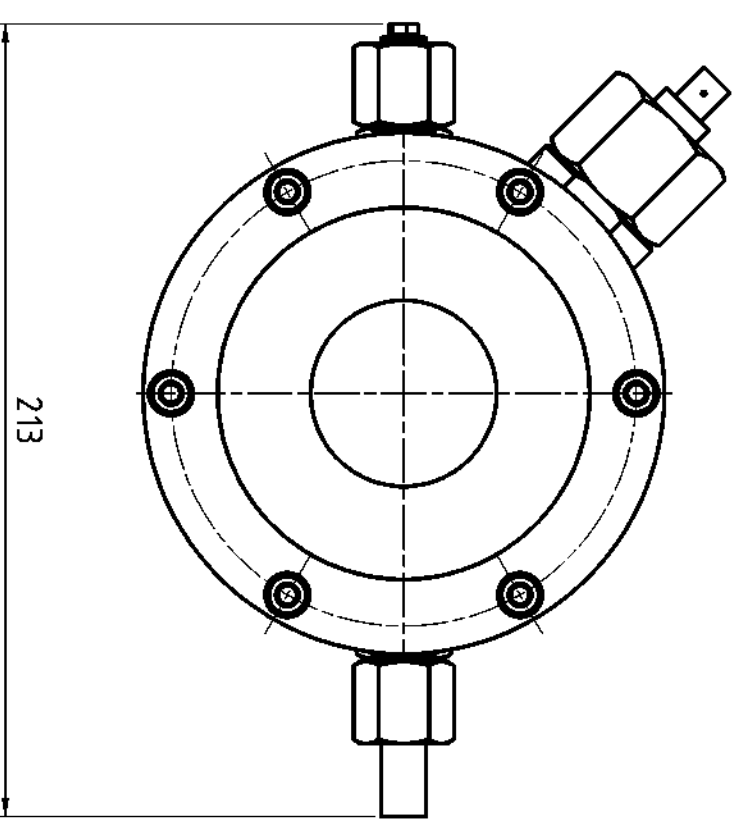
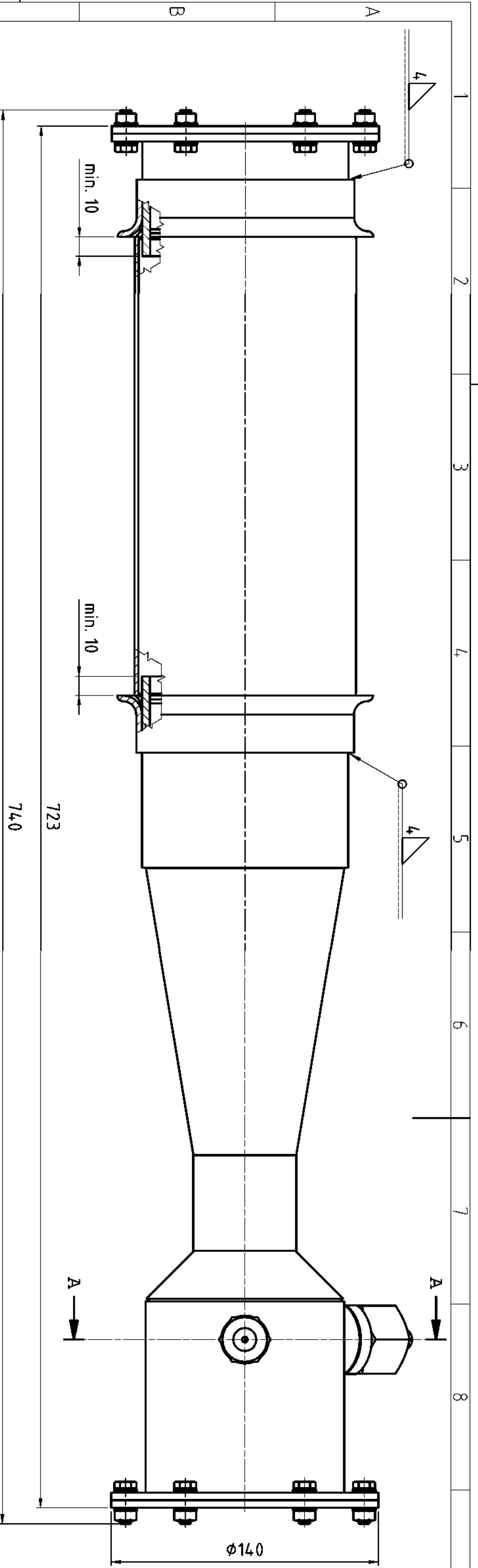


POVRCH: BEZ ÚPRAV

HRANY DOČISTA ODJEHLIT

12,5 / (✓)

Rozm.-Polot. VÍKO ZÁVITOVÉ SE ŠESTIHRANEM GF-110Rp12-4i				PŘESNOST ISO 2768-mK			
				Mater. 17 445		Tř. odp. 112	
				Č. hm. kg		Hr. hm. kg	
				TOLEROVÁNÍ ISO 8015			
				PROMÍTÁNÍ			
Změna		Datum	Index	Podpisy			
Měřítka 2:1	Pozn.	Navrhl		 TU v Liberci MATICE LASER Typ Čís. výkresu KVM-BP-236-008			
		Kreslil	R.SOJÁK				
		Přezkoušel					
Č.seznamu		Technolog					
Č.sestavy		Normaliz.					
Starý výkr.		Schválil					
Nový výkr.		Datum	4.5.2011				



LEPENO: RETOL 93

ODK.	MNOŽ.	OZNAČENÍ	POLTOVAR	VÝRRS
1	1	VILNOVEC D108-300		
2	1	POTRUBÍ		
3	1	VSTUP	SVARĚNEC	KVM-BP-236-001
4	24	PODLOŽKA 6-A2A ISO 7090	SVARĚNEC	KVM-BP-236-002
5	12	MATICE ISO 4032	M6 - A2A	KVM-BP-236-003
6	2	PŘÍRUBA		
7	1	SI FOTODIODA S2281-01 HAMAMATSU		
8	1	KŘEMENNÁ TYČ	D22-10	KVM-BP-236-004
9	1	FTTINKA SENZOR		
10	12	ŠROUB ISO 4017	M6x18-A2A	
11	1	HOUSING DIODY D12x30	D15-10	KVM-BP-236-006
12	2	KŘEMENNÁ TYČ		
13	1	ABSORBÉR SVĚTLA		
14	1	PODLOŽKA 4-A2A ČSN 02 1726		
15	1	PRUŽNÁ PODLOŽKA 4-A2A ČSN 02 1740		
16	1	ŠROUB ISO 4017	M4x12-A2A	KVM-BP-236-005
17	1	MATICE PRO SENZOR		KVM-BP-236-007
18	1	MATICE ABSORBÉR		KVM-BP-236-008
19	1	MATICE LASER		
20	2	VŠUVKA SE ŠESTIHRANEM 1/2" DIN 2990		

Změna		Datum		Index		Podpis	
Změna	Pozn.	Napsal	Index	Podpis			
1:2							

Číslo projektu	Typ	Číslo výkresu
Číslo sestavy	Norma	
Číslo výrobku	Standard	
Nový výrobek	Datum	2.5.2011

Rozměr - Podst.									
	a)	b)	c)	Mater.	Tr. odp.	PŘESNOST ISO 2768-mK			
				č. hm.	kg/hm	TOLEROVANÍ ISO 8015			
						PROMĚTÁNÍ			

Měřítko		Datum		Index		Podpis	
1:2	Pozn.	Napsal	Index	Podpis			
Číslo projektu	Typ	Číslo výkresu					
Číslo sestavy	Norma						
Číslo výrobku	Standard						
Nový výrobek	Datum	2.5.2011					

TU v Liberci
OPTICKÝ MĚŘICÍ PŘ.
KVM-BP-236-009