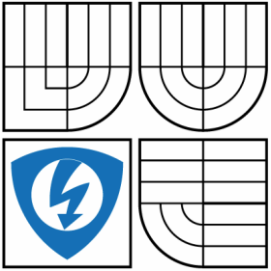


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MĚŘICÍ A LINEARIZAČNÍ ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA PRO PRŮTOKOMĚRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MARTIN MAŠTERA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Petr Petrovský

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Bc. Martin Maštera

**ID:** 133304

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Měřicí a linearizační zobrazovací jednotka pro průtokoměry

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout i realizovat měřicí a linearizační jednotku pro měření průtoku, která bude spolupracovat se zubovým průtokoměrem KRACHT.

1. Seznamte se s postupy nutnými pro přesný výpočet průtoku pomocí zubového průtokoměru a nutnými kalibračními křivkami. Popište jednotlivé způsoby měření průtoku.
2. Navrhněte, realizujte a zhodnoťte výpočetní algoritmy pro linearizaci měřené hodnoty.
3. Na základě výpočetní náročnosti, požadavků na velikost paměti a nutného počtu vstupů a výstupů, zvolte vhodný mikrokontroler.
4. Navrhněte a realizujte hardwarové řešení celého zařízení. Případně zvolte vhodný vývojový kit.
5. Navrhněte a realizujte firmware pro zařízení.
6. Implementujte PC aplikaci pro nahrávání kalibračních křivek do zařízení.
7. Vyhodnoťte výsledky měření na zvolené testovací úloze.
8. Zhodnoťte dosažené výsledky, uveďte výhody a nevýhody řešení a navrhněte další možná vylepšení.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004, 271 s. ISBN 80-7232-220-6.

[2] PRESS, W. H.: Numerical recipes: the art of scientific computing. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, xxi, 1235 s. ISBN 978-0-521-88407-5

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 3.8.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Petyovský

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## **Abstrakt**

Práce se zabývá návrhem a realizací linearizační zobrazovací jednotky, která bude přijímat pulzy ze zubového průtokoměru KRACHT, jejichž frekvence odpovídá průtoku. Měřenou veličinou je průtok, který je nelineárně závislý na teplotě a viskozitě měřeného média. Závislost popisují kalibrační křivky průtokoměru pro různé viskozity. Úkolem diplomové práce je navrhnout, realizovat a ověřit funkčnost zobrazovací jednotky, která ze vstupních dat (frekvence pulzů, teplota, viskozita a kalibrační křivky průtokoměru) vypočte aktuální hodnotu průtoku. Zařízení bude obsahovat vhodné uživatelské rozhraní pro zobrazení všech měřených hodnot, vstupy pro připojení měřicích senzorů a výstup pro přenos změřených dat. Součástí zařízení bude i rozhraní USB pro konfiguraci a nahrávání kalibračních křivek z aplikace pro PC navržené diplomantem.

## **Klíčová slova**

Průtokoměr, linearizační jednotka, kalibrační křivky, Freescale, Tower system

## **Abstract**

Thesis describes the design and realization of linearization display unit that will receive pulses from a gear flow meter KRACHT whose frequency corresponds to a flow. The measured value is flow that nonlinearly depends on the temperature and viscosity of the medium. The dependency is described by calibration curves for each flow meter. The task of the diploma thesis is to design, implement, and verify the operation of the display unit, which calculates the actual flow rate from the input data (pulse rate, temperature, viscosity, and flow meter calibration curves). The device will contain a suitable user interface to display all measured values, inputs for connecting measuring sensors, and outputs for transmission of measured data. A part of the device will be a USB interface for configuration and uploading calibration curves from a PC application, which is designed by diploma student.

## **Keywords**

Flow meter, linearization unit, calibration curves, Freescale, Tower system

Bibliografická citace:

Maštera, M. *Měřicí a linearizační zobrazovací jednotka pro průtokoměry*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015.

85s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Petr Petyovský



## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Měřicí a linearizační zobrazovací jednotka pro průtokoměry jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **30. července 2015**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Petyovskému. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji konzultantovi diplomové práce Ing. Jaroslavovi Čápovi, Ph.D za vedení při vypracování diplomové práce.

V Brně dne: **30. července 2015**

.....  
podpis autora

## OBSAH

1	Úvod.....	12
2	Teoretický úvod .....	14
2.1	Měření průtoku.....	14
2.1.1	Měření průtoku – definice.....	14
2.1.2	Reynoldsovo číslo.....	16
2.1.3	Druhy proudění .....	17
2.1.4	Mezní vrstva .....	18
2.1.5	Viskozita .....	19
2.1.6	Rozdělení senzorů v průtokoměrech.....	20
2.2	Průtokoměry .....	22
2.2.1	Průtokoměry na principu tlakového rozdílu .....	22
2.2.2	Plováčkové průtokoměry .....	26
2.2.3	Turbínové a lopatkové průtokoměry.....	27
2.2.4	Objemové průtokoměry .....	29
2.3	Popis zubových průtokoměrů Kracht.....	31
2.4	Výpočet průtoku s průtokoměrem Kracht.....	34
2.5	Měření teploty .....	36
2.5.1	Teplota .....	36
2.5.2	Teplotní stupnice.....	37
2.5.3	Kovové odporové senzory teploty .....	37
3	Rozbor požadavků zadání .....	41
3.1	Návrh výpočetního algoritmu .....	42
3.2	Výběr datového typu pro výpočty.....	44
3.3	Výběr senzoru teploty, ochrana vstupů a výstupů .....	45
3.4	Návrh firmwaru.....	45
3.5	Návrh PC aplikace.....	46
3.6	Způsob ověření funkčnosti.....	46
3.7	Zhodnocení rozboru a další poznámky k návrhu .....	46
4	Řešení.....	47
4.1	Výběr vhodného mikrokontroléru a vývojového kitu.....	47
4.2	Připojení teplotního senzoru .....	50

4.3	Ochrana vstupů a výstupů proti přepětí a změna logických úrovní .....	51
4.4	Software k vývojovému kitu .....	53
4.5	Implementace výpočetních algoritmů .....	54
4.6	Realizace firmware.....	62
4.7	Realizace PC aplikace .....	66
5	Zhodnocení finálního řešení .....	71
5.1	Ověření funkčnosti .....	71
5.2	Zhodnocení výsledku a návrhy ke zlepšení .....	77
6	Závěr .....	80
7	Literatura.....	82
8	Seznam příloh .....	85

## Seznam obrázků:

Obrázek 1: Rychlostní profil pro různé druhy proudění tekutiny [3] .....	17
Obrázek 2: Vznik mezní vrstvy na povrchu stěny potrubí [3].....	18
Obrázek 3: Odtržení proudu v zadní části obtékaného objektu [3] .....	19
Obrázek 4: Znázornění rozdílů rychlostí v tekutině [3].....	20
Obrázek 5: Rozdělení průtokoměrů [3] .....	21
Obrázek 6: Průběh tlaku, proudnic v závislosti na vzdálenosti od clony [3].....	23
Obrázek 7: K určení tlaku v potrubí se používá odběru tlaku ve vzdálenosti [3].....	23
Obrázek 8: Rozložení proudnice kolem tupé překážky [3] .....	24
Obrázek 9: Princip Pitotovy trubice [3] .....	25
Obrázek 10: Pitotova trubice s dvojitou stěnou [3] .....	25
Obrázek 11: K odvození funkce plováčkového průtokoměru [3].....	26
Obrázek 12: Řez turbínovým průtokoměrem [3].....	28
Obrázek 13: Vnitřní uspořádání typického turbínového průtokoměru [3] .....	28
Obrázek 14: Typický průběh závislosti vlivy viskozity na součiniteli K pro turbínový průtokoměr o průměru 25mm [3] .....	29
Obrázek 15: Fáze činnosti oválového průtokoměru [3].....	30
Obrázek 16: Přesnost zubového průtokoměru VC 1 [16].....	32
Obrázek 17: Linearita zubového průtokoměru VC 1 [16].....	32
Obrázek 18: Konstrukce průtokoměru Kracht [16] .....	33
Obrázek 19: Výstupní signál z průtokoměrů Kracht [16].....	34
Obrázek 20: Závislost K-faktoru frekvenci [17].....	35
Obrázek 21: Tvorba UVC křivky [17].....	36
Obrázek 22: Teplotní závislost odporových kovových snímačů teploty [4] .....	39
Obrázek 23: Blokové schéma linearizační jednotky.....	42
Obrázek 24: Popis systémové chyby .....	43
Obrázek 25: Simulace měření frekvence .....	43
Obrázek 26: Datové typy normy IEEE 754[18] .....	45
Obrázek 27: TWR-K21F120M [6] .....	48
Obrázek 28: TWR-LCD [6].....	48
Obrázek 29: TWR-PROTO [6].....	49
Obrázek 30: TWR-ELEV [6].....	49

Obrázek 31: Blokové schéma TWR-K21F120M [20].....	49
Obrázek 32: Blokové schéma TWR-LCD [21] .....	50
Obrázek 33: Schéma zapojení PT100 i s přepět'ovou ochranou.....	51
Obrázek 34: Přizpůsobení úrovně logiky [10].....	52
Obrázek 35: Schéma zapojení digitálního vstupu [5].....	52
Obrázek 36: Schéma analogového výstupu se symetrickým napájením .....	53
Obrázek 37: Knihovna desek [6] .....	53
Obrázek 38: Knihovna komponentů [6] .....	53
Obrázek 39: Ukázka nastavení jednoho komponent [6].....	54
Obrázek 40: Algoritmus pro měření frekvence .....	56
Obrázek 41: Algoritmus pro měření teploty .....	58
Obrázek 42: Algoritmu výpočtu v hlavní smyčce programu.....	60
Obrázek 43: Algoritmus analogového výstupu .....	61
Obrázek 44: Měřicí obrazovka .....	65
Obrázek 45: Ovládání programu k linearizační jednotce .....	66
Obrázek 46: Program k linearizační jednotce – Kalibrační křivky .....	67
Obrázek 47: Program k linearizační jednotce - Ukládání.....	68
Obrázek 48: Program k linearizační jednotce - Viskozita .....	69
Obrázek 49: Program k linearizační jednotce - Inicializační data .....	70
Obrázek 50: Foto linearizační jednotky.....	71
Obrázek 53: Před kalibrací analogového vstupu – 100 °C .....	72
Obrázek 54: Po kalibraci analogového vstupu - 100 °C.....	72
Obrázek 51: Před kalibrací analogového vstupu - 40 °C.....	72
Obrázek 52: Po kalibraci analogového vstupu - 40 °C.....	72
Obrázek 55: Zobrazení vlivu systémové chyby na analogovém výstupu. Při průtoku 297 l/h má hodnotu 1,6 l/h.....	73
Obrázek 56: Skoková změna vstupní frekvence o 100 Hz. Červeně je zobrazeno měření vstupní frekvence, analogový výstup je zobrazen modře. ....	73
Obrázek 57: Skoková změna frekvence na vstupu na nulu (odpojení generátoru). Červeně je zobrazena vstupní frekvence, analogový výstup je zobrazen modře.....	74
Obrázek 58: Závislost chyby vizuálního odečtu průtoku zobrazeného na linearizační jednotce na průtoku.....	75

Obrázek 59: Závislost celkové chyby na průtoku .....	76
Obrázek 60: Závislost chyby napěťového výstupu na průtoku při různých viskozitách	77

# 1 ÚVOD

Cílem práce je navrhnout a realizovat linearizační zobrazovací jednotku pro měření průtoku, která bude spolupracovat se zubovým průtokoměrem KRACHT.

Linearizační jednotka bude nejprve z naměřené hodnoty teploty proudící kapaliny a ze zadaného typu kapaliny se vypočítá její aktuální hodnotu viskozity. Dále pomocí kalibračních křivek pro různé viskozity upravovat K-faktor pro dané médium, teplotu a aktuální průtok. Pomocí K-faktoru (počet pulzů na litr) se vypočítá korigovaná hodnota průtoku. Tato hodnota bude zobrazena na displeji a zároveň bude přivedena na analogový výstup (0 - 10 V) v rozsahu, který bude definován uživatelem. Tento výstup je přidán na přání zadavatele diplomové práce a bude použit pro připojení linearizační jednotky ke zkušební stanici. Na displeji bude také zobrazena informace o teplotě měřeného média, o jaké médium se jedná a pro jaký průtokoměr je daná linearizační jednotka zkalibrována.

Tato práce je realizována pro firmu BOSCH Diesel s.r.o. v Jihlavě a zadání vychází z požadavku na přesnější měření průtoku. Dosud se průtokoměry KRACHT kalibrovaly u výrobce s kapalinou o kinematické viskozitě 20 mm<sup>2</sup>/s, zatímco při reálném měření se viskozita kapaliny pohybuje v rozsahu 0,7 - 4,0 mm<sup>2</sup>/s. Při takto nízké viskozitě kapaliny a při nejnižších měřených průtocích mohou zmíněné průtokoměry dosahovat odchylky až 11 % z měřené hodnoty. Výrobce přitom deklaruje přesnost průtokoměru ±0,3 % z rozsahu. Odstranění této nepřesnosti si žádá provést kalibraci každého průtokoměru při alespoň dvou různých (hraničních) viskozitách v rozsahu, ve kterém je průtokoměr používán. Taková kalibrace je poměrně nákladná časově i finančně, proto zadavatel investoval do kalibračního zařízení, díky kterému je schopen provádět kalibrace svých průtokoměrů při všech výše uvedených viskozitách přímo v závodě. Součástí celého řešení jsou ovšem i zobrazovací jednotky, do kterých je možné získané kalibrační křivky naprogramovat. Na trhu zatím nelze koupit zobrazovací jednotku, která by mohla obsahovat několik kalibračních křivek. Proto zadavatel oslovil výrobce kalibračního zařízení, firmu Trigas FI GmbH, aby takovou zobrazovací jednotku vyvinul. Výsledkem je sice plně funkční robustní zobrazovací jednotka (TFC11-PD), která splňuje požadavky zadání, její cena je ovšem poměrně vysoká, přibližně 1700 €. Zadavatel plánuje podobnou zobrazovací jednotkou osadit více než 150 kusů



průtokoměrů. Proto mi byla zadána tato diplomová práce s cílem vytvořit zobrazovací jednotku vlastní, jejíž funkce bude sice stejná, ale její cena bude nižší.

## 2 TEORETICKÝ ÚVOD

V této kapitole budou popsány základní typy průtokoměrů a existující způsoby výpočtů průtoků ze zubových a turbínových průtokoměrů.

### 2.1 Měření průtoku

Měření průtoků [3] se stalo neodmyslitelnou součástí průmyslové praxe. Do současné doby bylo objeveno velké množství fyzikálních principů použitelných pro měření průtoku, z nichž některé budou popsány v následujících kapitolách.

#### 2.1.1 Měření průtoku – definice

- Tekutina je látka, která je bez speciálního tvaru vyznačující se tendencí při pohybu sledovat obrysy nádoby. Jako tekutiny se chovají kapaliny, plyny a páry.
- Rychlost pohybující se částice tekutiny  $v$  [m/s] je vektor, jehož směr je totožný se směrem tečny k dráze částice a jehož velikost je dána poměrem elementu dráhy  $\Delta l$  [m] k času  $\Delta t$  [s] potřebnému k jeho proběhnutí, tj.

$$\bar{v} = \frac{\Delta l}{\Delta t}. \quad (2.1.1)$$

nebo střední hodnota rychlosti pohybu molekul (částic) plynu.

- Střední průřezová rychlost tekutiny  $U$  je poměr objemového průtoku  $q_v$  k ploše průtočného průřezu.
- Proudění je makroskopický pohyb tekutiny.
- Jednorozměrné proudění je definováno stavem, když se všechny částice pohybují jedním směrem a rychlost v libovolném místě je určena pouze velikostí vektoru pohybu v tomto bodě.
- Rovinné proudění je proudění, při kterém se částice pohybují ve vzájemně rovnoběžných rovinných drahách. Vektor rychlosti je určen složkami v rovině proudění. V kolmém směru k rovině je složka rychlosti nulová.
- Prostorové proudění se vyznačuje obecnou polohou vektoru rychlosti a k jeho určení je nutné znát složky rychlosti do všech základních směrů.
- Průtok je podíl množství tekutiny protékající průtočným průřezem potrubí a času potřebného k protečení tohoto množství průřezem.

- Střední průtok je střední hodnota průtoku za časové období.
- Objemové množství - velikost objemu, který tekutina zaujímá.
- Objemový průtok  $Q_v$  [l/h] je průtok, u něhož je množství tekutiny vyjádřeno objemem tekutiny  $\Delta V$  [l], který proteče určitou plochou za daný časový interval  $\Delta t$  [h].

$$Q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (2.1.2)$$

- Při změně objemového průtoku s časem platí pro okamžitou hodnotu vztah, který přesněji popisuje situaci a je v souladu s normou. [22]

$$q_v = \frac{dV}{dt}. \quad (2.1.3)$$

- Objem, který protekl za časový interval  $\Delta t$  [s], je určen integrálem

$$V = \int_0^{\Delta t} q_v dt. \quad (2.1.4)$$

- Hmotnostní průtok  $Q_m$  [kg/h] je průtok, u něhož je množství tekutiny vyjádřeno hmotností tekutiny  $\Delta m$  [kg] protečené průtočným místem za daný časový interval  $\Delta t$  [h]

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t}. \quad (2.1.5)$$

- Při změně hmotnostního průtoku časem platí pro okamžitý hmotnostní průtok.

$$Q_m = \frac{dm}{dt}. \quad (2.1.6)$$

- Pro protečené hmotnostní množství platí

$$m = \int_0^{\Delta t} Q_m dt. \quad (2.1.7)$$

- Hmotnostní průtok lze určit z objemového průtoku použitím vztahu

$$Q_m = \rho q_v. \quad (2.1.8)$$

kde  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] je hustota měřené tekutiny.

- Ze známé plochy průtočného průřezu  $S [m^2]$  a střední rychlosti proudění  $v$  lze určit objemový průtok ze vztahu

$$Q_v = Sv. \quad (2.1.9)$$

- K-faktor [imp/l] je hodnota, udávající kolik impulzů na výstupu měřidla odpovídá celkovému objemu protečené kapaliny za časový interval přes průtokoměr. K-faktor závisí na Reynoldsově čísle a na teplotě v průběhu měření.

$$K = \frac{N}{q_v} = \frac{N}{q_{vb}} \cdot \frac{\rho_f}{\rho_b}. \quad (2.1.10)$$

kde	$N [-]$	je počet impulzů z průtokoměru
	$q_v [l/h]$	je objem protečené tekutiny
	$q_{vb} [l/h]$	je objem protečené tekutiny za vztažných podmínek
	$\rho_f [kg/l]$	je hustota tekutiny při měření
	$\rho_b [kg/l]$	je hustota tekutiny za vztažných podmínek

- Kalibrační křivka (rovina) je závislost hodnoty K-faktoru na průtoku a na viskozitě. Jak je uvedeno u popisu K-faktoru, K-faktor je ovlivněn velikostí Reynoldsova čísla a toto číslo je závislé na rychlosti proudící tekutiny a na její viskozitě.

## 2.1.2 Reynoldsovo číslo

Reynoldsovo číslo [3] je důležitým kritériem pro posouzení druhu proudění. Značí se  $Re$  a udává poměr mezi setrvačnými a třecími silami v proudící tekutině.

Reynoldsovo číslo  $Re_d [-]$  pro proudící tekutinu v kruhovém potrubí o vnitřním průměru  $D [mm]$  je definováno takto:

$$Re_d = \frac{Fs}{Ft} = \frac{\rho v^2 D}{\eta v} = \frac{vD}{\nu}. \quad (2.1.11)$$

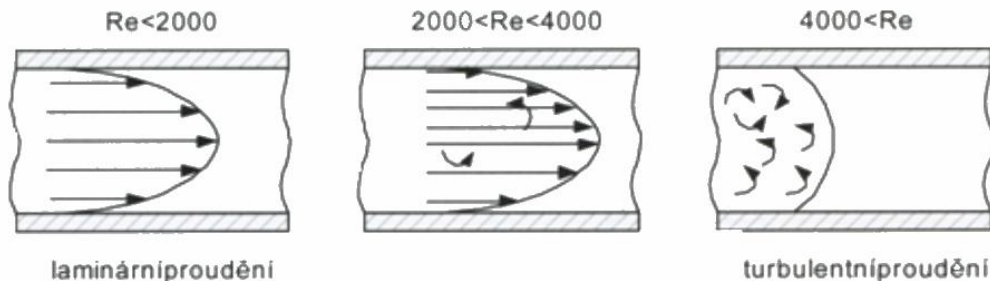
kde	$Fs [N]$	jsou setrvačné síly
	$Ft [N]$	jsou třecí síly
	$\nu [mm^2 \cdot s^{-1}]$	je kinematická viskozita tekutiny
	$\eta [Pa \cdot s]$	je dynamická viskozita tekutiny $[Pa \cdot s]$

U kapalin je kinematická viskozita závislá pouze na teplotě, zatím co u plynů je kinematická viskozita závislá nejen na teplotě, ale i na tlaku.

Kritické Reynoldsovo číslo  $Re_{Dkrit}$  určuje hranici mezi turbulentním a laminárním prouděním. Pokud je hranice menší než  $Re_{Dkrit} = 2320$ , jedná se o laminární proudění a jestli je vyšší, jedná se o turbulentní proudění. Tato hranice je pouze teoretická, ve skutečnosti je kolem  $Re_{Dkrit}$  určena oblastí, kde nemůžeme s jistotou říci, o jaké proudění se jedná. Jak ukazují výsledky počítačových modelů, tak ke změně z laminárního na turbulentní proudění a naopak nedochází postupně, jak si vědci mysleli do roku 1970, ale náhlým skokem za jistých podmínek.

### 2.1.3 Druhy proudění

Funkce průtokoměrů je zásadně ovlivněna prouděním měřené tekutiny v potrubí. Proudění [3] rozdělujeme na dva typy podle rozložení třecích a setrvačných sil v měřené tekutině. Obrázek 1 znázorňuje, jak se chová proudění při různé velikosti Reynoldsova čísla  $Re$ . V levé části obrázku je laminární proudění, v pravé části je znázorněno turbulentní proudění a ve středu je přechod mezi těmito prouděními, kde se projevují v určité míře obě proudění.



**Obrázek 1: Rychlostní profil pro různé druhy proudění tekutiny [3]**

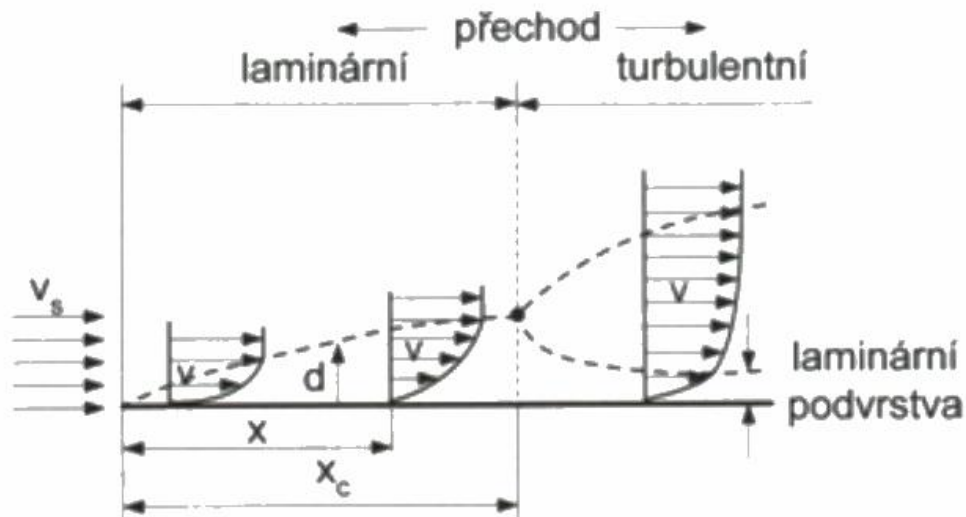
1. Při laminárním proudění převládá účinek třecích sil mezi navzájem se nemíchajícími vrstvami proudící kapaliny. Částice tekutiny se pohybují po drahách, které se navzájem nekříží. Rychlost se parabolicky zvětšuje ke středu potrubí, kde je největší, u stěn potrubí může být rychlost i nulová, jak bude popsáno v další kapitole.

2. Při turbulentním proudění dochází ke křížení drah částic tekutiny, vytváří se víry a chaotický pohyb tekutiny nepřispívající k průtoku. Ke zvýšení průtoku je nutné podstatné zvýšení tlaku. Rychlostní profil je téměř plochý a při proudění se projevují především účinky setrvačných sil.

Turbulentní proudění vzniká při míchání dvou nezávislých proudů, při rozdělování proudů nebo průchodu přes clonu.

## 2.1.4 Mezní vrstva

Mezní vrstva [3] je vrstva tekutiny, která přiléhá k povrchu obtékaného tělesa. Tato vrstva má specifické vlastnosti. Pohyb tekutiny v této vrstvě výrazně ovlivňuje viskozita. Pro mezní vrstvu je typický velký rozdíl rychlosti proudění od nulové rychlosti u obtékaného tělesa až k rychlosti proudu v potrubí.

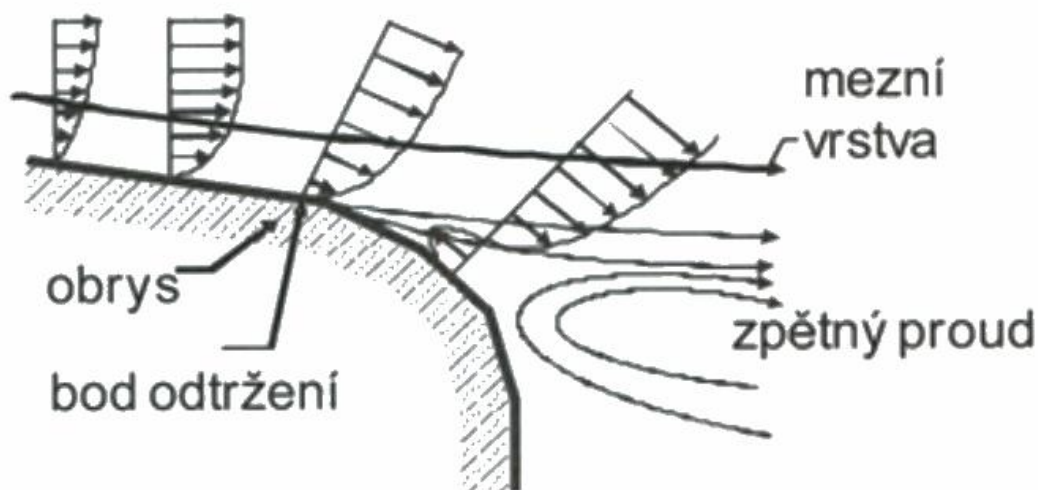


**Obrázek 2: Vznik mezní vrstvy na povrchu stěny potrubí [3]**

Obrázek 2 znázorňuje vývoj mezní vrstvy čárkovanou čarou.

U náběžné hrany potrubí je teoreticky tloušťka mezní vrstvy teoreticky nulová a od začátku potrubí se zvětšuje a má laminární charakter. V jisté kritické vzdálenosti od vstupu do potrubí  $x_c$  dosahuje hodnota  $d$  maxima. V tomto bodě se mezní vrstva stává nestabilní a nad laminární vrstvou vzniká turbulentní proudění s úplně vyvinutým rychlostním profilem.

Hodnota kritické vzdálenosti  $x_c$  závisí na drsnosti stěn potrubí a úrovni turbulencí v tekutině. Za určitých podmínek dochází k odtržení proudu. Tohoto se využívá pro návrh překážek u vírových průtokoměrů.



**Obrázek 3: Odtržení proudu v zadní části obtékaného objektu [3]**

Mezní vrstva významně ovlivňuje měření průtoků, protože většina základních částí průtokoměrů je umístěna v mezní vrstvě nebo v jejím bezprostředním okolí. Toto ovlivňuje například turbínové průtokoměry, průtokoměry s tlakovou diferencí a také indukční průtokoměry.

### 2.1.5 Viskozita

Viskozita [3] je vlastnost reálné tekutiny, která způsobuje vznik nenulového smykového napětí mezi dvěma sousedními vrstvami tekutiny pohybující se různou rychlostí.

Smykové napětí je důsledkem vazebních sil mezi molekulami tekutiny, a proto nucený pohyb tekutiny vyvolává přídavné vnitřní síly nebo vnitřní tření. Příklad existence rozdílu rychlostí v jednotlivých vrstvách pohybující se tekutiny zobrazuje Obrázek 4.

Tekutina se pohybuje mezi pevnou stěnou a pohybující se deskou o ploše  $A$  pohybující se účinkem síly  $F$  rychlostí  $v$ . Gradient rychlosti podél tloušťky proudící tekutiny  $\frac{dv}{dx}$

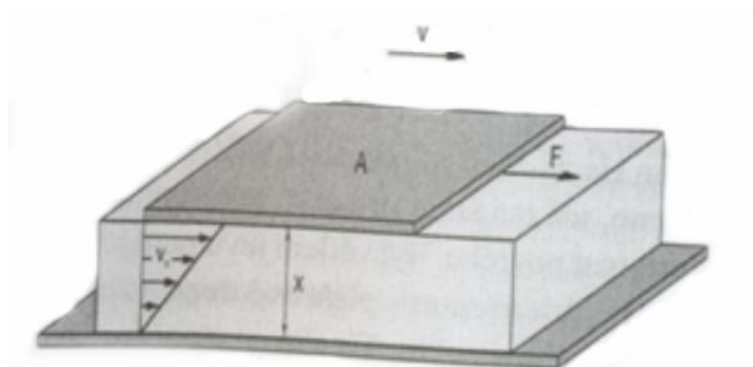
vzniká, protože rychlost tekutiny v těsné blízkosti nepohybující se stěny je téměř nulová, zatímco pod pohybující se deskou dosahuje rychlost  $v$

Smykové napětí mezi jednotlivými vrstvami je:

$$\frac{F}{A} = \tau = \eta \frac{dv}{dx} \quad (2.1.12)$$

$A$  je úměrné gradientu rychlosti podél průřezu tekutiny. Konstanta úměrnosti je nazývána dynamickou nebo absolutní viskozitou.

Dynamická viskozita je udávána v těchto jednotkách: *P-Poise*, *cP-centipoise*, *Pa.s*, *Ns.m<sup>-2</sup>*. Pro převod jednotek platí  $1cP = 1 mPa.s$ .



**Obrázek 4: Znázornění rozdílů rychlostí v tekutině [3]**

Poté máme ještě kinetickou viskozitu  $\nu$  [ $mm^2/s$ ] definovanou podílem úměrnosti tekutiny a hustotou tekutiny.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.1.13)$$

Viskozita má zásadní vliv na měření průtoku v potrubí, protože s místní rychlostí, polohou v potrubí a drsností stěn určuje rychlostní profil v potrubí.

## 2.1.6 Rozdělení senzorů v průtokoměrech

V senzorech průtoku dochází k transformaci měřené veličiny průtoku na jinou fyzikální veličinu jednoznačně funkčně závislou na rychlosti proudící tekutiny. Základní rozdělení [3] senzorů v průtokoměrech je na přímé a nepřímé měření a zobrazuje je Obrázek 5.

Přímé měření objemového nebo hmotnostního průtoku je možné dávkovými senzory, rozdělujícími tekutinu na přesně definované díly a transportujícími je ve směru proudění. Základem konstrukce těchto senzorů jsou odměrné nádoby, které se kinetickou energií proudící kapaliny samočinně střídavě plní a vyprazdňují. Dalším



typem přímých průtokoměrů jsou průtokoměry založené na vážení jisté části protékající látky. Používá se jich zejména pro měření protečeného množství pevných látek. Většina měření průtoku je nepřímých a vychází ze závislosti výstupní veličiny průtokoměru na kinetické energii nebo rychlosti proudění tekutiny.



Obrázek 5: Rozdělení průtokoměrů [3]

### 2.1.6.1 Základní metody měření průtoku

Průtokoměry využívající rychlostní metody [3] se používají převážně pro provozní měření a dělí se na:

- Průtokoměry s konstantním průtočným průřezem, u nichž je měřítkem průtoku okamžitá střední rychlost proudění, a které současně tvoří většinu provozních průtokoměrů (*ultrazvukové, indukční, turbínové...*)
- Průtokoměry s konstantní střední rychlostí proudění, u nichž je měřítkem průtoku velikost průtočného průřezu (*plováčkové průtokoměry - rotametry a jejich modifikace*)

Mechanické účinky kinetické energie proudící tekutiny využívají průtokoměry deformační, objemové a gyroskopické. Gyroskopické průtokoměry pracují s rotujícím potrubím a spolu s prvními konstrukcemi Coriolisových průtokoměrů jsou málo užívané a zastaralé. Pro praxi mají z této skupiny v současné době největší význam průtokoměry objemové. Proto se ujalo dělení průtokoměrů na rychlostní a objemové.

### **2.1.6.2 Požadavky na snímače průtoku a průtokoměry [3]**

Při výběru vhodného snímače průtoku je nutné brát ohled na mnoho různých vlivů, z nichž z technického hlediska patří k nejvýznamnějším:

- pracovní činnost - spojitá, nespojitá; jednorázová, trvalá, laboratorní, provozní
- druh, vlastnosti a hodnoty parametrů měřené tekutiny – kapalina, pára, plyn; chemická agresivita tekutiny; hodnoty teploty, tlaku, viskozity...
- měřicí místo a jeho parametry - potrubí, otevřený kanál, jejich rozměry a jiné parametry, přístupnost náběhové délky...
- rušivé vlivy senzorů - trvalá tlaková ztráta, časové zpoždění údaje;
- přesnost (nejistoty) měření - bez korekce/s korekcemi

Nejistoty měření jsou určeny fyzikálním principem činnosti senzoru, zejména jeho čidla. Zvláště vysoké jsou nároky na určení nejistoty měření průtoku pro bilanční měření.

Dosažitelnost přesnosti měření výrazně omezují parametry tekutiny (tlak, teplota, viskozita...) a jejich změny. S ohledem na zvýšení ceny lze i pro extrémní parametry tekutiny realizovat průtokoměry s minimálními hodnotami nejistot. Podstatný je přitom výběr fyzikálního principu činnosti senzoru průtoku.

## **2.2 Průtokoměry**

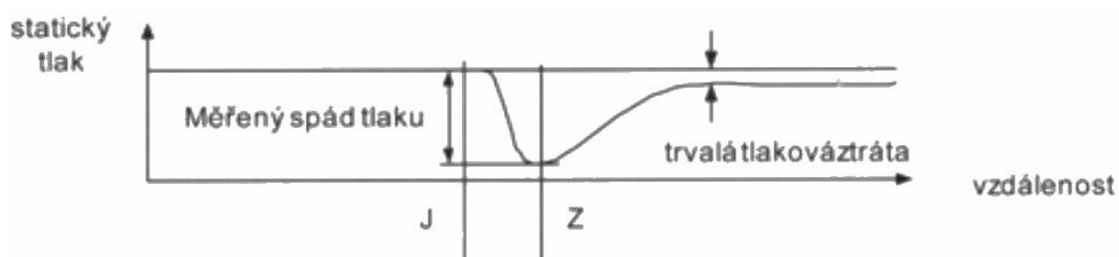
Průtokoměry jsou snímače, které transformují měřenou veličinu průtoku na jinou fyzikálně jednoznačně závislou veličinu. Průtokoměry máme:

- Průtokoměr na principu tlakového rozdílu
- Plováčkové průtokoměry
- Turbínové a lopatkové průtokoměry
- Objemové průtokoměry
- Ultrazvukové průtokoměry

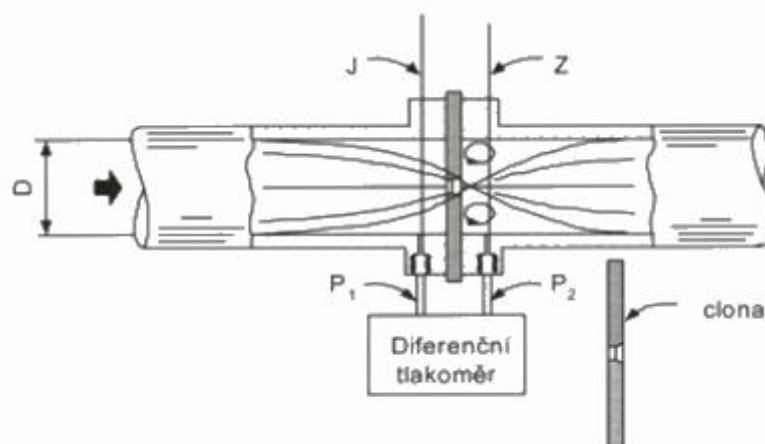
### **2.2.1 Průtokoměry na principu tlakového rozdílu**

Tyto průtokoměry [3] využívají principu zachování energie v proudící tekutině popsaný Bernoulliho rovnicí. Proudící tekutina vytváří kinetickou energii, která vyvolává vzrůst

dynamického a pokles statického tlaku, ale totální tlak (součet dynamického a statického tlaku) zůstává konstantní. Z dynamického tlaku lze určit rychlost proudění. Dynamický tlak se dá určit jako rozdíl tlaku před překážkou a za překážkou. Pro měření statického tlaku se používá tlakový senzor, který je orientován kolmo na směr proudění. Obrázek 6 ukazuje vývoj statického tlaku v potrubí s překážkou. Body J a Z jsou místa, kde měříme tlak.



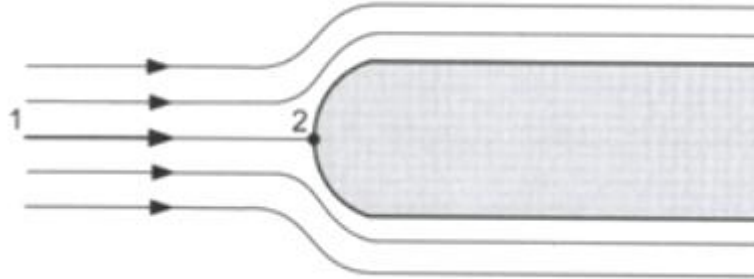
Obrázek 6: Průběh tlaku, proudnic v závislosti na vzdálenosti od clony [3]



Obrázek 7: K určení tlaku v potrubí se používá odběru tlaku ve vzdálenosti [3]

### 2.2.1.1 Pitotova trubice

Při nárazu tekoucí tekutiny na tupé těleso [3], vypadají proudnice podobně, jak ukazuje Obrázek 8.



**Obrázek 8: Rozložení proudnice kolem tupé překážky [3]**

Jak je vidět na obrázku, tak proudnice obtékají překážku shora i zespodu. A střední proudnice se zastaví na vrcholu překážky (v Obrázek 8 znázorněn jako bod 2). V tomto bodě tekutina neproudí, toto místo se nazývá bodem stagnace a rychlost proudění je nulová. Tlak v tomto bodě se dá vypočítat z Bernoulliho rovnice aplikované kolem střední proudnice z bodu 1 do bodu 2. V bodě 1 je rychlost  $v_1$  [m/s] a tlak  $p_1$  [Pa], a v bodě stagnace je tlak  $p_2$  [Pa] a rychlost  $v_2 = 0$  [m/s]. Oba body jsou v horizontální rovině a proto  $h_1 = h_2$ .

Podle Bernoulliho rovnice pro  $v_2 = 0$  platí:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2. \quad (2.2.1)$$

Překážka v tekoucí tekutině nemusí být tuhé těleso, ale může se jednat o statický sloupec tekutiny.

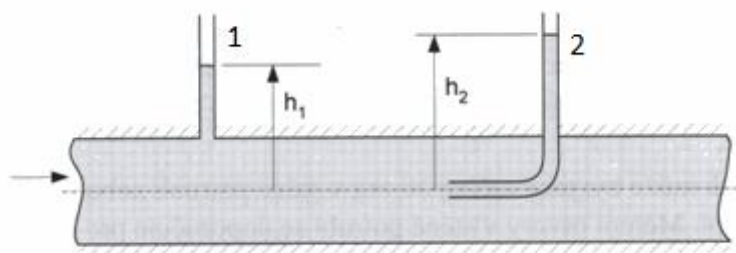
Při znalosti totálního tlaku  $p_2$  a statického tlaku  $p_1$  můžeme určit rychlost proudění  $v$ .

Totální tlak se měří ve směru proudění a statický kolmo k proudění.

Pokud použijeme princip, který zobrazuje Obrázek 9, tak je tlak měřen kapalinovými manometry. A výška sloupce 1 tekutiny je statický tlak  $h_1$  [m] a výška sloupce 2 je totální tlak  $h_2$  [m].

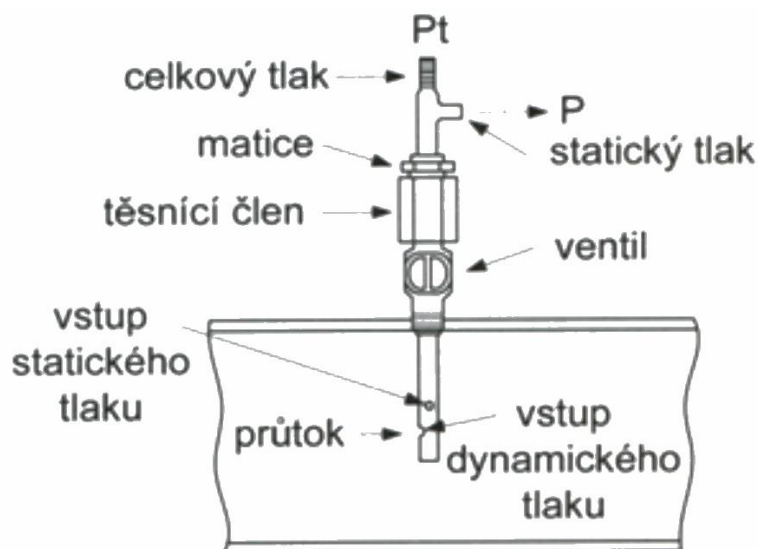
Pro rychlost potom platí:

$$v = \sqrt{2g(h_2 - h_1)}. \quad (2.2.2)$$



**Obrázek 9: Princip Pitotovy trubice [3]**

Objemový průtok zjistíme, pokud vynásobíme rychlost a plochu průřezu. Je nutné však nastavit otvor pro totální tlak na místo, kde proudění dosahuje průměrné rychlosti. Toto nastavení je však obtížné, neboť rychlostní profil se mění v závislosti na rychlosti, proto se doporučuje používat Pitotovu trubici jen pro turbulentní proudění ( $Re > 20000$ ), kdy je rychlostní profil plochý. Ale často se používá už od  $Re > 4000$ .



**Obrázek 10: Pitotova trubice s dvojitou stěnou [3]**

Pro  $Re < 4000$  je možná korekce totálního tlaku korekčního činitele podle vztahu

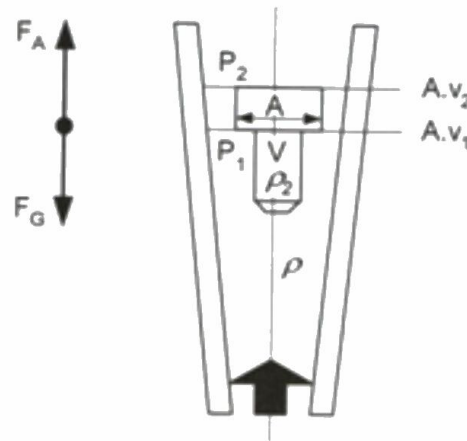
$$p_t = p_s + \frac{C_p v^2}{2}. \quad (2.2.3)$$

Tvar trubice ovlivňuje funkci Reynoldsova čísla  $C_p[-]$ . Pro válcovou trubici platí

$$C_p = 1 + \frac{4}{Re}. \quad (2.2.4)$$

## 2.2.2 Plováčkové průtokoměry

U těchto průtokoměrů [3] zůstává tlaková diference konstantní a rychlost proudění se určuje podle plováčku, který mění svojí polohu podle toho, jak se mění rychlost proudění.



Obrázek 11: K odvození funkce plováčkového průtokoměru [3]

Plováček známé ploše  $A$  [ $\text{m}^2$ ], hustotě  $\rho_2$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] a objemu  $V$  se vznáší v proudící tekutině se známou hustotou  $\rho$  v konické trubici. Ustálí se v poloze, kde se vyrovná známá síla  $F_g$  [N] se silou  $F_A$  [N], kterou vyvolá proudící tekutina na plováček. Konický tvar trubice zapříčiní, že ve spodní části je menší průřez než v horní části konické trubice. Díky tomu se na základě Bernoulliho rovnice budou lišit statické tlaky  $p_1$  [Pa] a  $p_2$  [Pa] a rychlosti  $v_1$  [m/s] a  $v_2$  [m/s] na spodní a vrchní části plováčku.

Síla je složena:

1.  $A \cdot p_1$  je síla odpovídající statickému tlaku tekutiny
2.  $V \cdot \rho \cdot g$  je vztlaková síla vyvolaná plovákem
3.  $A \frac{\rho v_1^2}{2}$  je síla způsobena dynamickým tlakem při rychlosti proudění  $v_1$  na dolní straně plováku

Stejně tak síla  $F_g$ , působící proti síle  $F_A$  je složena

1.  $A \cdot p_2$  je síla odpovídající statickému tlaku  $p_2$
2.  $V \cdot \rho_2 \cdot g$  je váhou plováku

Pro rovnováhu na dolní straně plováčku pak platí:

$$F_a = F_g. \quad (2.2.5)$$

$$A \frac{\rho v_1^2}{2} + V \cdot \rho \cdot g + A \cdot p_1 = A \cdot p_2 + V \cdot \rho_2 \cdot g. \quad (2.2.6)$$

Pro rychlost poté platí:

$$v_1^2 = \frac{2Vg}{A\rho} (\rho_2 - \rho) - \frac{2}{\rho} (p_1 - p_2). \quad (2.2.7)$$

Z Bernoulliho rovnice vyplývá:

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}. \quad (2.2.8)$$

Po dosazení můžeme určit hodnotu  $v_2$ :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2Vg}{A\rho} (\rho_2 - \rho)}. \quad (2.2.9)$$

### 2.2.3 Turbínové a lopatkové průtokoměry

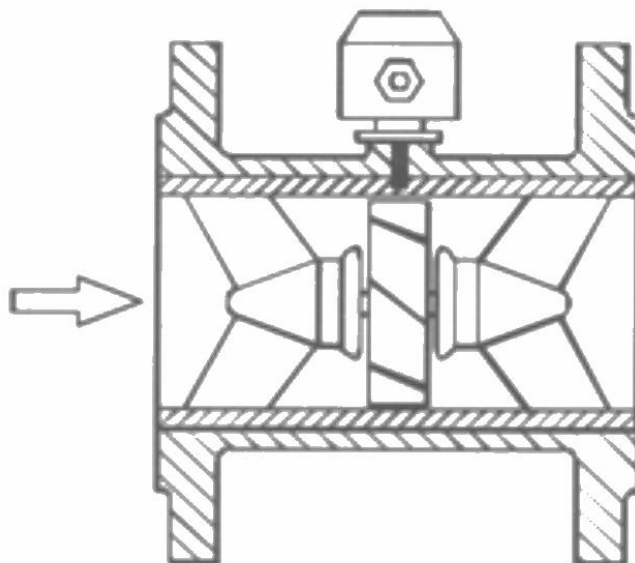
Tyto průtokoměry [3] obsahují lopatkový rotor, který je protékající kapalinou uváděn do rotačního pohybu. Rotor je složen z několika lopatek, které jsou vhodně zakřiveny, a každý oběh lopatky odpovídá danému objemovému množství. Řež tohoto průtokoměru zobrazuje Obrázek 12. Objemový průtok se určuje z toho, kolikrát se rotor otočí.

Otáčky rotoru jsou snímány snímačem polohy. Měřený objemový průtok není závislý na hmotnosti tekutiny a odpovídá přímo protečenému objemovému množství.

Výstupem turbínových a lopatkových průtokoměrů jsou impulzy, získané ze senzoru polohy. Měřená veličina je frekvence těchto pulzů. Objemový průtok poté odpovídá v ideálním případě přímo této frekvenci, jak je popsáno vztahem:

$$q_v = \frac{f}{K_t}. \quad (2.2.10)$$

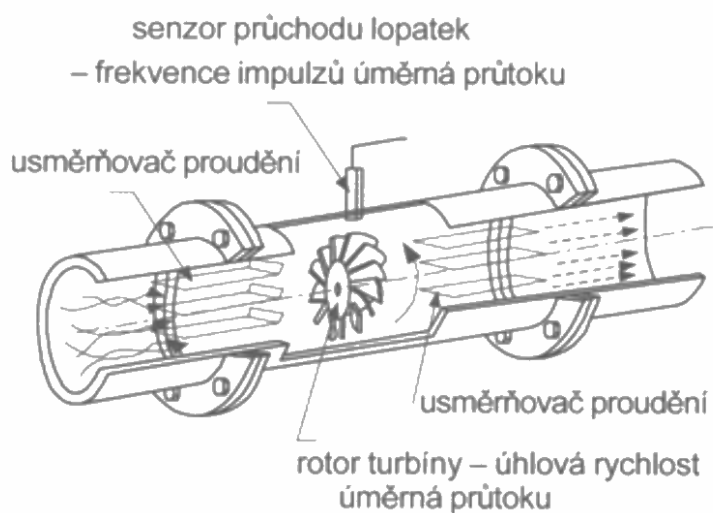
kde  $K_t$  je součinitel turbínového průtokoměru.



**Obrázek 12: Řez turbínovým průtokoměrem [3]**

Turbínové průtokoměry mají širokou lineární závislost úhlové rychlosti rotoru na rychlosti proudění. Pro tento předpoklad je ale potřeba minimalizovat ztráty třením. Při typickém uspořádání spolehlivě pracují v rozmezí Reynoldsova čísla 4000 až 20 000.

V typickém provedení turbínového průtokoměru jsou před a za rotor umístěny usměřovače proudění, jak ukazuje Obrázek 13



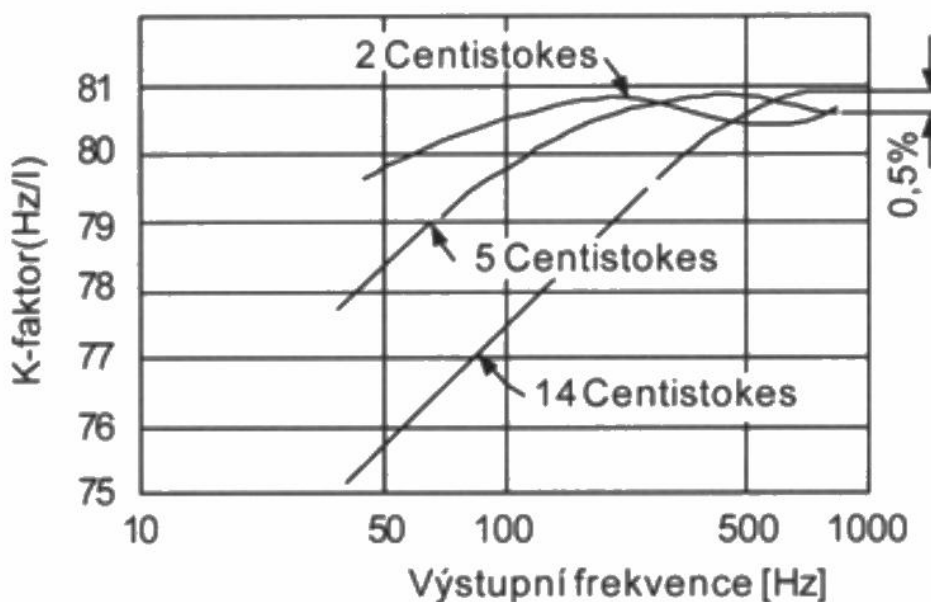
**Obrázek 13: Vnitřní uspořádání typického turbínového průtokoměru [3]**



### 2.2.3.1 Účinky viskozity na turbínové průtokoměry

Viskozita [3] ovlivňuje tloušťku mezní vrstvy a to ovlivňuje délku a tvar lopatek. To vede k nelinearitě převodní charakteristiky. Hodnota viskozity ale také ovlivňuje tření v ložiskách, a to způsobuje zpomalení otáčení rotoru. Oba účinky v konečném důsledku vyvolají změnu Reynoldsova čísla.

Obrázek 14 zobrazuje, jak viskozita ovlivňuje velikost K-faktoru při různém průtoku. Obrázek 14 také ukazuje, že čím větší je viskozita, tím je menší K-faktor, ale při větším průtoku se tyto hodnoty srovnávají.



Obrázek 14: Typický průběh závislosti vlivy viskozity na součiniteli K pro turbínový průtokoměr o průměru 25mm [3]

### 2.2.4 Objemové průtokoměry

Objemové průtokoměry [3] měří přímo objem nebo hmotnost protečené tekutiny. Můžou být spojité nebo diskrétní. Spojité jsou takové, které po jistý čas akumulují tekutinu a po uplynutí tohoto času je znám údaj o měřeném objemu. Diskrétní objemové průtokoměry fungují na principu dělení tekutiny na konečné dávky. Z toho plyne jejich název a to dávkovací průtokoměry. Proudící tekutina je donucena rozdělit se na jednotlivé dávky, které jsou přesně vymezeny. Počet dávek se zaznamenává a z této informace jsme schopni získat informaci o objemovém průtoku.

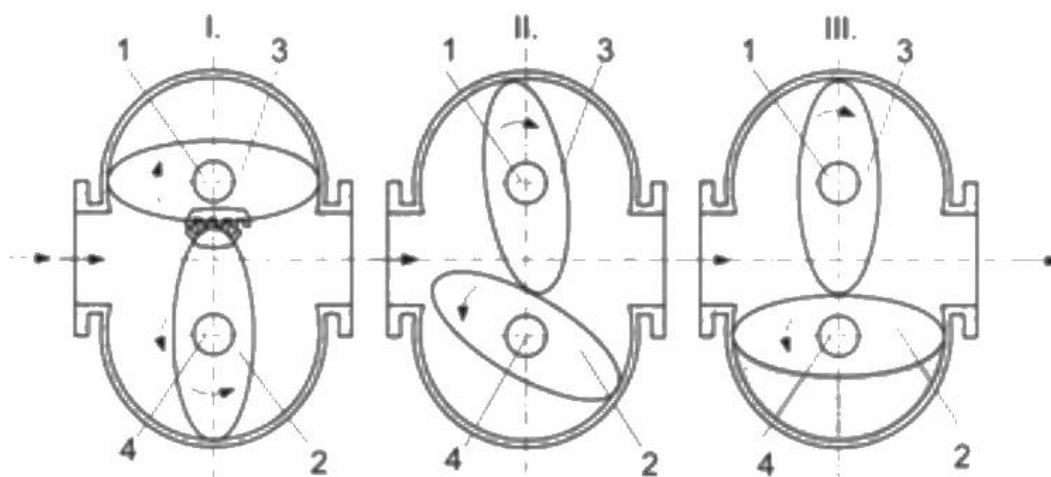
Objemové průtokoměry dokážou měřit s malou nejistotou a patří mezi skupinu fakturačních průtokoměrů. Pro správnou činnost objemových průtokoměrů je třeba měřit odplyněnou kapalinu, pro měření zpeněných kapalin se tento typ průtokoměrů nehodí.

#### 2.2.4.1 Oválný průtokoměr

Tento druh průtokoměrů [3] je složen ze dvou ozubených oválných těles a komory. Tyto tělesa do sebe zapadají. Tělesa jsou poháněna rozdílem tlaků, které na ně působí. Tímto pohybem vznikají mezi tělesy a stěnou průtokoměru komory o stanoveném objemu.

Sledují se otáčky jednoho z těles, počet otáček se čítá čítačem. Tato hodnota je přímo úměrná objemovému průtoku. Mechanické uspořádání ukazuje Obrázek 15.

Tento typ průtokoměrů se dá použít na měření průtoku kapalin, které mají tlak až 2 Mpa, mohou mít teplotu do 290 °C a může být dosaženo velké přesnosti od 0,05 až 0,01 %, podle toho, v jaké části rozsahu průtokoměru se aktuálně měří a jaká je viskozita kapaliny. Největší nevýhodou tohoto průtokoměru je, že způsobuje tlakové pulzy na výstupním potrubí a tím způsobuje kolísání průtoku. Životnost průtokoměru je ovlivněna měřenou kapalinou, a to především její schopností mazat ozubená tělesa.



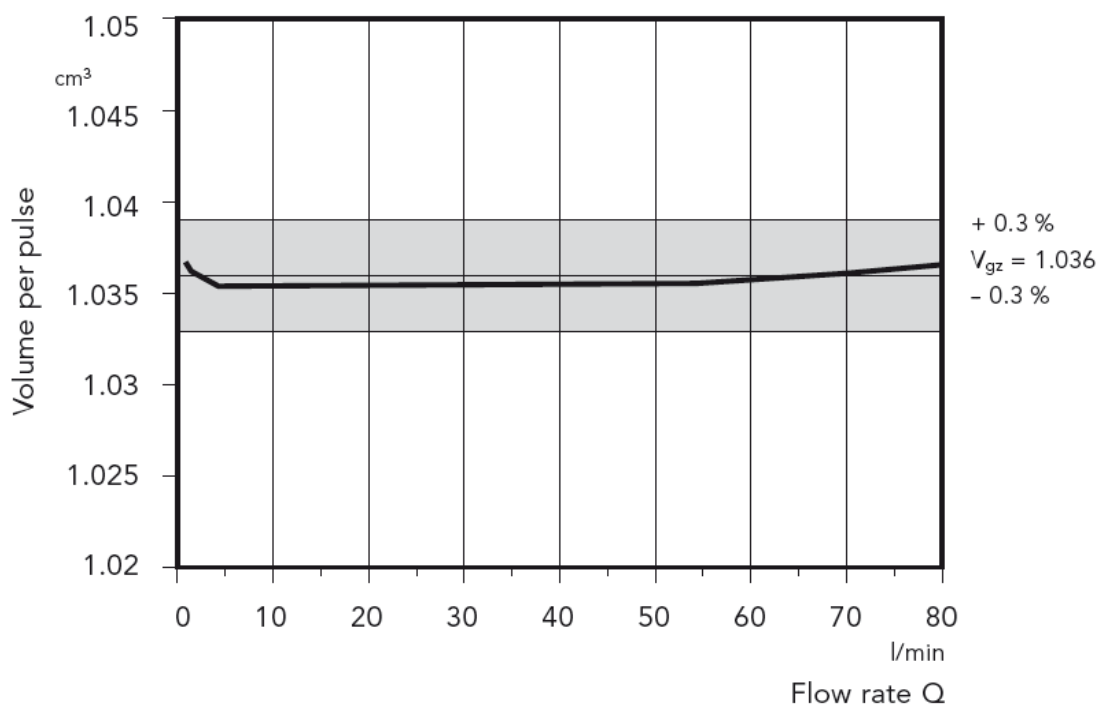
Obrázek 15: Fáze činnosti oválného průtokoměru [3]

#### **2.2.4.2 Zubový průtokoměr**

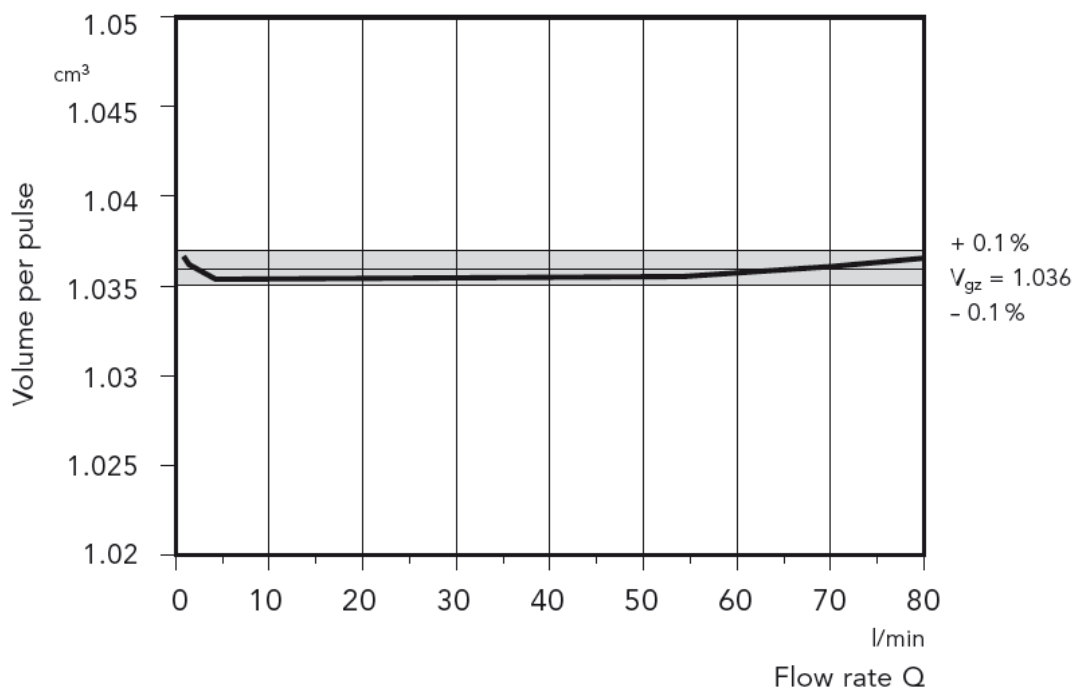
Kapalina je měřena ozubeným soukolím [3], [15], které zachycuje kapalinu a posouvá ji k výtokovému otvoru. Na elektrickém výstupu se generuje obdélníkový průběh, jehož frekvence odpovídá frekvenci otáčení zubů ozubeného kola pod snímačem polohy. Každému pulzu na výstupu odpovídá přesně stanovený objem měřené kapaliny. Přesnost se pohybuje kolem 0.1 % a závisí na výrobci a přesnosti provedení. Jedná se o velice přesné měřicí přístroje. Dají se vyrábět z různých materiálů, které musí mít vysokou odolnost proti opotřebení.

### **2.3 Popis zubových průtokoměrů Kracht**

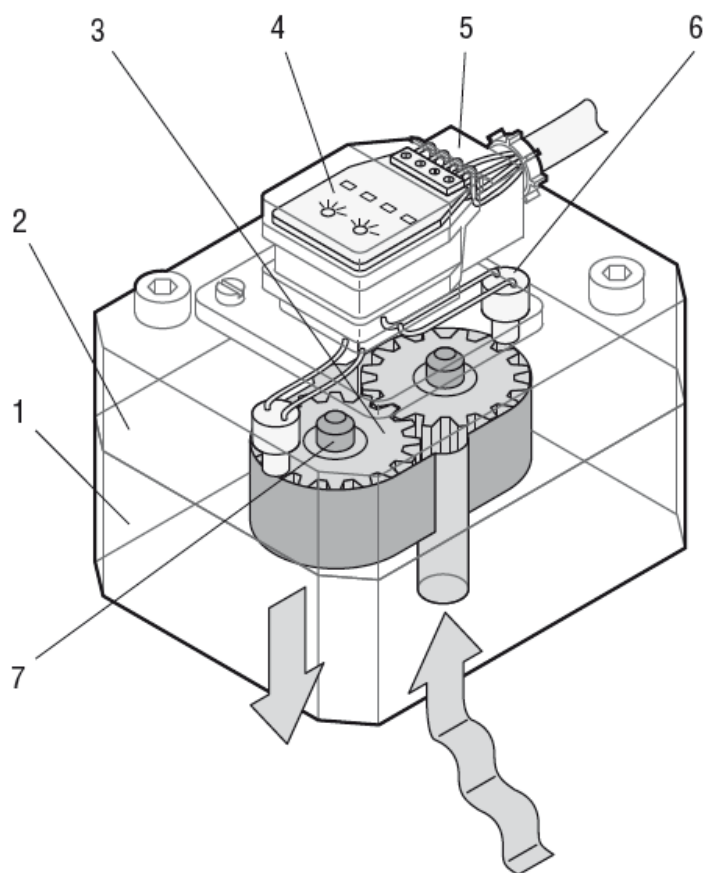
Zubové průtokoměry Kracht [16] jsou průtokoměry objemové. Zubové průtokoměry Kracht se vyrábějí ze zušlechtné nebo nerezové oceli, v několika provedeních pro průtoky od 0,001 do 700 l/min. Linearita je podle výrobce lepší než 0,1 %. Přesnost udávaná výrobcem je od 0,3 do 1 % a liší se podle detailů konstrukce průtokoměrů. Závislost přesnosti na průtoku a závislost linearity na průtoku zobrazuje Obrázek 16 a Obrázek 17. Konstrukci průtokoměrů ukazuje Obrázek 18. Průtokoměr je podle výrobce schopen měřit kapaliny s viskozitou 1-10 000 mm<sup>2</sup>/s. Linearita je podle výrobce lepší než 0,1 %. Tato linearita tím pádem i přesnost jsou ale pouze pro viskozity pochybující se kolem 20 mm<sup>2</sup>/s, při nižších viskozitách se průtokoměr stává nelineárním. Velikost částic, se kterými je průtokoměr schopen měřit se liší podle konstrukce, ale maximální částice se pohybují od 20 do 50 μm.



**Obrázek 16: Přesnost zubového průtokoměru VC 1 [16]**



**Obrázek 17: Linearita zubového průtokoměru VC 1 [16]**



**Obrázek 18: Konstrukce průtokoměru Kracht [16]**

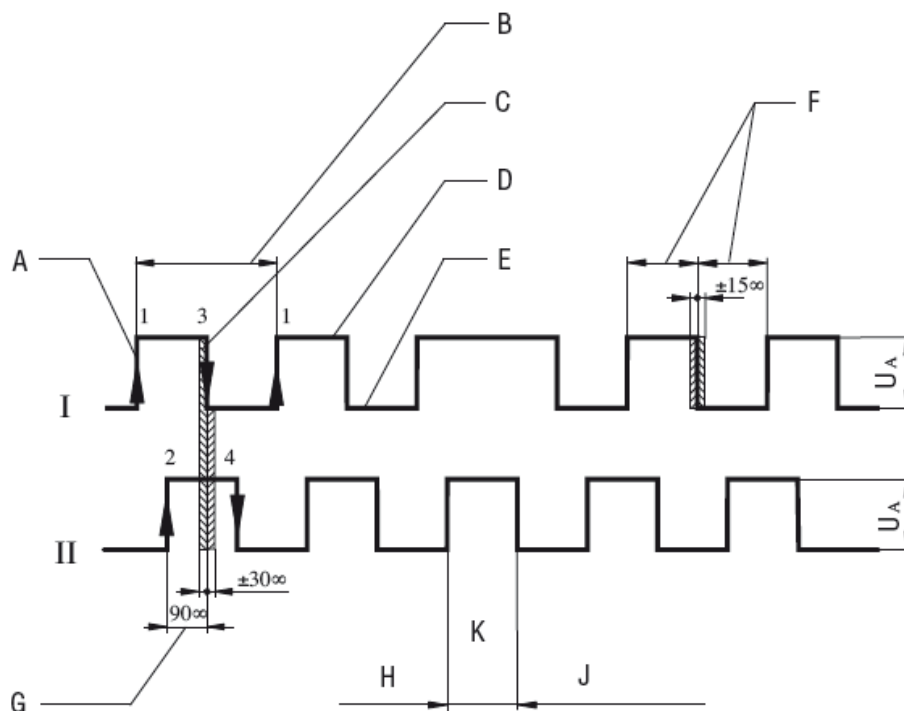
**Tabulka 1: Vlastnosti jednotlivých průtokoměrů Kracht**

Označení	Nominální velikost [ml]	Min. průtok [l/min]	Max. průtok [l/min]	K-faktor [imp/l]
VC 0025	0.0025	0,001	2	40000
VC 004	0.04	0,02	4	25000
VC 01	0.1	0,04	8	10000
VC 1	1	0,4	80	965,25
VC 5	5	1	250	191,5
VC 16	16	3	700	62,5

Všechny průtokoměry jsou napájeny napětím v rozmezí 12 – 30 V a mají dva výstupní signály, jejichž časové průběhy zobrazuje Obrázek 19. Pro výstupní napětí  $U_a$  platí

$$U_a \geq 0,8U_{nap}$$

A. Náběžná hrana	B. Jeden puls	C. Sestupná hrana
D. On úroveň	E. Off úroveň	F. Duty faktor 1:1 ±15%
G. Fáze mezi kanály 1 a 2		H. Směr proudění kapaliny 1
I. Obrácení směru proudění		J. Směr proudění kapaliny 2



Obrázek 19: Výstupní signál z průtokoměrů Kracht [16]

## 2.4 Výpočet průtoku s průtokoměrem Kracht

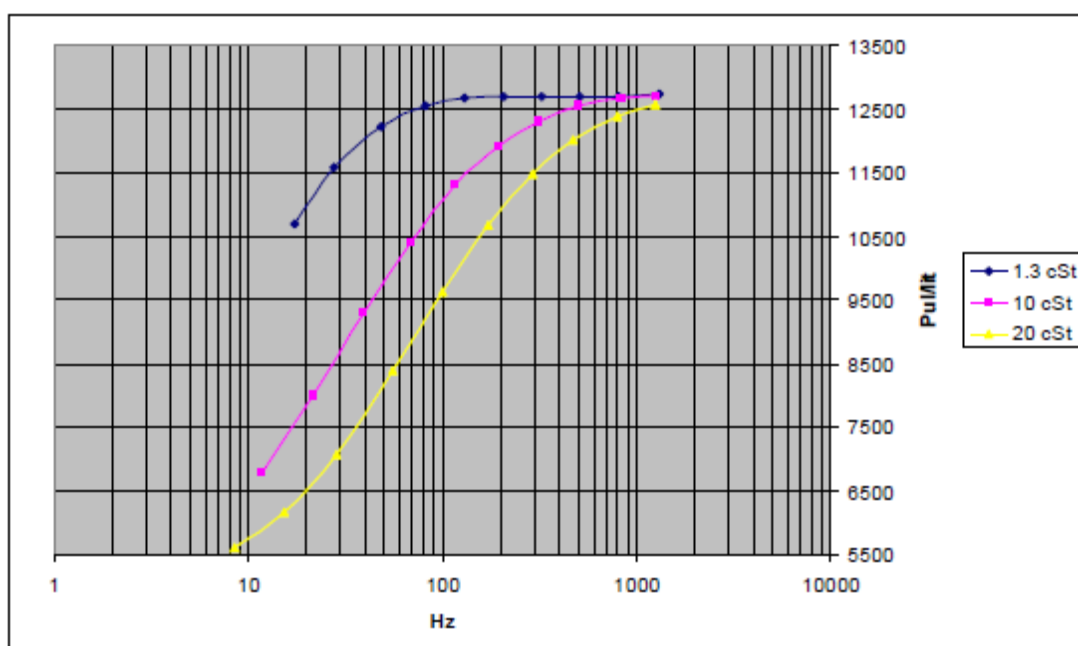
Výpočet průtoku ve vyhodnocovacích jednotkách od firmy Kracht je prováděn dvěma způsoby. V prvním případě se počítá s pomocí konstanty. Konstanta udává velikost komůrky zubového průtokoměru. Výsledný průtok se pak dopočítá podle následujícího vzorce:

$$Q = 3600 \cdot g_v \cdot f \quad (2.4.1)$$

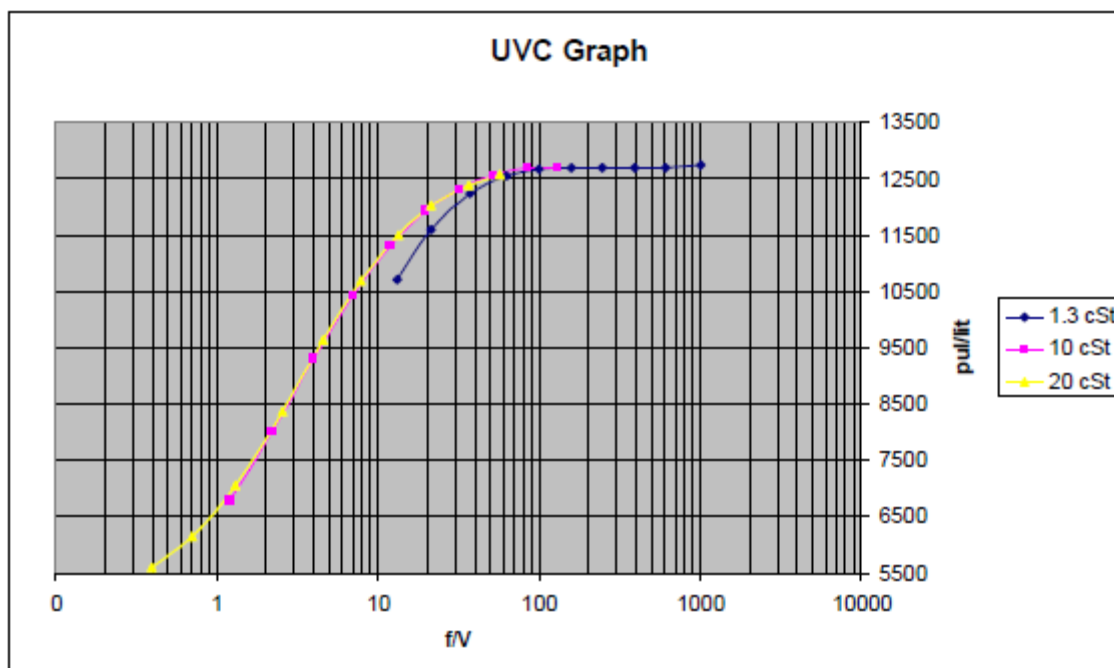
V některých jednotkách je pak použit druhý způsob. Ten spočívá v tom, že je do vyhodnocovací jednotky nahrána korekční křivka, která je změřena pro určitou viskozitu. Výrobce průtokoměrů Kracht ani nikdo jiný nevyrobí vyhodnocovací

jednotku pro zubové průtokoměry, která je schopná korigovat hodnotu průtoku při různých viskozitách měřené kapaliny.

Firma Trigas [17] dodává vyhodnocovací jednotku k turbínovým průtokoměrům, která za pomoci Universal Viscosity Curve (UVC křivky) je schopná měřit s proměnou viskozitou, neboť vliv viskozity je pomocí UVC křivky kompenzován. UVC křivka, která je složena s korekčních křivek, které zobrazuje Obrázek 20. U těchto křivek se hodnoty frekvence podělí hodnotou viskozity. Z grafu se odstraní body, které se výrazně vzdalují od ostatních. To popisuje Obrázek 21, na kterém je vidět, že první tři body pro viskozitu 1,3 cSt se nepřekrývají s ostatními, ze zbylých bodů se pak vytvoří UVC křivka a to tak, že v místě, kde je změřeno více křivek, se body z jednotlivých křivek střídají a v místě, kde je změřena jen jedna křivka, se berou jen body z této křivky. Firma Trigas uvádí, že tento způsob vyhodnocení, díky různému vlivu viskozity na jednotlivé principy měření, nelze použít na jiné průtokoměry než turbínové.



Obrázek 20: Závislost K-faktoru frekvenci [17]



Obrázek 21: Tvorba UVC křivky [17]

## 2.5 Měření teploty

Měření teploty patří k jednomu z nejstarších úkolů měřicí techniky v lidské historii. Zvýšená teplota může indikovat počínající opotřebení, zároveň může být i příčinou destrukce dílů, zejména plastových. Teplota je příčinou roztažnosti materiálů. V mém případě má teplota výrazný vliv na vymezení vůlí v ozubeném soukolí a tedy na výslednou těsnost průtokoměru. Zároveň má teplota vliv na viskozitu kapaliny, což je druhý klíčový parametr při měření průtoku zubovým průtokoměrem.

### 2.5.1 Teplota

Teplota [4] je stavová veličina určující stav termodynamické rovnováhy tj. stav, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny fyzikální veličiny, jimiž je stav soustavy popsán, nezávisí na čase. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy těles. Fyzikální veličina teplota se nesmí zaměňovat za fyzikální veličinu teplo, neboť teplo z termodynamické rovnice je forma energie související s pohybem částic dané soustavy těles, ale není stavovou veličinou, protože nezávisí na přítomném stavu soustavy, ale na celé minulosti vývoje



této soustavy. Teplota je jedna z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy vždy měření nepřímé.

## 2.5.2 Teplotní stupnice

Termodynamická teplotní stupnice [4] je definována na základě vratného Carnotova cyklu. Účinnost vratných Carnotových cyklů pracujících mezi stejnými lázněmi určitých teplot není závislá na teploměrné látce a závisí pouze na teplotách těchto lázní. Když je  $T_2 > T_1$  tak platí:

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}. \quad (2.5.1)$$

$\eta$  [-] - je účinnost cyklu

$T$  [K] - termodynamická teplota

$Q_1$  [J] - odebrané teplo z lázně 1, která má teplotu  $T_1$

$Q_2$  [J] - odebrané teplo z lázně 2, která má teplotu  $T_2$

Celsiova stupnice je odvozena od Kelvinovy termodynamické stupnice, od které je posunuta o 273,15 K. Tato hodnota je odvozena z trojného bodu vody. Proto platí rovnice:

$$t[^\circ C] = T - T_0 = T - 273,15 [K]. \quad (2.5.2)$$

Z této rovnice plyne:

$$\Delta t = \Delta T. \quad (2.5.3)$$

## 2.5.3 Kovové odporové senzory teploty

Principem kovových odporových senzorů teploty [4] je změna odporu kovu v závislosti na jeho teplotě. Teplotní součinitel odporu  $\alpha [K^{-1}]$  je základní materiálovou konstantou, pro niž lze napsat rovnici ve tvaru:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\partial \ln(R)}{\partial t} = - \frac{\partial \ln(\sigma)}{\partial t} = \frac{\partial \ln(m)}{\partial t} - \frac{\partial \ln(\tau)}{\partial t} - \frac{\partial \ln(n)}{\partial t}. \quad (2.5.4)$$

$\sigma$  - je konduktivita

$n$  - počet elektronů v jednotkovém objemu

$\tau$  - relaxační čas elektronů

$m$  - efektivní hmotnost nosiče náboje

U kovů je jediným teplotně závislým parametrem relaxační čas. Tato hodnota je řádově  $10^{-13}$  s. Pro rozsah teploty 0-100 °C lze počítat podle následujícího vzorce jen s minimální nejistotou:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t). \quad (2.5.5)$$

$R_0$  [Ω] - je odpor čidla při teplotě 0 °C.

Hodnotu koeficientu  $\alpha$  lze určit jako střední hodnotu pro daný rozsah:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0}. \quad (2.5.6)$$

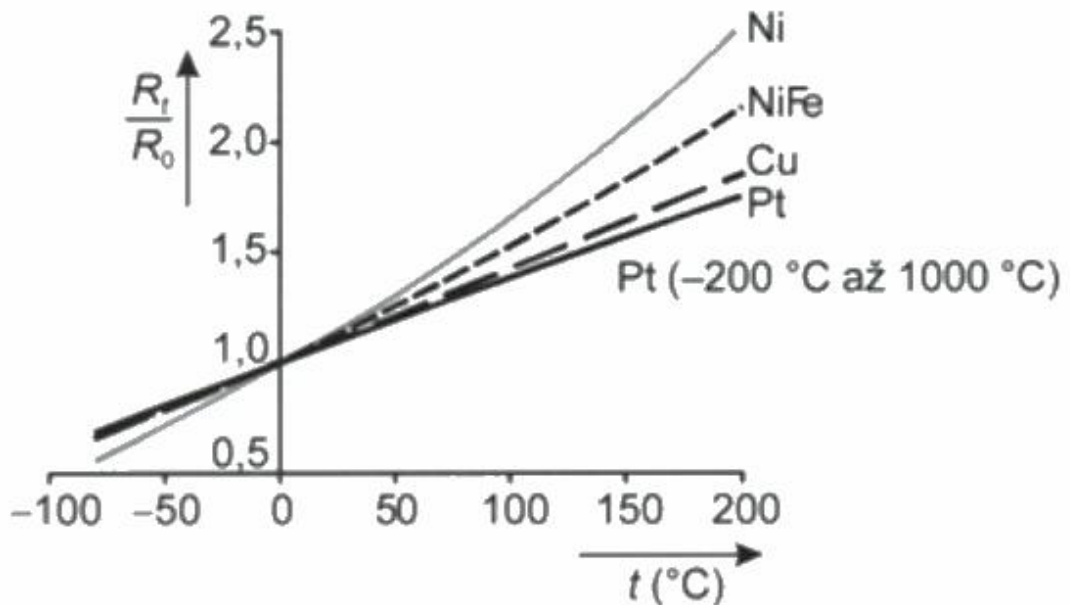
Jedním z důležitých parametrů u kovových odporových senzorů teploty je poměr odporů čidla při teplotě 100°C a 0°C. Tento poměr se označuje  $W_{100}$  [-] a platí pro něj vztah:

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0}. \quad (2.5.7)$$

Pro odporová teplotní čidla se hodí jen některé materiály, Tabulka 2 uvádí nejpoužívanější materiály i s jejich parametry.

**Tabulka 2: Materiály používané pro kovové snímače teploty [4]**

Materiál	$\alpha \cdot 10^2$ [K <sup>-1</sup> ]	Teplotní rozsah [°C]	Poměr odporů $W_{100}$ [-]
Platina	0,385 až 0,391	-20 až 850	1,3850
Nikl	0,617 až 0,675	-70 až 150 (200)	1,6180
Ni-Fe	0,518 až 0,527	-100 až 200	1,462
Měď	0,426 až 0,433	-50 až 150	1,4260



Obrázek 22: Teplotní závislost odporových kovových snímačů teploty [4]

### 2.5.3.1 Odporové platinové snímače teploty

Platina [4] má časově stálé parametry, a také se vyznačuje chemickou netečností a vysokou teplotou tání. Pro odporové platinové snímače teploty je potřeba mít platinu s čistotou 99,999 %. Čistota platiny se zjišťuje vyhodnocením poměru odporu při bodě tání galia a trojného bodu vody.

Odporové platinové snímače teploty se řídí normou IEC-751, ve které je předepsán poměr elektrického odporu  $W_{100} = 1,385$  a jsou v ní předepsány i dvě třídy přesnosti snímače.

Teplotní závislost odporu platinového snímače teploty pro rozsah teplot  $-200\text{ °C}$  až  $0\text{ °C}$  je dán vztahem:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)]. \quad (2.5.8)$$

a pro teploty v rozmezí  $0\text{ °C}$  až  $850\text{ °C}$  je dána vztahem:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2]. \quad (2.5.9)$$

kde  $R_0 = 100\ \Omega$

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3}\ \text{K}^{-1}$$

$$B = -5,80195 \cdot 10^{-7}\ \text{K}^{-2}$$

$$C = -4,27350 \cdot 10^{-12}\ \text{K}^{-3}$$

Z výše uvedených vztahů se dá vytvořit tabulka závislosti odporu na teplotě.

**Tabulka 3: Tabulka hodnot měřicího odporu Pt100 [9]**

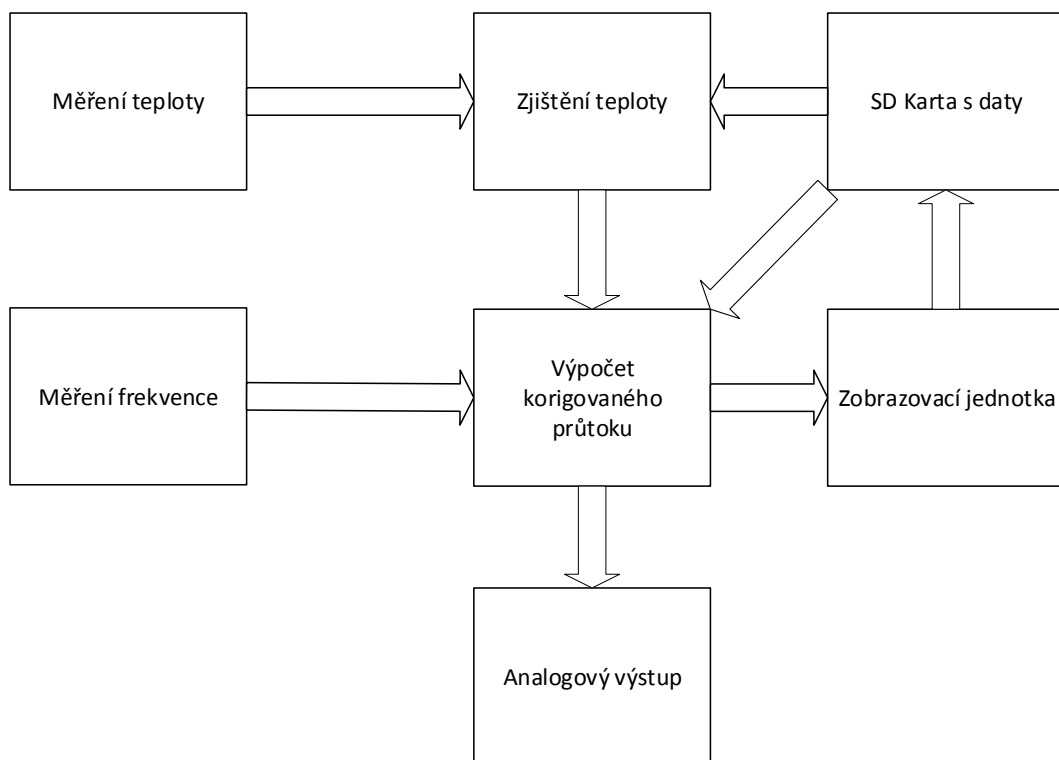
t	R [ $\Omega$ ]										t
$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$^{\circ}\text{C}$
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	0
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	50
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	110
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	120
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	130
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	140
150	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	150
160	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	160
170	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	170
180	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	180

### 3 ROZBOR POŽADAVKŮ ZADÁNÍ

Požadavky na zařízení byly formulovány v zadání od zadavatele, které je v příloze, a později doplněny o další požadavky, které vyplynuly z konzultací. Jsou to:

1. Měření teploty protékajícího média
2. Napěťový výstup 0 – 10 V se vzorkovací frekvencí 1 kHz pro korigovaný průtok
3. Možnost měření s kalibračními daty více průtokoměrů. Tento bod byl během práce zrušen, ale měl vliv na výběr mikrokontroléru.
4. Snadná změna používané kapaliny (resp. výběr křivky viskozity)
5. Využití na trhu běžně dostupného zařízení
6. Výpočty na 5 platných číslic
7. Zobrazení použité kapaliny na displeji.

Pro výpočet korigovaného průtoku budu muset měřit frekvenci (u průtokoměrů KRACHT z řady VC v rozsahu 0,5 Hz – 2 kHz), teplotu, a pro samotný výpočet bude ještě zapotřebí křivka závislosti viskozity kapaliny na teplotě a kalibrační křivky jednoho konkrétního průtokoměru, získané při různých viskozitách, a to v rozsahu, ve kterém bude průtokoměr používán. V našem případě se bude jednat o rozsah teplot 20-160°C a průtoky v rozmezí 0,5 – 1200 l/h, podle použitého průtokoměru. Kalibrační křivky budou upravovány uživatelem v aplikaci, jejímž vstupem budou soubory z kalibrátoru. Upravená data budou vkládána jako soubor na SD kartu v zobrazovací jednotce. Dále se budou v této aplikaci nejspíše vytvářet inicializační soubory, a také se v této aplikaci budou tyto soubory i upravovat. Následně budu vytvářet program do mikrokontroléru, který bude použit pro měření vstupů a výpočet korigovaného průtoku. Průtok a další měřené hodnoty budu dále zobrazovat buď na řádkovém displeji, nebo na grafickém displeji, pro který budu muset vytvořit grafické prostředí. Dalším výstupem z linearizační jednotky bude podle zadání analogový výstup (0 - 10 V). Blokové schéma linearizační jednotky je znázorněno na Obrázek 23. Linearizační jednotka bude obsahovat kalibrační data pouze jednoho průtokoměru, se kterým bude tvořit měřicí řetězec.

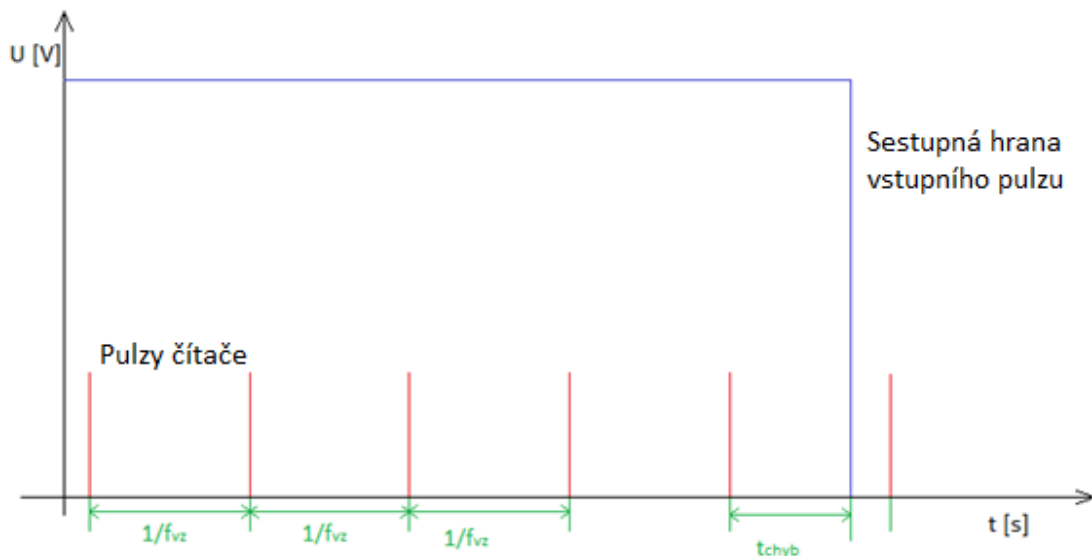


**Obrázek 23: Blokové schéma linearizační jednotky**

### 3.1 Návrh výpočetního algoritmu

Výpočetní algoritmus lze rozdělit na čtyři části.

První část algoritmu tvoří měření frekvence na digitálním vstupu. Frekvenci budu počítat z času periody a tu budu měřit pomocí čítače. Nejistota měření frekvence by měla být nižší, než 0,1 % při frekvenci 2 kHz, což je maximální frekvence z průtokoměrů. Přesnost měření frekvence je závislá jednak na přesnosti a stálosti hodinového signálu, jednak na chybě systémové. To je chyba, která vznikne díky tomu, že frekvence čítače není celočíselným násobkem frekvence na digitálním vstupu a není větší než 1 puls čítače. Popisuje ji Obrázek 24, kde  $f_{vz}$  je frekvence čítače a  $t_{chyb}$  je čas, který není změřen. Přesnost hodinového signálu z většiny krystalu pro teploty od - 40 do 85 °C je  $\pm 50$  ppm, což je hodnota nejistota, která se dá zanedbat. Frekvence čítání čítače by pro splnění podmínek měla být větší než 2 MHz.



**Obrázek 24: Popis systémové chyby**

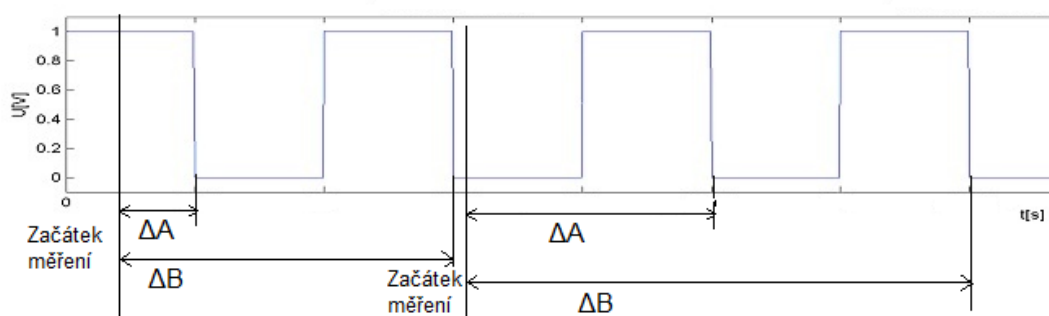
Perioda je měřena mezi sestupnými hranami dvou po sobě následujících pulzů. Měří se čas od začátku měření k oběma hranám, jak to popisuje Obrázek 25. A periodu  $\Delta t$  [s] vypočtu podle:

$$\Delta t = \frac{(\Delta B - \Delta A)}{f_{vz}} \quad (3.1.1)$$

,kde  $f_{vz}$  je frekvence čítání čítače.

A následně pak frekvenci  $f$  [Hz]:

$$f = \frac{1}{\Delta t} \quad (3.1.2)$$



**Obrázek 25: Simulace měření frekvence**

Druhá část algoritmu bude sloužit k měření teploty a výpočtu viskozity ze změřené teploty. Měření teploty se provede změřením napětí na A/D převodníku. Teplota se bude měřit buď termočlánkem nebo odporovým snímačem Pt100, neboť tyto dva senzory teploty jsou ve firmě zadavatele hojně používány. Výpočet viskozity se provede

pomocí odečtených bodů ze změřené křivky závislosti viskozity na teplotě pro danou kapalinu.

Třetí část algoritmu je výpočet korigovaného průtoku. Ze znalosti vypočtené viskozity a změřené frekvence získám souřadnice bodu na obecné ploše tvořené kalibračními křivkami. K tomuto bodu naleznu nejbližší body v přilehlých kvadrantech, a to z vypočtených vzdáleností podle následujícího vzorce:

$$d = \sqrt{(f_{zm} - f_{bod})^2 + (v_{zm} - v_{bod})^2}. \quad (3.1.3)$$

Ze získaných vzdáleností vypočítám váhy bodů z přilehlých kvadrantů a podle této váhy bude daný bod ovlivňovat výslednou hodnotu korekčního koeficientu. K tomu budou použity následující vzorce:

$$d_{cel} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4, \quad (3.1.4)$$

$$poměr = 4 - \frac{d_1}{d_{cel}} - \frac{d_2}{d_{cel}} - \frac{d_3}{d_{cel}} - \frac{d_4}{d_{cel}}. \quad (3.1.5)$$

$$K = \frac{K_1(1 - \frac{d_1}{d_{cel}}) + K_2(1 - \frac{d_2}{d_{cel}}) + K_3(1 - \frac{d_3}{d_{cel}}) + K_4(1 - \frac{d_4}{d_{cel}})}{poměr}. \quad (3.1.6)$$

kde  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  a  $d_4$  jsou vzdálenosti k najitým bodům a  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  a  $K_4$  jsou hodnoty K-faktorů v jednotlivých bodech.

Ze znalosti K-faktoru a frekvence můžu vypočítat průtok, ten bude zobrazen v litrech za hodinu, a proto se bude počítat podle následujícího vzorce:

$$Q = \frac{f * 3600}{K}. \quad (3.1.7)$$

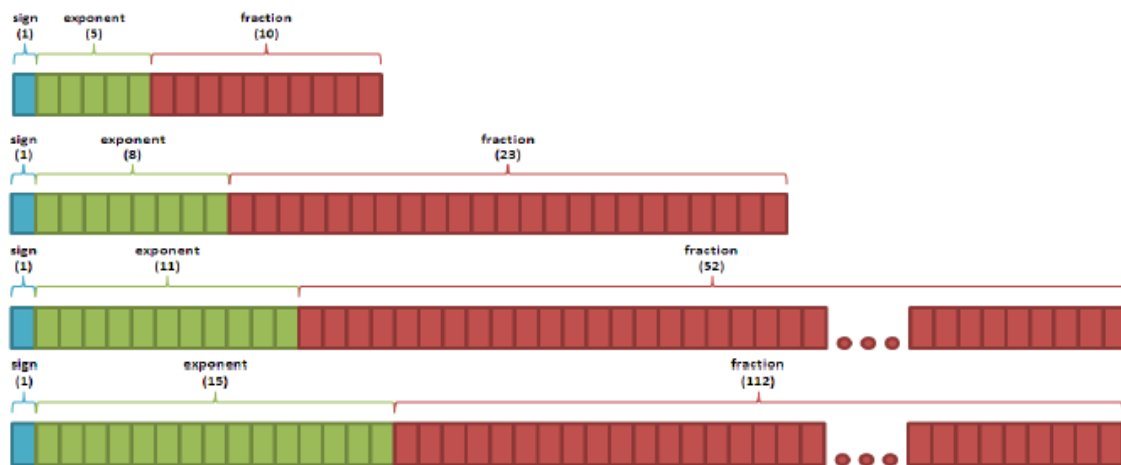
Ve čtvrté části algoritmu se bude nastavovat analogový výstup. Hodnota korigovaného průtoku se v této části přepočítá na hodnotu napětí podle toho. Jaký bude nastaven průtok, který má odpovídat výstupnímu napětí 10 V.

## 3.2 Výběr datového typu pro výpočty

Z výše uvedeného algoritmu vyplývá, že mikrokontrolér bude provádět velké množství numerických operací s desetinnými čísly. Díky práci jak s malými i velkými čísly bude lepší použít datový typ s plovoucí desetinnou čárkou. Jedná se o datové typy dle normy IEEE 754, a to Half-Precision (16bits), Single-Precision (32bits), Double-Precision (64bits) a Quadruple-Precision (128bits). Zobrazuje je Obrázek 26, kde modrý bit určuje znaménko, v zelených bitech je hodnota exponentu a v červených je hodnota



mantisy. Počet bitů v mantise je úměrný počtu platných míst v desítkové soustavě, se kterými je schopen datový typ pracovat. Single-Precision má 6 platných míst v desítkové soustavě, Double-Precision má 15 platných míst v desítkové soustavě. Pro zadanou aplikaci bude typ Single-Precision postačující.



Obrázek 26: Datové typy normy IEEE 754[18]

### 3.3 Výběr senzoru teploty, ochrana vstupů a výstupů

Dále budu muset zvolit vhodnou metodu měření teploty, aby byly splněny podmínky přesnosti, a také aby měřená teplota byla co nejméně ovlivněna rušivými vlivy.

U digitálních vstupů budu muset vytvořit převod z 24 V logiky, neboť většina logických obvodů pracuje s jinou napěťovou úrovní, než průmyslová zařízení.

U vstupu pro teplotní senzor budu muset udělat ochranu proti připojení jiného zařízení, než bude mnou zvolený senzor teploty.

Výstup bude muset být zesílen, neboť většina mikrokontroléru má výstup 0 - 3,3 V, ale já mám v zadání analogový výstup 0 - 10 V.

### 3.4 Návrh firmwaru

Budu muset implementovat algoritmus pro zpracování měřených veličin a následně budu muset rozhodnout, s jakou časovou periodou se budou hodnoty měřit a jakým způsobem. Dále budu muset vytvořit algoritmy, které z křivek viskozit pro různé kapaliny a obecné plochy složené z kalibračních křivek získají požadovanou hodnotu korigovaného průtoku. Dále budu muset navrhnout vlastní způsob zobrazení měřených

veličin na displeji podle toho, jaký displej a mikrokontrolér zvolím. Poté budu muset zajistit komunikaci mezi displejem a měřicí deskou. Nakonec budu muset vytvořit algoritmy na kalibraci celého zařízení.

### **3.5 Návrh PC aplikace**

V této části řešení budu muset vytvořit aplikaci, která bude vytvářet soubor s korekčními křivkami pro konkrétní průtokoměr. Tento soubor se bude vytvářet spojováním jednotlivých kalibračních křivek, které budu extrahovat z kalibračních dat daného průtokoměru. Dále bude tato aplikace sloužit i k vytvoření křivky závislosti viskozity na teplotě pro různé kapaliny. V poslední řadě bude tato aplikace vytvářet inicializační soubor, který bude sloužit k nastavení vstupů a výstupů a k počátečnímu nastavení zobrazovací jednotky.

### **3.6 Způsob ověření funkčnosti**

Výsledné zařízení bude ve finální verzi kalibrováno a odzkoušeno na testovací úloze. Pro výsledné zařízení budu nutné navrhnout způsob kalibrace teploty a testovací úlohu na měření teploty. Také budu muset kalibrovat a otestovat analogový výstup.

### **3.7 Zhodnocení rozboru a další poznámky k návrhu**

Nakonec bych se měl zamyslet nad vytvořeným zařízením a zhodnotit jeho výhody a nevýhody. Měl bych změřit a odvodit, jaká je výsledná nejistota měření, a jestli jí mnou vytvořené řešení dokáže snížit proti původnímu řešení. Z těchto dat bych měl posléze navrhnout taková vylepšení, aby bylo zařízení ještě přesnější, lépe ovladatelné nebo méně objemné.

## 4 ŘEŠENÍ

Nejprve jsem se musel vybrat vhodný mikrokontrolér a desku, na které bude usazen. Seznámit se s daným mikrokontrolérem a vývojovým kitem, na kterém je usazen.

### 4.1 Výběr vhodného mikrokontroléru a vývojového kitu

Vybraný mikrokontrolér musí mít minimálně jeden analogový vstup a výstup, a to s vzorkovací frekvencí 1 kHz. Současně musí tento mikrokontrolér zvládat na digitálním vstupu měřit frekvenci od 0,5 Hz do zhruba 2 kHz. Aby byla splněna podmínka výpočtu na 5 platných míst, a zároveň nedošlo k zbytečnému prodloužení doby výpočtu, použiji datový typ Single-Precision. Ten je 32bitový, proto vybírám 32bitový mikrokontrolér, opět se tím urychlí výpočet. K dalšímu zrychlení můžu využít mikrokontrolér s FPU, který práci s čísly přibližně desetkrát urychlí.

**Tabulka 4: Parametry mikrokontrolérů**

Mikrokontrolér	FPU	A/D	D/A	BITS
ARM M4	ANO	2x16-bit	2x12-bit	32
ARM M3	NE	2x10-bit	1x10-bit	32
AT32UC3C	ANO	1x12-bit	1x12-bit	32
ATmega328	NE	1x10-bit	-	8

Ze zvolených parametrů jsem vybral mikrokontrolér ARM Cortex M4 s FPU.

V době, kdy byl vybírán mikrokontrolér, platilo původní zadání, tedy že linearizační jednotka bude obsahovat korekční křivky pro různé průtokoměry a také křivky viskozity pro různé tekutiny, proto vybraný hardware musí mít paměť v řádu MB. Zvolil jsem vývojový kit se slotem pro připojení SD karty.

Ve škole mi byly doporučeny vývojové kity od firmy Freescale nebo Arduino. Také jsem se zajímal o zařízení Raspberry Pi. U tohoto zařízení mě odradilo využívání operačního systému. Vývojové kity od firmy Arduino jsem musel vyloučit, neboť v době výběru vývojového kitu nebyl dostupný takový, který by splňoval všechny stanovené podmínky.

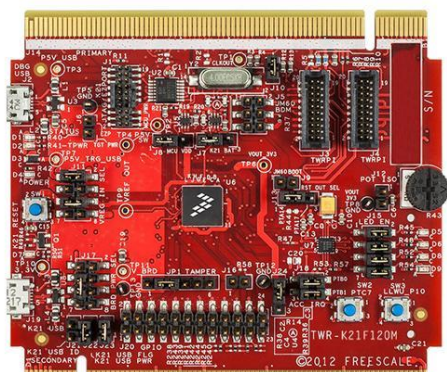
Z nabídky firmy Freescale mě zaujal modulární systém nazvaný Tower systém [6]. Jedná se o systém, kdy na jedné desce je mikrokontrolér a k němu se dají připojit

pomocí expanzních bočnic další vývojové desky, které zajišťují další rozšiřitelnost a snadnou výměnu jednotlivých částí. Vývojové desky jsou buď už hotové pro různé aplikace, například deska pro komunikaci po TCP/IP nebo deska pro práci se zvukem. Dají se koupit i propojovací pole, která se pomocí bočnic propojí s jednotlivými vstupy/ výstupy z mikrokontrolérů. Na jednu z bočnic se dá připojit barevný dotykový displej. Tento displej mě zaujal hlavně velikostí a rozlišením, díky kterému budu schopen zobrazovat všechny potřebné informace v jeden okamžik.

**Tabulka 5: Parametry vývojových kitů od Freescale [19]**

Označení	Architektura jádra MCU	Frekvence	Garantovaná dostupnost 10 let
TWR-K21D50M	CortexM4	50 MHz	NE
TWR-K21F120M	CortexM4 + FPUv4	120 MHz	ANO
TWR-K22F120M	CortexM4 + FPUv4	120 MHz	NE
TWR-K60D100M	CortexM4	100 MHz	NE

TWR-K21F120M

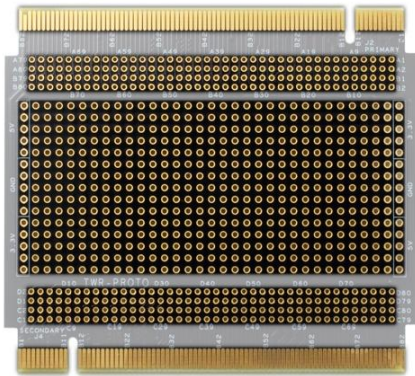


**Obrázek 27: TWR-K21F120M [6]**

TWR-LCD: Graphical LCD Tower System Module



**Obrázek 28: TWR-LCD [6]**



Obrázek 29: TWR-PROTO [6]

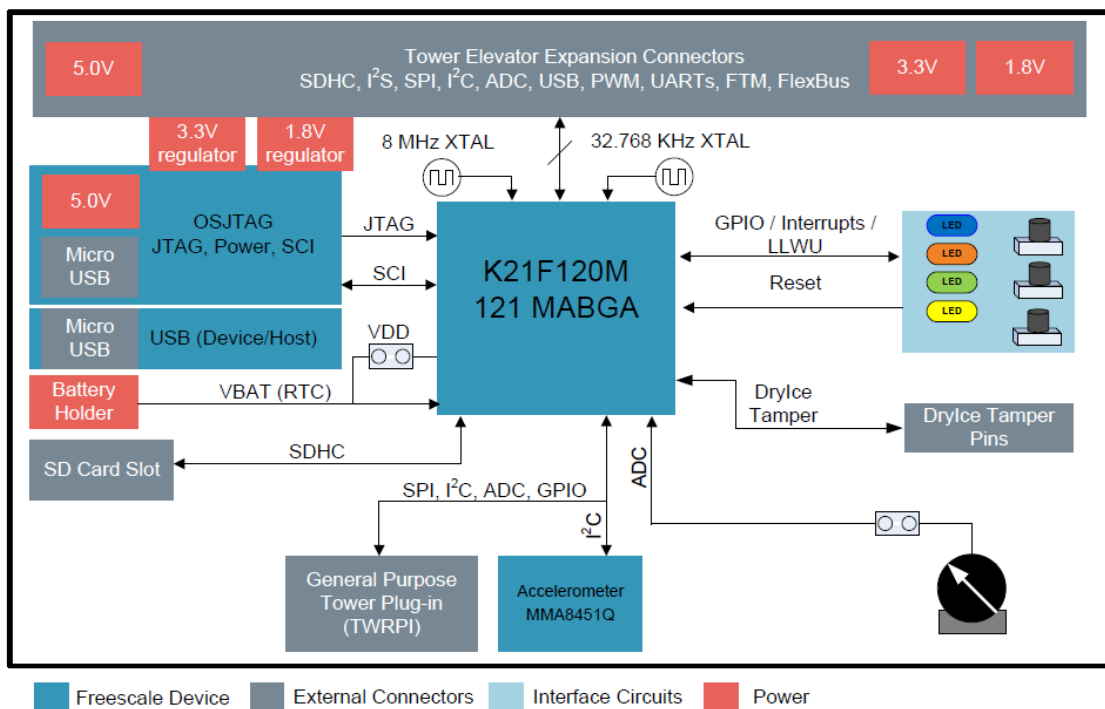


Obrázek 30: TWR-ELEV [6]

Podle parametrů jsem vybral kit s označením TWR-K21F120M, u kterého společnost Freescale garantuje dostupnost deset let (min. do r. 2022). Spolu s displejem TWR-LCD a propojovacím polem (TWR-PROTO) a propojovacími bočnicemi (TWR-ELEV).

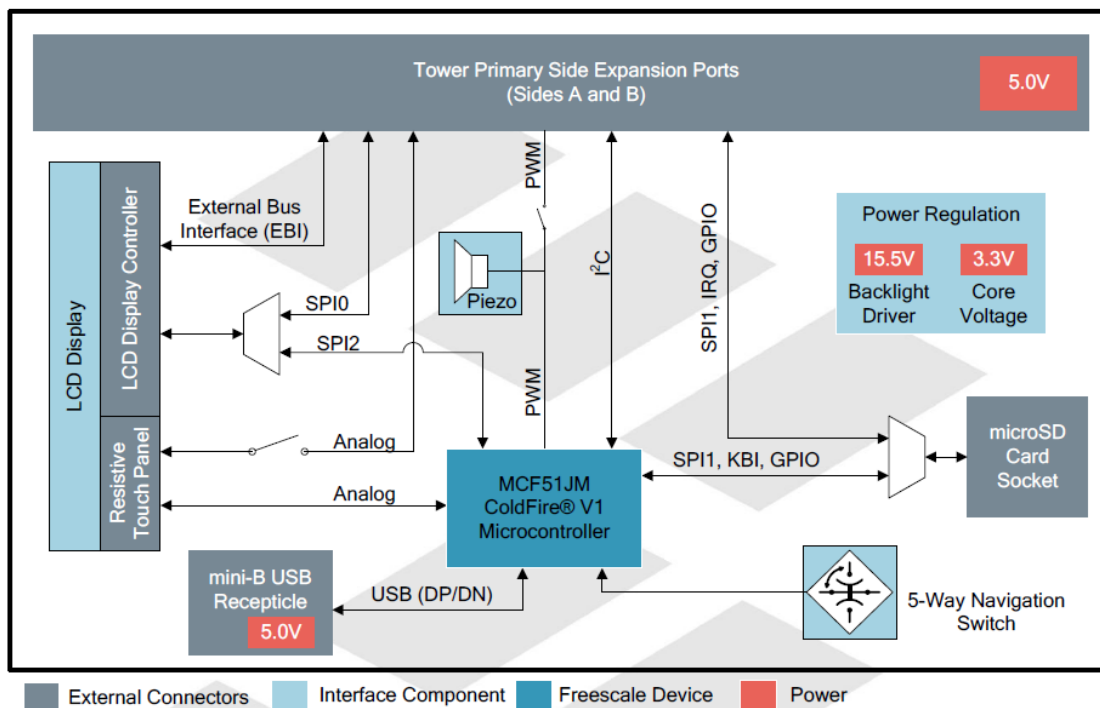
Vývojový kit z označením TWR-K21F120M obsahuje mnou zvolený mikrokontrolér v pouzdře 121 MABGA. Označení mikrokontroléru je MK21FN1M0VMC12. U něho běží jádro MCU na frekvenci 120 MHz a má velikost paměti flash 1MB a paměti RAM 128 KB. Dále má zvolený kit slot na SD kartu a slot pro přidání baterie pro RTC.

Blokové schéma kitu zobrazuje Obrázek 31.



Obrázek 31: Blokové schéma TWR-K21F120M [20]

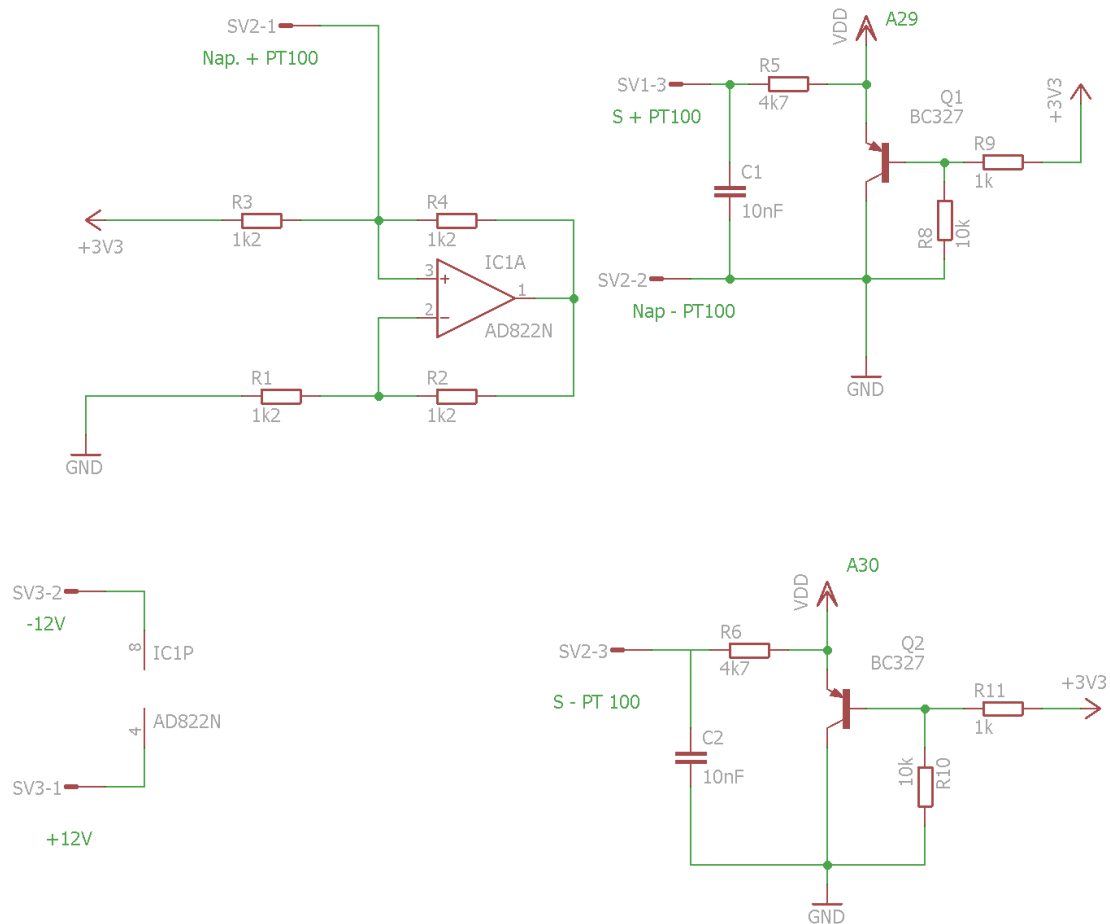
Displej s označením TWR-LCD obsahuje mikrokontrolér MCF51JM ColdFire V1 a je zapojen podle blokového schématu zobrazeného na Obrázek 32.



Obrázek 32: Blokové schéma TWR-LCD [21]

## 4.2 Připojení teplotního senzoru

Nejprve jsem zkoušel měřit teplotu pomocí termočlánu typu J, tento termočlánek je ve firmě zadavatele diplomové práce používán nejčastěji. Rozlišovací schopnost 16 bitového A/D převodníku s referenčním napětím 1,2 V je 18  $\mu\text{V}$ , to odpovídá rozlišení přibližně 0,5  $^{\circ}\text{C}$ , což by pro můj účel postačovalo. Jako mnohem větší problém se ukázal vliv šumu na termočlánek. Termočlánek je připojen pomocí 3 m dlouhého kabelu k desce plošných spojů. Při měření se objevoval šum 40 mV, ani pomocí filtru se mi ho nepodařilo zcela odstranit, šum pohlcoval většinu signálu. Proto jsem se rozhodl použít platinový odporový snímač (Pt100). Tento snímač je na rozdíl od předchozího snímače pasivní a musí se napájet. Pro měření odporu na Pt100 jsem se rozhodl použít 4-vodičové zapojení, které zobrazuje Obrázek 33.

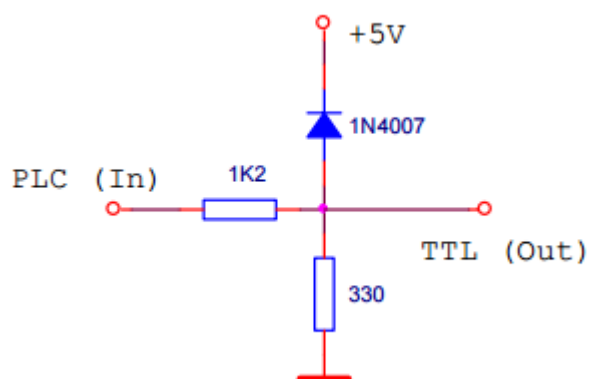


**Obrázek 33: Schéma zapojení PT100 i s přepět'ovou ochranou**

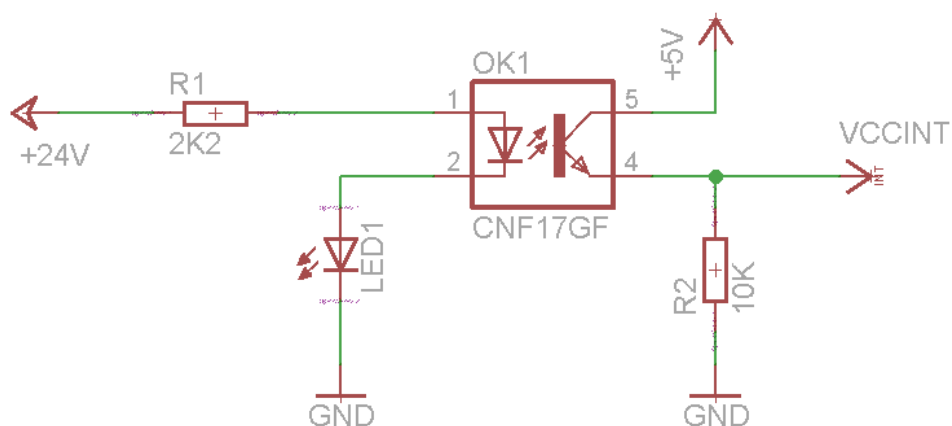
Z Obrázek 33 je patrné, že jsem pro napájení termočláňku využil proudový zdroj. Ten tvoří Howlandova proudová pumpa. Proud protékající Pt100 jsem zvolil 2,75 mA. Což je téměř maximální doporučený proud pro měření s Pt100, aby nedošlo k přílišnému ohřátí Pt100 protékajícím proudem. Menší proud jsem nepoužil opět kvůli šumu. Ten i na tomto senzoru teploty dosahuje 40 mV, což odpovídá přibližně 13 % z měřeného signálu. Pro zmenšení šumu jsem přidal filtr typu dolní propust. Tím jsem zredukoval šum na hodnotu 20 mV. Další zpřesnění signálu je řešeno softwarově.

### 4.3 Ochrana vstupů a výstupů proti přepětí a změna logických úrovní

Další úkol, který jsem řešil, byla změna logických úrovní na digitálních vstupech a jejich ochrana. Nejprve jsem vytvořil převodník napětí podle schématu, viz Obrázek 34, ale toto zapojení slouží jen k převodu úrovní. Proto jsem použil zapojení s optočlenem, které ukazuje Obrázek 35.



Obrázek 34: Přizpůsobení úrovně logiky [10]

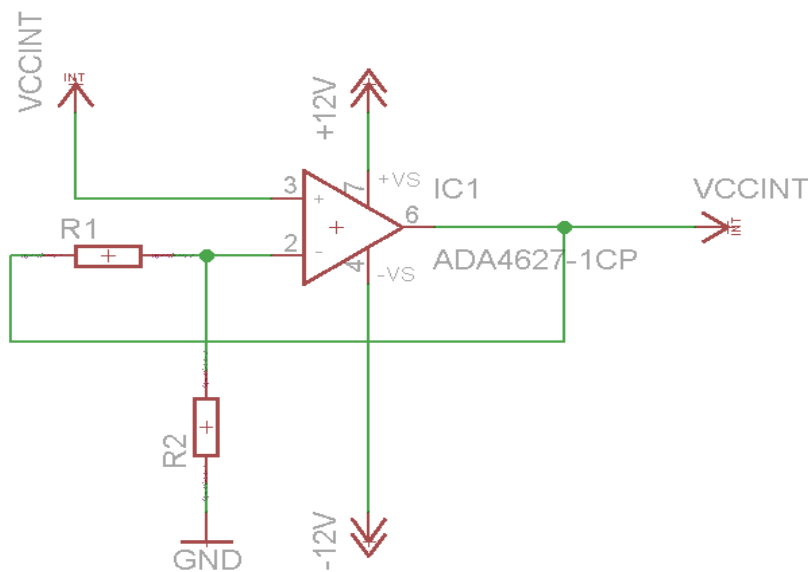


Obrázek 35: Schéma zapojení digitálního vstupu [5]

Toto zapojení zabezpečuje digitální vstup proti přepětí, protože je vstup optočlenu galvanicky oddělen od jeho výstupu.

Poté, co jsem dořešil digitální vstupy, zaměřil jsem se na analogový výstup. Tento výstup musí být zesílen, neboť na analogovém výstupu mám rozsah hodnot 0 - 3,3 V, ale potřebuji hodnotu 0 – 10 V. Rozhodl jsem se použít operační zesilovač a zapojit ho jako neinvertující zesilovač se symetrickým napájením. Zesílení zesilovače musí být větší než 3. Toto zapojení je na schématu, které zobrazuje Obrázek 36.





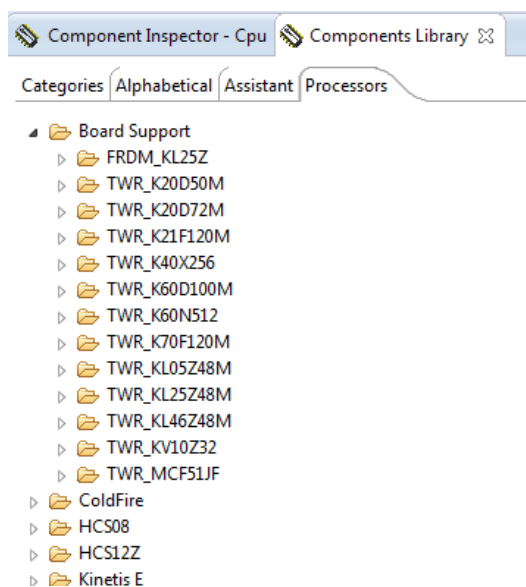
Obrázek 36: Schéma analogového výstupu se symetrickým napájením

Nakonec jsem musel vytvořit ochranné zapojení analogového vstupu proti přepětí. U tohoto vstupu jsem nemusel řešit žádné převody úrovní, ale musel jsem zajistit, aby nedošlo ke zničení zařízení, pokud se místo Pt100 omylem připojí třeba napětí 24 V. Toto řešení má ochránit nejen samotný analogový vstup, ale i zajistit, aby takové napětí nezničilo stabilizační obvod u mikrokontroléru. Pro tuto ochranu jsem použil tranzistor, který je zapojen podle schématu na Obrázek 33.

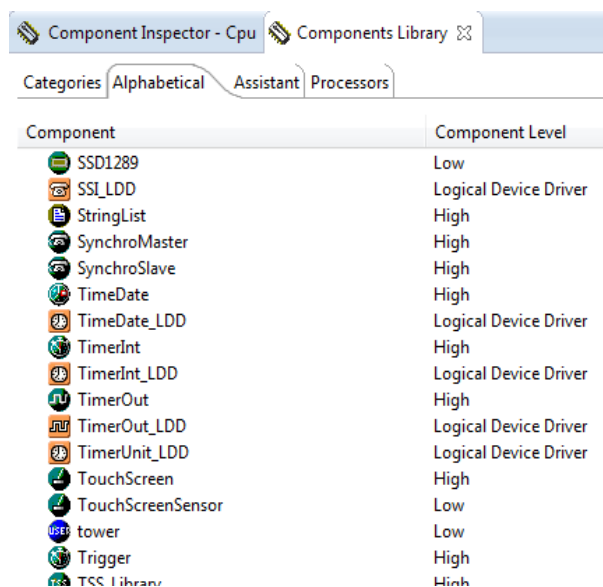
Celkové schéma zapojení je v příloze [2].

## 4.4 Software k vývojovému kitu

K vývojovému kitu je možné na stránkách výrobce stáhnout doporučené vývojové prostředí CodeWarrior. Tento program je přizpůsoben pro práci s produkty společnosti



Obrázek 37: Knihovna desek [6]



Obrázek 38: Knihovna komponentů [6]

Freescale a obsahuje podpůrné knihovny. Knihovny jsou vytvořeny pro jednotlivé typy desek, jak ukazuje Obrázek 38.

Dále jsou tu i knihovny jednotlivých komponentů, jako jsou časovače, analogové vstupy a výstupy a další. Tyto komponenty mají soubor nastavitelných parametrů. Při nastavování parametrů provádí vývojové prostředí automaticky kontrolu nastavení, aby nedošlo ke kolizi výběrem nevhodné kombinace parametrů. Po zkompilování se pro každou komponentu vytvoří dva soubory. Jeden je hlavičkový, jsou v něm nadefinované hlavičky funkcí a datové typy. Druhý soubor obsahuje samotný kód.

Name	Value	Details
Module name	FTM1	FTM1
Counter	FTM1_CNT	FTM1_CNT
Counter direction	Up	
Input clock source	Internal	
Counter frequency	15.625 kHz	15.625 kHz
Counter restart	On-overflow	
Overrun period	4.194304 sec	4.194 sec
Interrupt	Enabled	
Channel list	1	2 available channels
Channel 0		
Mode	Capture	
Capture	FTM1_C1V	FTM1_C1V
Capture input pin	CMP2_IN1/PTA13/LLWU_P4/CAN...	CMP2_IN1/PTA13/LLWU_P4/CAN0_RX/FTM1_CH1/I2C2_SDA/I2S0_TX_FS/FTM1_QD_PHB
Edge	rising or falling edge	rising edge
Maximum time of event	4194.304 ms	
Interrupt	Enabled	
Initialization		
Auto initialization	yes	

Obrázek 39: Ukázka nastavení jednoho komponent [6]

Aplikace CodeWarrior také obsahuje nástroje pro ladění, ať už pro krokování programu nebo čtení dat přímo z paměti. Umí také vyčítat data z registrů a načíst hodnoty z jednotlivých proměnných.

## 4.5 Implementace výpočetních algoritmů

Výpočetní algoritmus jsem rozdělil do čtyř částí, jak jsem popsal v kapitole 3.1. Čítač, pomocí něhož se bude měřit frekvence na digitálním vstupu, je nastaven na frekvenci vzorkování 3,5 MHz. Čítač je 32 bitový a reaguje na sestupnou hranu na digitálním vstupu. Čítač při této konfiguraci by nebyl schopen měřit frekvenci nižší, než 120 Hz, proto jsem k němu přidal počítadlo přetečení. To je realizováno v přerušení generovaném čítačem při přetečení. V přerušení se vykoná tento kód:

```
pretečení++;
if (pretečení == 115)
    OverflowTU_VHz = 1;
```

Z kódu je vidět, že při 115. přerušení se nastaví hodnota příznaku *OverflowTU\_VHz* na logickou jedničku. Tuto hodnotu jsem označil  $x$  a vypočetl jsem jí podle následujícího vzorce s tím, že hodnota byla zaokrouhlena směrem nahoru:

$$0,5 \text{ Hz} \geq \frac{1}{0,017476x},$$

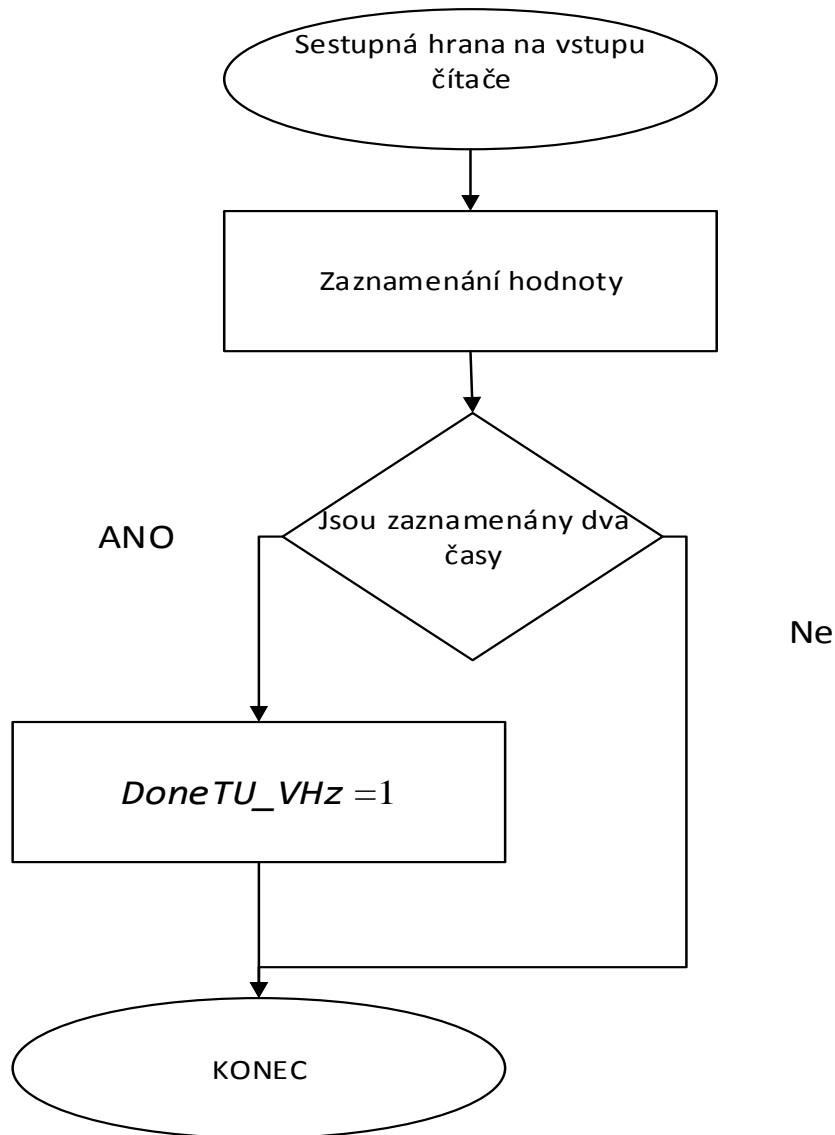
kde hodnota 17,476 ms je čas, kdy přeteče čítač, a hodnota 0,5 Hz plyne ze zadání.

V přerušení od průtokoměru na digitálním vstupu se provede tato část kódu:

```
ErrorTU_VHz = TU_VHz_GetCaptureValue
                (MyTU_VHzPtr,0u,&TicksTU_VHz[IndexTU_VHz]);
TicksTU_VHz[IndexTU_VHz] = TicksTU_VHz[IndexTU_VHz]+citac*preteceeni;
IndexTU_VHz++;
if (IndexTU_VHz >= 2)
{
    DoneTU_VHz = 1;
}
```

V kódu je vidět jak se ukládá hodnota z čítače do proměnné, a že při druhém přerušení se nastaví příznak *DoneTU\_VHz* do logické jedničky. Tuto část kódu je popisuje Obrázek 40.

Po nastavení příznak *DoneTU\_VHz* nebo *OverflowTU\_VHz* se v hlavní smyčce výpočet frekvence, hlavní smyčku popisuje Obrázek 42.



**Obrázek 40: Algoritmus pro měření frekvence**

V hlavní části se provede následující kód:

```

if ((DoneTU_VHz == 1) || (OverflowTU_VHz == 1))
{
  float Period;
  if (DoneTU_VHz == 1)
  {
    Period = (TicksTU_VHz[1] - TicksTU_VHz[0]) / TU_VHz_CNT_INP_FREQ_R_0;
    frekvence=1/Period;
  }
  else
  {
    frekvence = 0;
  }
}
  
```

V kódu jsou implementovány vzorce pro výpočet periody (3.1.1) a frekvence (3.1.2). Po provedení kódu se resetují čítač a nulují se hodnoty v proměnných a hodnoty příznaků. Také dojde k nastavení příznaku *proved\_vypocet* do logické jedničky.

Měření teploty a výpočet viskozity kapaliny popisuje Obrázek 41. Spouštění měření A/D převodníku je spouštěno v přerušení, které se vyvolává s frekvencí 20 Hz. Při dokončení měření teploty se vyvolá přerušení, ve kterém se načte hodnota z registru A/D převodníku.

Po té se provede tato část kódu:

```
Napeti_pom = *MeasuredValues;
Napeti = (Napeti_pom/32768.0f*(3.3f));
Rt = Napeti/0.00275f;
move_averig_teplota[move_t] = (Rt-Rtermistor)/(3.850E-3f*Rtermistor)
```

, *MeasuredValues*, kde je hodnota z registru A/D převodníku, *Napeti* je napětí na Pt100, *Rt* je odpor Pt 100, *move\_averig\_teplota* je zásobník, ze kterého se získá průměrná teplota za poslední sekundu.

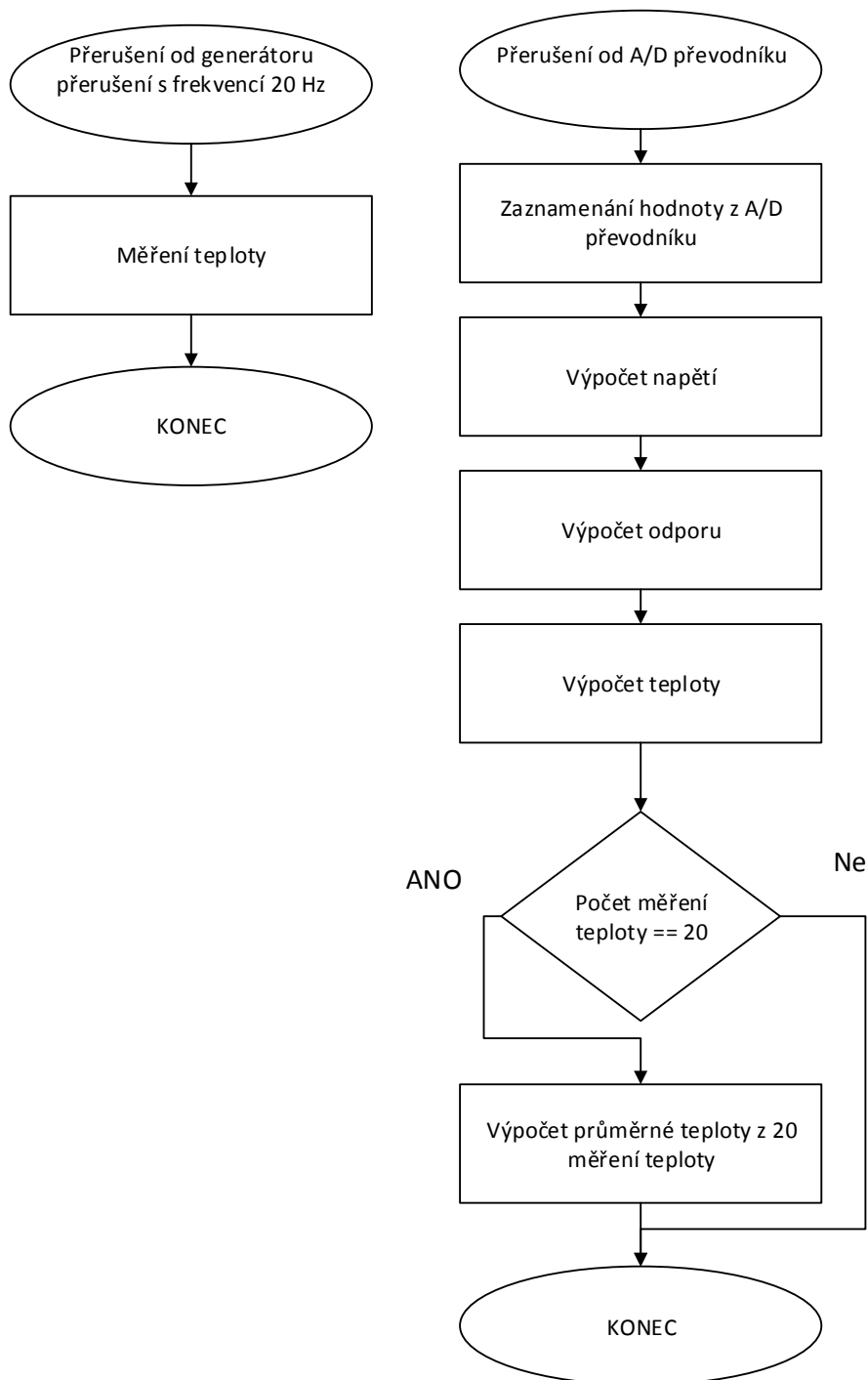
Po změření a výpočtu průměrné teploty z 20 měření, které proběhly v poslední sekundě, se nastaví příznak *DoneAD*, který v hlavní smyčce programu spustí výpočet viskozity.

Při výpočtu viskozity nejdříve projdu soubor bodů pro křivku viskozity a naleznu nejbližší nižší a nejbližší vyšší teplotu, a k nim příslušné hodnoty viskozity.

Z těchto bodů se lineární interpolací vypočte viskozita:

```
viskozita = visk1.viskozita + (visk1.viskozita - visk2.viskozita) /
           (visk1.teplota - visk2.teplota)*(teplota_pou - visk1.teplota);
```

, kde *visk1* a *visk2* jsou body nalezené na křivce, *teplota\_pou* je teplota použitá pro výpočet.



**Obrázek 41: Algoritmus pro měření teploty**

Výpočet korigovaného průtoku se počítá z vypočtené viskozity a ze změřené frekvence. Tyto dva parametry jsou souřadnice změřeného bodu. Nyní projdu postupně všechny body z korekční plochy. Pro každý bod nejdříve podle souřadnic určím, v jakém kvadrantu se nachází od změřeného bodu, pak se provede tento kód:

```

pomMinVzd = sqrt( pow(frekvence_pou -K_data.data[n].prutok,2) +
                  pow(viskozita - K_data.data[n].viskozita,2));
if (pocBodu1 ==0)
{
    minVzd1 = pomMinVzd;
    K_faktor1 = K_data.data[n].K_faktor;
}
else if(pomMinVzd < minVzd1)
{
    minVzd1 = pomMinVzd;
    K_faktor1 = K_data.data[n].K_faktor;
}
pocBodu1++;

```

Tím získám vzdálenosti bodů na kalibrační ploše od bodu změřeného. Pro každý kvadrant se určí nejbližší bod. Může se stát, že v některém kvadrantu žádný bod neleží, proto do dalšího výpočtu vstupují 1-4 nejkratší vzdálenosti.

Poté proběhne výpočet K-faktoru. Ten je proveden podle vzorců 3.1.4, 3.1.5 a 3.1.6.

Kód vypadá následovně:

```

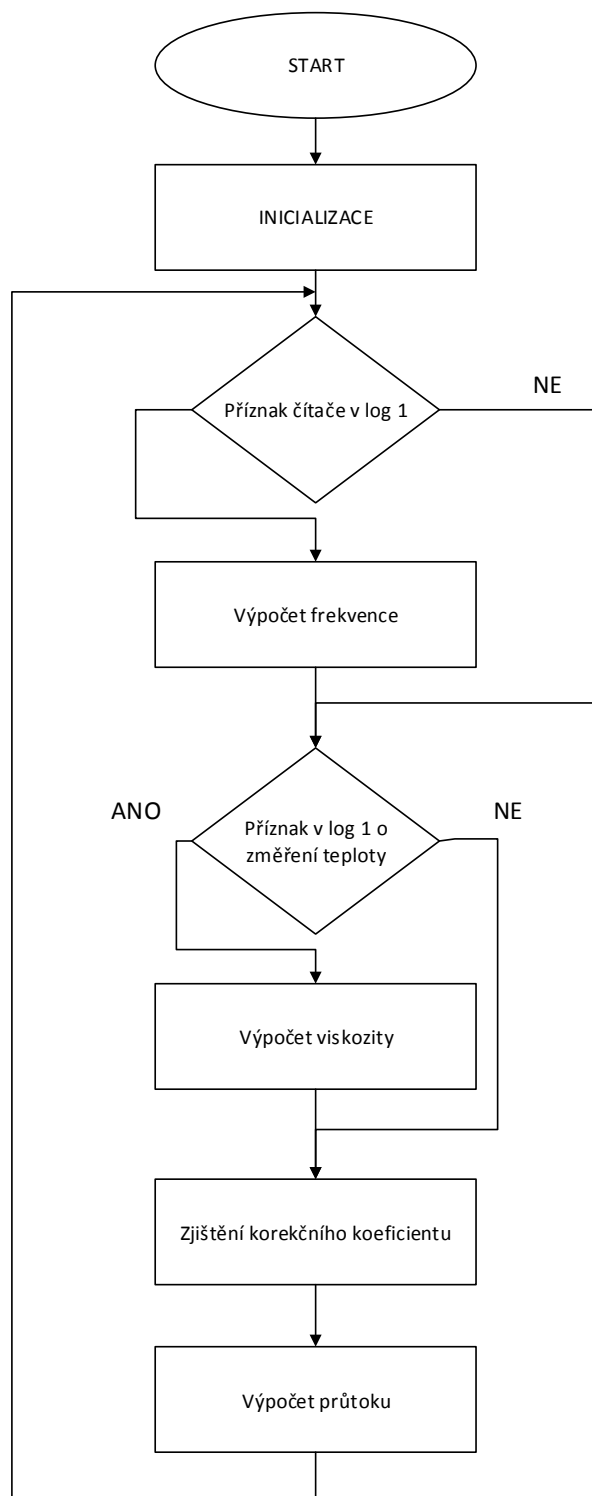
float K_faktor = 0;
float pomer = 1;
float celkova_vzd = minVzd1 + minVzd2 + minVzd3 + minVzd4;
pomer = 1 - minVzd1 / celkova_vzd + 1 - minVzd2 / celkova_vzd +
        1 - minVzd3 / celkova_vzd + 1 - minVzd4 / celkova_vzd;
K_faktor = K_faktor1 * (1 - minVzd1 / celkova_vzd) + K_faktor2 *
           (1 - minVzd2 / celkova_vzd) + K_faktor3 * (1 - minVzd3 / celkova_vzd) +
           K_faktor4 * (1 - minVzd4 / celkova_vzd);
K_faktor = K_faktor / pomer;

```

, kde *celkova\_vzd* je celková vzdálenost bodů od změřeného bodu, *minVzd1*, *minVzd2*, *minVzd3* a *minVzd4* jsou vzdálenosti k jednotlivým bodům od změřeného bodu a *K\_faktor1*, *K\_faktor2*, *K\_faktor3* a *K\_faktor4* jsou hodnoty K-faktoru v jednotlivých bodech.

Pokud se pracovní bod pohybuje mimo kalibrovanou oblast, jsou k výpočtu použity jen kalibrační body z dostupných přilehlých kvadrantů. Přirozeným důsledkem bude, že měření mimo kalibrovanou oblast bude mít větší nepřesnost. Zadavatel si nepřeje provádět extrapolace mimo kalibrovanou oblast, pouze zvýraznit na displeji skutečnost, že měří mimo kalibrovaný rozsah.

Výsledný průtok se pak vypočte podle vzorce 3.1.7.



**Obrázek 42: Algoritmu výpočtu v hlavní smyčce programu**

Nastavování hodnoty průtoku na analogový výstup probíhá v přerušení, které se opakuje s frekvencí 1 kHz. V tomto přerušení se podle aktuálního průtoku a hodnoty v proměnné `scale`, což je hodnota průtoku, kterému odpovídá maximální hodnota analogového výstupu.



V přerušení se provede následující kód:

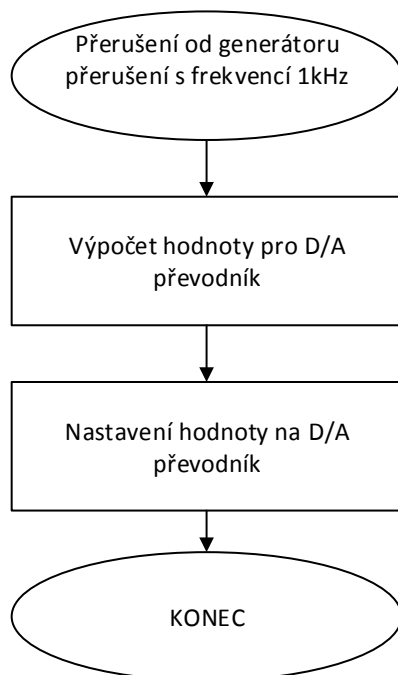
```
if (scale >= prtok)
    prtokOut = (prtok/scale)*Out_max;
else
    prtokOut = Out_max;
DA1_SetValue(MyDacPtr,(LDD_DAC_TData)prtokOut);
```

Z kódu je patrné, že se nejdříve určí, jestli je aktuální průtok menší než `scale`. Pokud je menší, vypočte se hodnota výstupního napětí, jinak se výstupní hodnota nastaví na hodnotu `Out_max`, ta zaručí, že na analogovém výstupu z linearizační jednotky je napětí maximálně 10 V.

Hodnota `Out_max` se vypočte tímto kódem:

```
Out_max = 10/((Uref*(1+R1/R2))/65536);
```

,kde `Uref` je napětí reference D/A převodníku, `R1` a `R2` jsou odpory u operačního zesilovače.



**Obrázek 43: Algoritmus analogového výstupu**

## 4.6 Realizace firmware

Firmware pro zařízení obsahuje algoritmus pro vyhodnocení změřeného průtoku, jehož implementace je popsána v kapitole 4.5. K tomuto algoritmu jsem přidal komponenty pracující s daty na SD kartě, abych mohl načítat korekční křivky a křivky viskozity. Tyto komponenty jsou dva, jeden pracuje přímo s SD kartou a otevírá komunikaci s datovým úložištěm. Druhý komponent obstarává práci se soubory uloženými na SD kartě. Tyto komponenty jsem našel na internetu i s návodem, jak je nastavit a začít používat. [11]. Když jsem byl schopen načítat jednotlivé soubory, tak jsem vytvořil funkce na načítání souborů s křivkami viskozit a souborů s korekčními křivkami. Vstupem funkcí jsou odkazy na struktury obsahující načtená data, a jméno souboru, který se má načíst. Ve funkcích se nejprve vynulují data, která jsou již v datových strukturách načtena. Potom se určí, kolik znaků se bude načítat a naalokuje se pro ně paměť. Poté se vyhledávají data v řetězci načteném ze souboru. Data mají předem stanovenou strukturu. Soubor, který obsahuje křivku viskozity, je strukturován následovně:

```
name: [Jméno kapaliny];  
min: [minimální teplota];  
max: [maximální teplota];  
pocet bodu: [počet bodů];  
[data – viskozita1];  
[data – teplota1];  
[data – viskozita2];  
[data – teplota2];  
[...]
```

Soubor s kalibračními křivkami k průtokoměru je strukturován takto:

```
name: [Označení průtokoměru];  
Meter Viscosity  
Meter Frequency } tyto tři řádky naznačují, jak jsou strukturována data  
Meter K-factor }  
pocet bodu: [počet bodů];  
[data – viskozita1];  
[data – frekvence1];
```

```
[data – K-faktor1];  
[data – viskozita2];  
[data – frekvence2];  
[data – K-faktor2];  
[...]
```

Nejprve jsem chtěl použít pro načítání z tohoto řetězce předdefinovanou funkci *scanf*, což by mi ušetřilo mnoho práce. Tato funkce díky struktuře souborů a formátů dat nelze použít. Proto jsem si musel napsat vlastní funkci, které dokáže najít hledaný řetězec nebo znak v jiném řetězci a vrátí pozici začátku hledaného řetězce v řetězci.

Po načtení dat funkce vrací hodnotu nula. Pokud dojde k nějaké chybě, funkce vrátí číslo představující chybu. Dále jsem napsal funkci, která načítá soubor s názvem *init.init*, ze kterého zobrazovací jednotka získává své poslední známé nastavení.

Konkrétně má tuto strukturu:

```
viskozita: MOLHYDRO HME32;  
flow: B 51.0419/0002;  
scale = 300;  
Uref = 3,3;  
R1 = 2200;  
R2 = 750;  
tmin = -50;  
tmax = 60;  
tchyb = 40;  
K0 = 0;  
K1 = 1;
```

Tento soubor se po zapnutí přístroje načítá jako první, pak teprve se volají funkce na načtení křivky viskozity a kalibračních křivek průtokoměru. Poté se volá funkce, která zjistí, kolik křivek viskozit je v zobrazovací nahráno a jaké to jsou. Tyto informace později používám na displeji při výběru měřené kapaliny.

Po vyřešení načítání všech potřebných informací ze souborů jsem začal pracovat na grafické části programu a komunikaci s displejem. Komunikace probíhá po sběrnici I2C. Pro tuto komunikaci jsem použil komponenty z CodeWarrioru. Jeden komponent běží na základní desce, která slouží pro výpočet průtoku a druhý běží na desce s

displejem. Komponent zajišťujících komunikaci po sběrnici I2C je v CodeWarrioru několik, ale ne všechny fungují správně. Proto jsem nad komunikací strávil hodně času, než jsem našel ty správné fungující komponenty a správně je nastavil. Nyní je mikrokontrolér na desce s displejem jako „master“ a základní deska jako „slave“ s adresou 1.

Tímto způsobem lze posílat a přijímat jednorázové zprávy, ale i vytvořit cyklickou komunikaci.

Po vyřešení problémů s komunikací s displejem jsem začal pracovat na grafickém uživatelském rozhraní. Nejprve jsem se pokusil pro ovládání displeje použít vestavěné komponenty v CodeWarrioru, ale většina z těch, které vykreslují informace na displej, nelze ani zkompileovat. Proto jsem hledal řešení na komunitním fóru společnosti Freescalu. Tam jsem našel demo upravené pro CodeWarrior 10[12]. Demo obsahovalo několik projektů, vybral jsem si ten, který nejvíce vyhovoval mé představě o uživatelském rozhraní. Ovšem spojením prakticky dvou různých projektů došlo k vytvoření duplicitních dat, které jsem musel odstranit. Pak také v demo projektu nebyly knihovny součástí projektu, ale byly umístěny mimo a cesty k nim byly definovány relativně, takže v novém projektu se mi je podařilo přeložit až po několika hodinách usilovné práce. Výsledkem byl projekt s funkčními komponenty pro vykreslování informací na displeji a mohl jsem začít tvořit uživatelské rozhraní. Nejprve jsem udělal návrh měřicí obrazovky, která bude zobrazena na displeji až na výjimky prakticky neustále. Na této obrazovce je největším fontem zobrazena korigovaná hodnota průtoku, aktuální teplota, informace o názvu průtokoměru a název kapaliny protékající průtokoměrem. Tyto informace získávám z inicializačního a kalibračního souboru umístěného na SD kartě. Tyto informace po načtení ze souboru ještě před začátkem měření posílám po sběrnici I2C na desku s displejem. Řetězec s informacemi má tento tvar:

```
sprintf(dataS, "%s;%s;%.0f;%f;%f;%d;", soubor_name_K, soubor_name_V, (float)scale, (float)K, (float)K1, pocet_kapalin).
```

Poté, co jsem byl schopen zobrazit aktuální hodnoty všech výše uvedených parametrů, nastal čas zprovoznit cyklickou komunikaci. Na oba mikrokontroléry jsem přidal generátor přerušení, který pracuje s frekvencí 5 Hz. Takto rychle se synchronizují data mezi displejem a základní deskou. Nejprve jsem jen posílal hodnoty průtoku a teploty, a

ty jsem zobrazoval na displeji. Přitom se občas stalo, že se hodnoty průtoku a teploty prohodily. Použil jsem proto jiný komunikační protokol, kde zpráva z mastra je vždy stejná a slave bude odpovídat podle dotazu. Master vždy pošle tento řetězec:

```
sprintf(dataS,"%c;%s;%s; %d;", flag, scale, soubor_name_V, stranka)
```

a podle znaku v proměnné *flag* dostane následující odpovědi

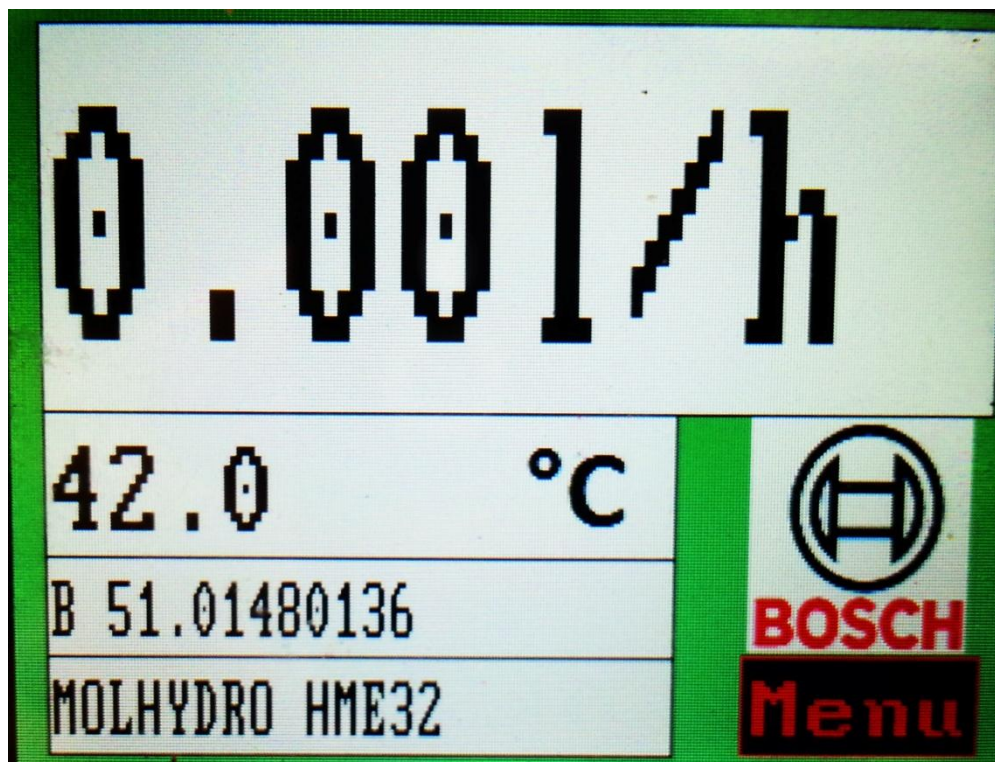
```
sprintf(dataS,"Q=%3.1f;t=%3.1f;",prutok,teplota)
```

pokud je *flag* = 'a' nebo

```
sprintf(dataS,"name;4;%s;%s;%s;%s;",name1,name2,name3,name4)
```

pokud je *flag* = 'N'.

Později jsem ještě do řetězce odesílaného z mikrokontroléru u obrazovky přidal dvě hodnoty 'K' a 'KI', které slouží ke korekci teploty. Výsledná podoba měřicí obrazovky po konzultaci se zadavatelem je zachycena na obrázku.



Obrázek 44: Měřicí obrazovka

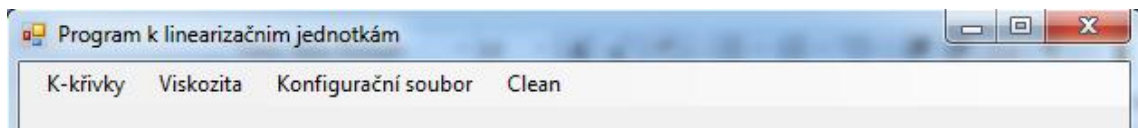
Po vytvoření měřicí obrazovky jsem dále vytvořil obrazovku s menu, obrazovku pro výběr kapaliny, obrazovku pro kalibraci teploty, obrazovku pro kalibraci analogového výstupu a obrazovku pro nastavení průtoku odpovídajícímu maximálnímu napětí. I tyto obrazovky byly po grafické stránce konzultovány a jejich výsledný vzhled je na následujících obrázcích.

## 4.7 Realizace PC aplikace

Do zobrazovací jednotky se mají vkládat data, která pocházejí z kalibračního zařízení. Jedná se o textové soubory obsahující velké množství různých měřených dat a informací o kalibrovaném průtokoměru. Po analýze souborů jsem zjistil, že na druhém řádku je počet parametrů, které jsou zaznamenány, na třetím řádku je pak počet měření. Následuje tabulka o  $n + 1$  řádcích, kde první řádek je hlavička s názvy sloupců (parametrů) a  $n$  je počet měření.

V této tabulce jsou parametry potřebné pro vytvoření kalibračního protokolu. Z tohoto souboru mě zajímá kalibrační číslo průtokoměru, což je ve firmě BOSCH jednoznačný identifikátor pro každé měřidlo podléhající kalibraci. Jedná se o alfanumerický řetězec ve formátu „B NN.XXXX/YYYY“. NN je kódové označení závodu, ve kterém je měřidlo provozováno, XXXX značí skupinu měřidel (průtokoměry, tlakoměry, momentové klíče, ...) a YYYY je pořadové číslo měřidla.

Tento řetězec budu používat k označení průtokoměru, se kterým je daná zobrazovací jednotka zkalibrována.

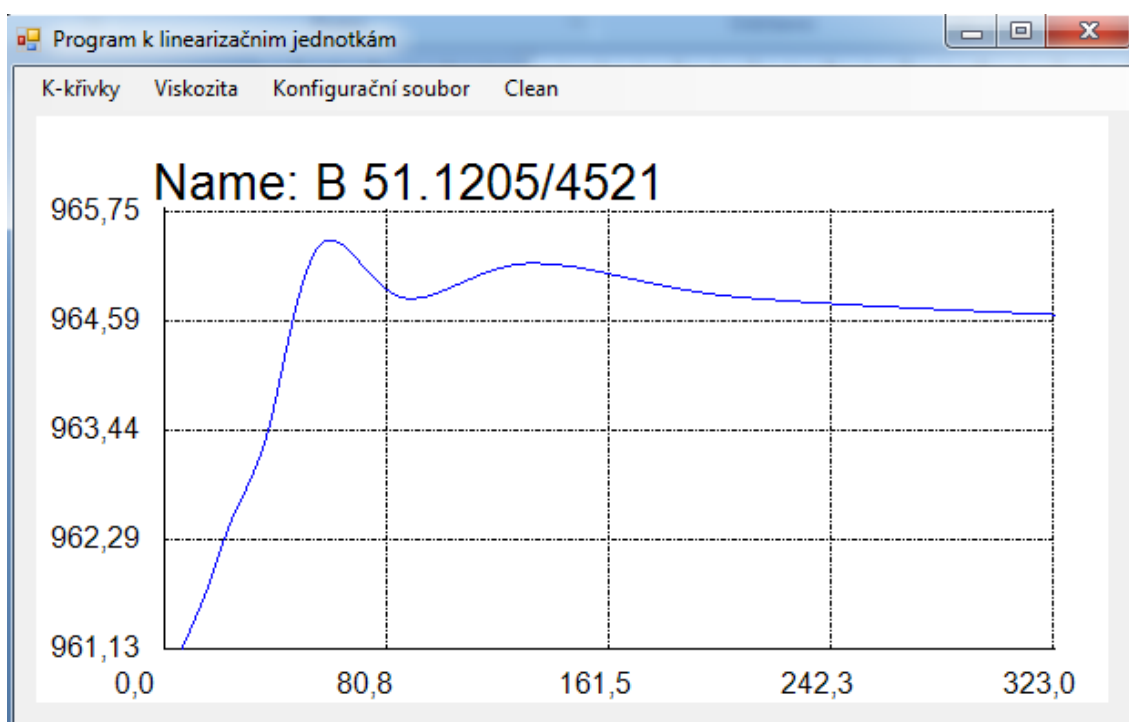


Obrázek 45: Ovládání programu k linearizační jednotce

Výslednou aplikaci jsem napsal v jazyce C#. V horní části této aplikace je umístěné menu, jak ukazuje Obrázek 45. Nejvíce vlevo je položka „K-křivky“, po kliknutí na ni se rozbalí seznam s položkami sloužícími pro práci s kalibračními křivkami. Zpočátku se v nabídce zobrazí jen položka „Načti“. Ta slouží k načtení řetězce z kalibračního souboru, který má příponu \*.SAV, jiný typ souborů nejde vybrat[13]. Otevření a načítání tohoto souboru je popsáno v uživatelském manuálu (viz příloha 1). Toto řešení jsem převzal ze své bakalářské práce [14], kde jsem už načítání dat ze souboru řešil.

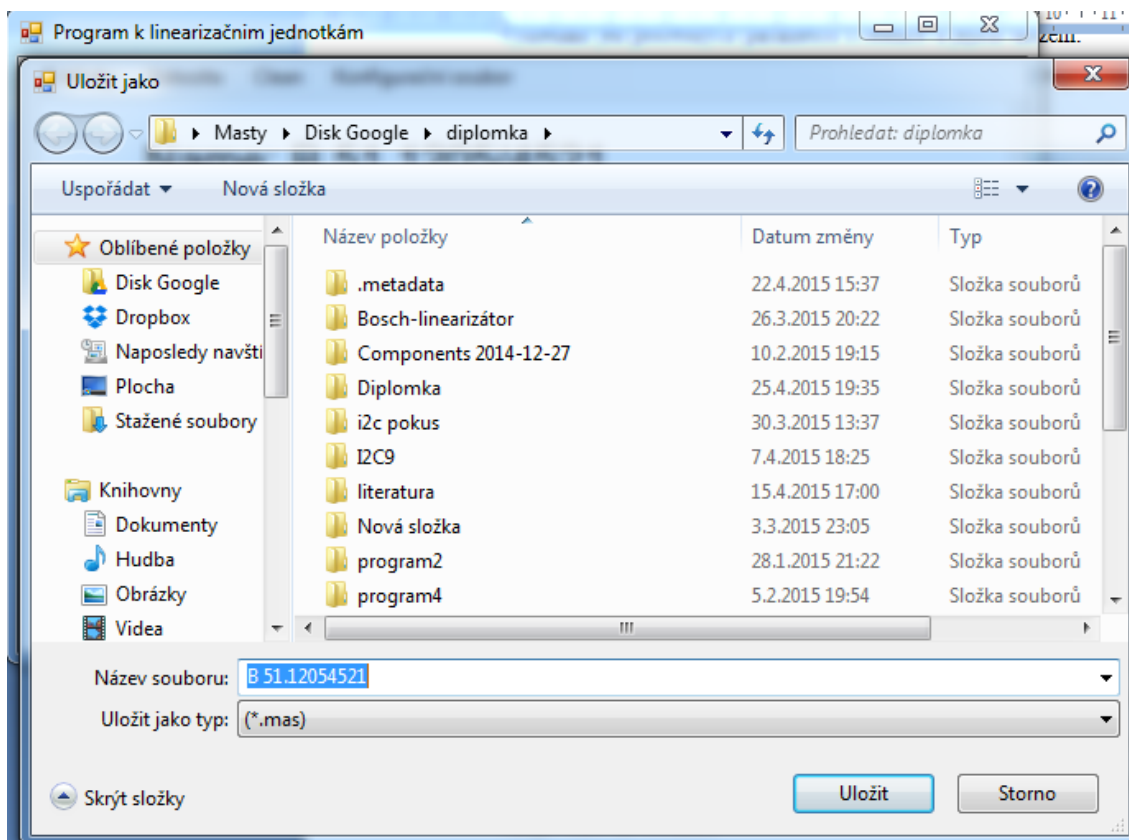
Po načtení řetězce se zavolá funkce `nactiData(string str)`, tato funkce zajišťuje vyhledání jen potřebných parametrů z řetězce a jejich uložení.

Po uložení dat se zavolá funkce `vykresli()`, tato funkce projde všechna načtená data a vykreslí je na obrazovku, jak je ukazuje Obrázek 46.



**Obrázek 46: Program k linearizační jednotce – Kalibrační křivky**

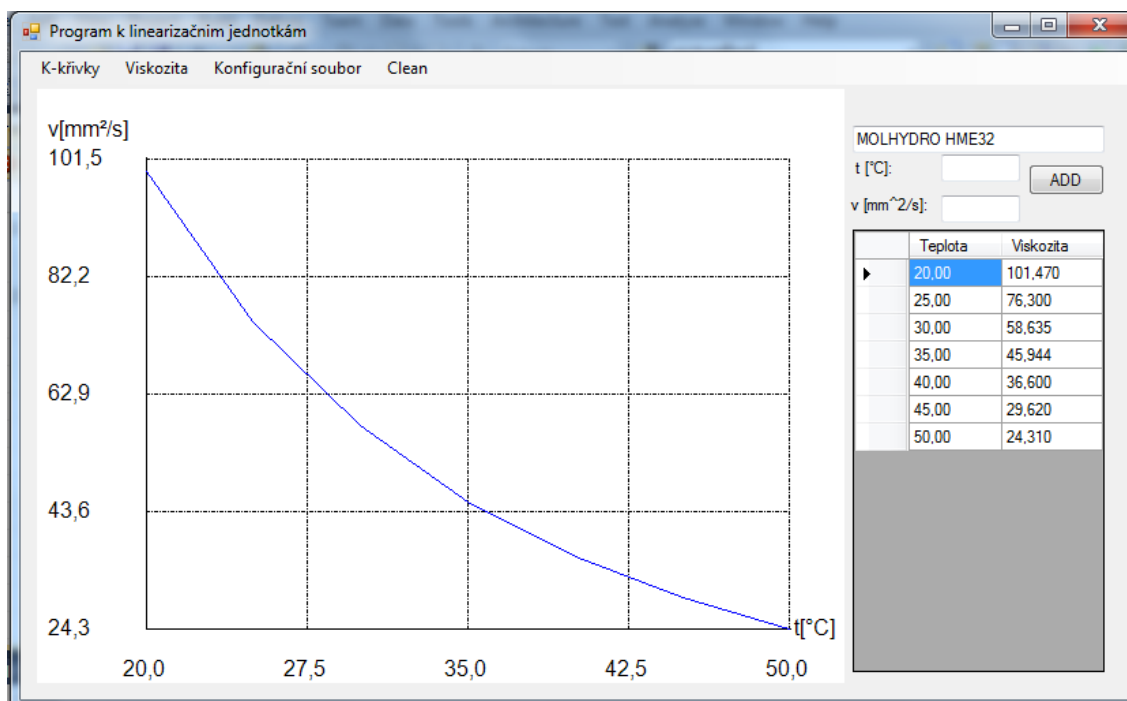
Po načtení, uložení a vykreslení první křivky se v nabídce zobrazí položka „Uložit“, která slouží k uložení načtených dat do souboru. Po kliknutí se zobrazená data uloží do souboru, který je primárně pojmenován podle kalibračního čísla průtokoměru a má příponu `.mas`, jak ukazuje Obrázek 47.



Obrázek 47: Program k linearizační jednotce - Ukládání

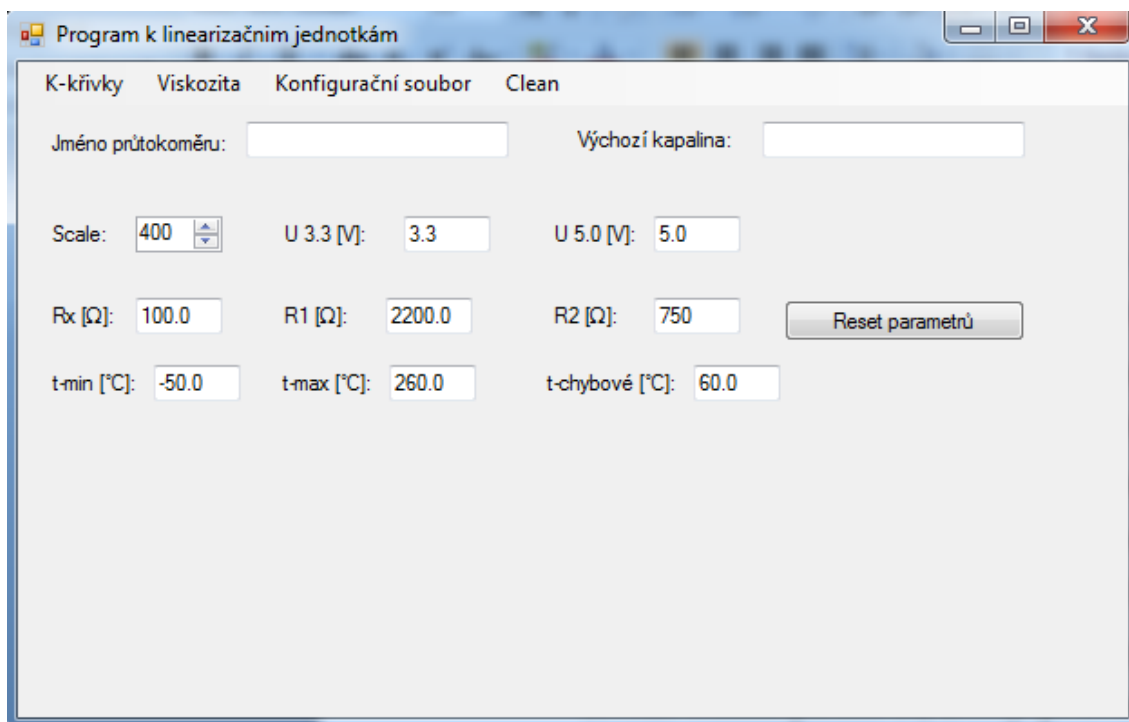
Další položkou v menu je “Viskozita“, které zobrazí nabídku pro zadávání body z křivky viskozity. Počet bodů jsem neomezil a je možné je editovat. Z bodů je vytvořena křivka viskozity. Celé uspořádání zobrazuje Obrázek 48.





**Obrázek 48: Program k linearizační jednotce - Viskozita**

Položka „*Konfigurační soubor*“ slouží k zadání kalibračních dat samotné zobrazovací jednotky, konkrétně velikosti napájení, které se u jednotlivých kitů může lišit, a hodnoty odporů v plošném spoji, standardně jsou nastavené jmenovité hodnoty ze schématu, pro přesnější měření je možné jednotlivé součástky změřit, není to, ale nutné neboť je prováděna kalibrace analogového vstupu a výstupu. Po kliknutí na tuto položku se zobrazí podnabídka s položkami „Nový“ a „Načti“. „Nový“ slouží k zadání nového inicializačního souboru, „Načti“ slouží k načtení již vytvořeného souboru. Je možné načíst jen soubory s koncovkou *\*.init*, které mají předem definovaný formát. Po zvolení jedné z možností se v nabídce opět objeví možnost k uložení, stejně jak v předchozích nabídkách. Na obrazovce se zobrazí seznam parametrů, které je potřeba zadat, aby bylo možné provádět měření s vyšší přesností. Tuto obrazovku ukazuje Obrázek 49. Tlačítkem „*Reset parametrů*“ lze nastavit parametry odporů a napětí na výchozí hodnoty, které jsou uvedeny ve schématu v příloze [2]. Také je zde možné nastavit pevnou pracovní teplotu  $t_{chyb}$  pro případ, že snímač teploty není do zobrazovače připojen.



**Obrázek 49: Program k linearizační jednotce - Inicializační data**

Poslední položka v menu („Clean“) slouží k vymazání všech dat, která jsou načtena, a vrácení obrazovky programu do výchozího stavu.

## 5 ZHODNOCENÍ FINÁLNÍHO ŘEŠENÍ

V následujících podkapitolách popisuji, jak jsem ověřoval funkčnost finálního řešení a jaká je chyba v určení průtoku. Také tu navrhuji možné vylepšení celého zařízení. Fotky linearizační zobrazovací jednotky zobrazuje Obrázek 50.

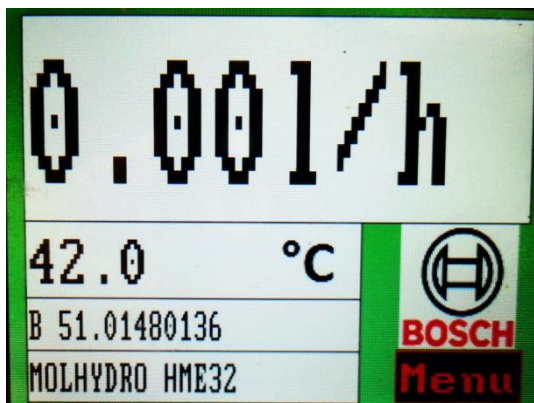


Obrázek 50: Foto linearizační jednotky

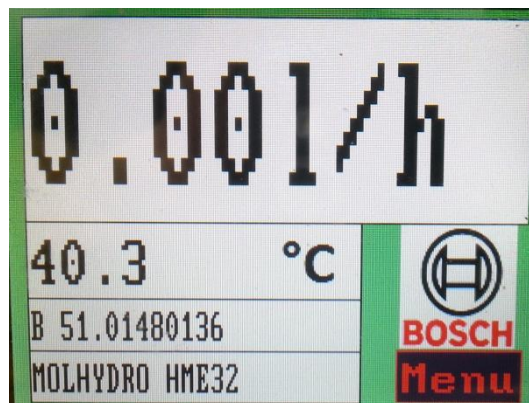
### 5.1 Ověření funkčnosti

Nejprve jsem definoval testovací a kalibrační úlohu pro měření teploty.

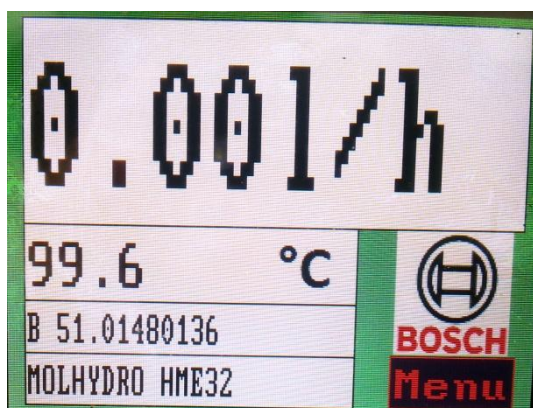
Po domluvě s konzultantem z firmy BOSCH jsem kalibraci teploty udělal jako dvoubodovou při teplotách 40 °C a 100 °C. K přesnému nastavení těchto teplot se ve firmě BOSCH používá kalibrační teplotní pícka, která má odchylku  $\pm 0,1$  °C. Z následujících obrázků je patrné, že bez kalibrace dosahuje chyba měření přibližně 5 %, ale po dvoubodové kalibraci se dá měření zpřesnit, chyba měření se tak dostane pod  $\pm 1$  °C. Směrnice pro kalibraci teplot ve firmě BOSCH vyžadují přesnost  $\pm 2$  °C.



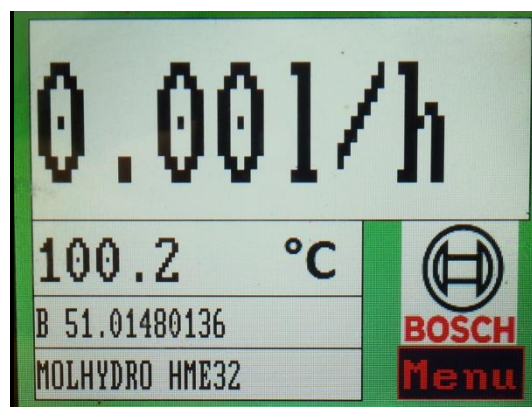
Obrázek 51: Před kalibrací analogového vstupu - 40 °C



Obrázek 52: Po kalibraci analogového vstupu - 40 °C

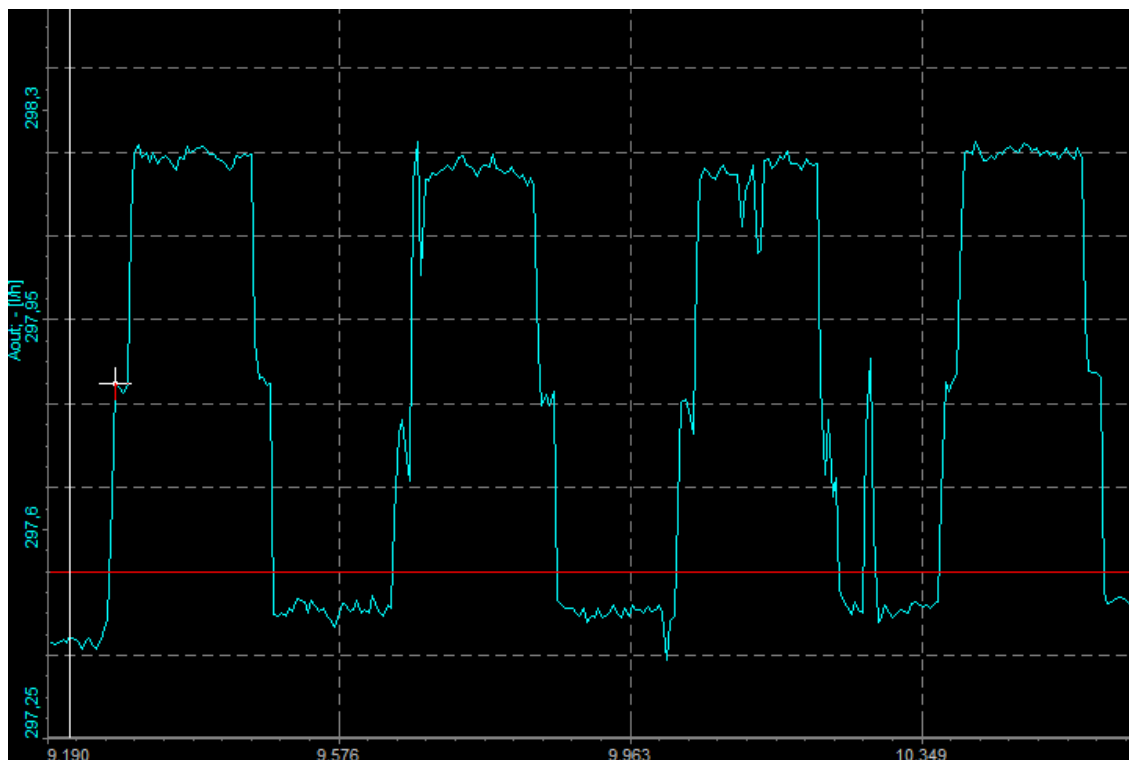


Obrázek 53: Před kalibrací analogového vstupu - 100 °C

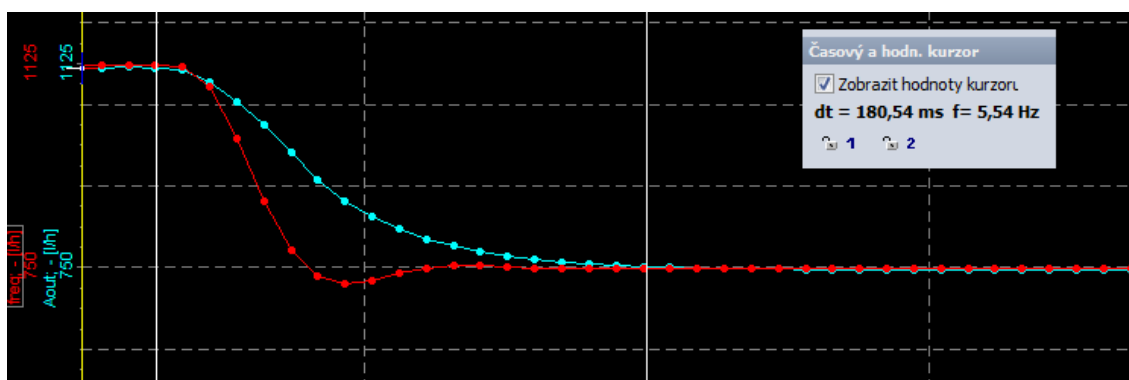


Obrázek 54: Po kalibraci analogového vstupu - 100 °C

Dále jsem testoval dobu odezvy zobrazovací jednotky, tedy rychlost změny analogového výstupu v závislosti na rychlosti změny frekvence na vstupu. Z této testovací úlohy jsem zjistil nejen zpoždění výstupu proti vstupu, ale i jeho závislost na velikosti vstupní frekvence. Během měření jsem si všiml jistého zvlnění výstupního signálu, které podle předpokladu je způsobeno systémovou chybou a šumem. Toto zobrazuje Obrázek 55. Tomuto efektu se budu věnovat v následující kapitole, která popisuje nejistotu měření mého zařízení.

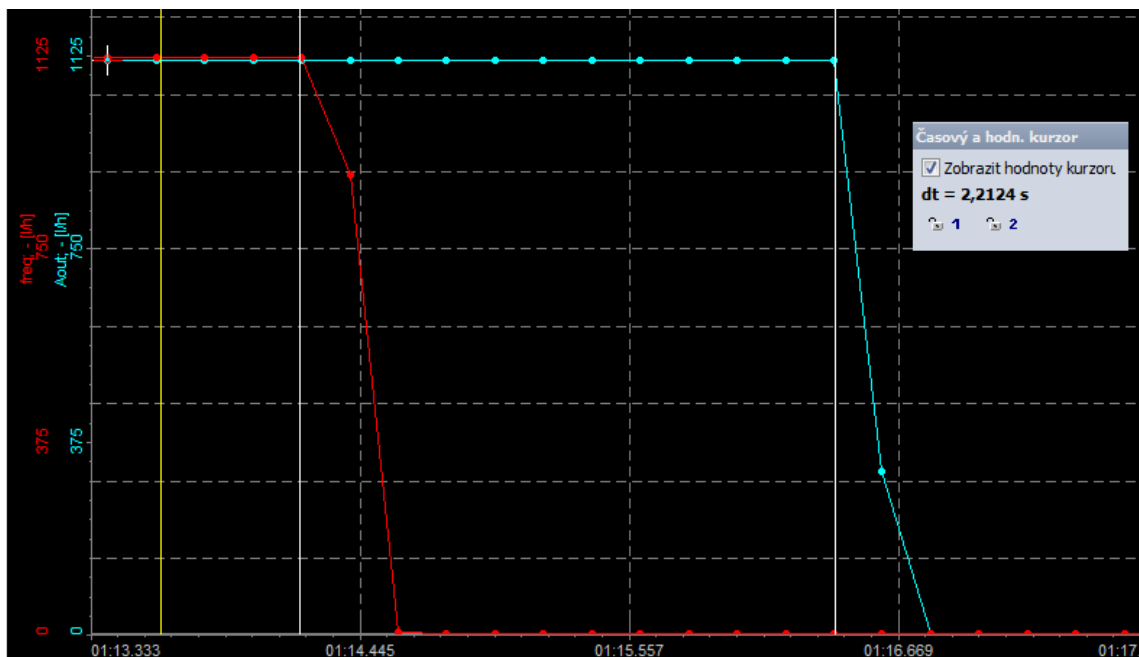


**Obrázek 55: Zobrazení vlivu systémové chyby na analogovém výstupu. Při průtoku 297 l/h má hodnotu 1,6 l/h.**



**Obrázek 56: Skoková změna vstupní frekvence o 100 Hz. Červeně je zobrazeno měření vstupní frekvence, analogový výstup je zobrazen modře.**

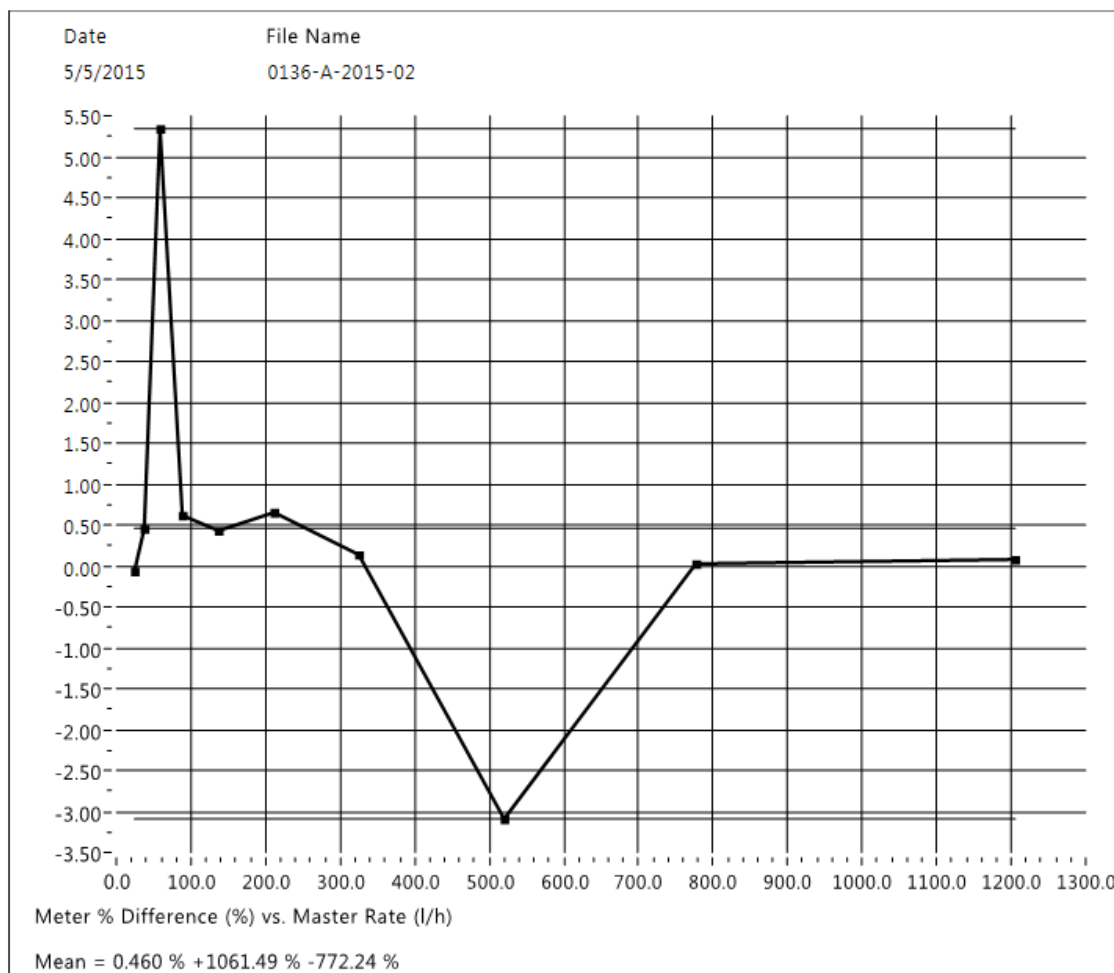
Jak ukazuje Obrázek 56, linearizační jednotka je schopná sledovat změnu frekvence jen o něco hůře než měřicí zařízení Dewetron DEWE5000 s kartou pro měření frekvence. Toto platí ovšem jen v případě, že frekvence skokově neklesne k nule. Poté je doba, kdy výstupní signál zobrazovací jednotky klesne k nule, v řádu sekund, ale neměla by překročit dobu 3 s. Tato doba je způsobena algoritmem použitým pro výpočet frekvence a další zpoždění je způsobeno výpočtem a průměrováním výstupu, kde se průměruje posledních 50 vypočítaných hodnot. Tento případ ukazuje Obrázek 57.



**Obrázek 57: Skoková změna frekvence na vstupu na nulu (odpojení generátoru). Červeně je zobrazena vstupní frekvence, analogový výstup je zobrazen modře.**

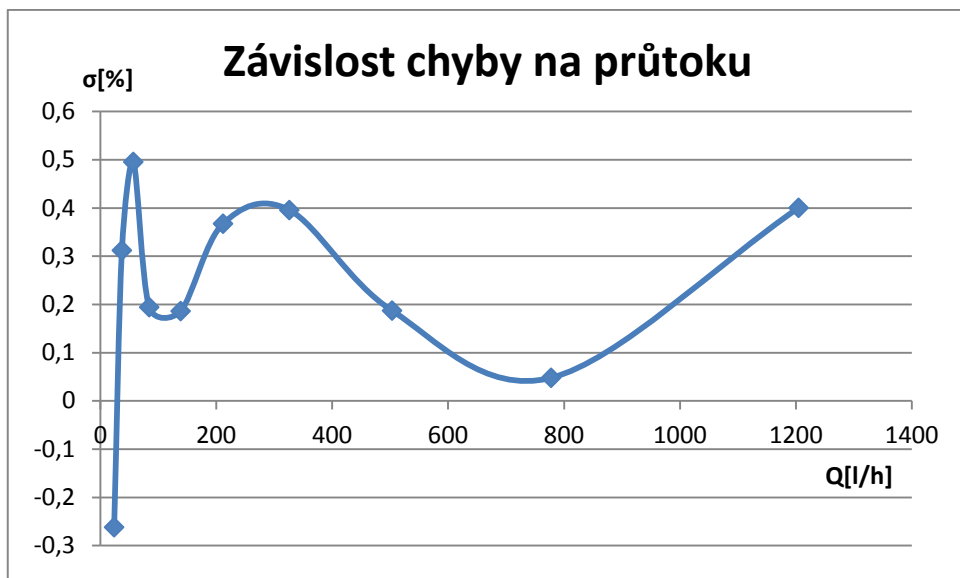
Celkovou funkčnost zařízení jsem odzkoušel na kalibračním zařízení. Ke kalibračnímu zařízení byl připojen průtokoměr KRACHT VC 1, k tomuto průtokoměru jsem připojil vytvořenou linearizační zobrazovací jednotku, ve které byla vložena kalibrační křivka měřeného průtokoměru. V ideálním případě by měla zobrazená hodnota průtoku přesně odpovídat hodnotě indikované kalibrátorem. Funkčnost jsem testoval nadvakrát, poprvé jsem připojil jednotku ve chvíli, kdy ještě nebyl plně funkční analogový výstup. Tehdy jsme s konzultantem a obsluhou kalibračního zařízení zadávali hodnoty průtoku z obrazovky linearizační jednotky do programu u kalibrátoru ručně po vizuálním odečtu. Z kalibrátoru jsem pak doslal závislost chyby na průtoku, kterou ukazuje Obrázek 58. Jak je vidět na obrázku, tak ve dvou bodech je chyba 11x větší než průměrná. V těchto bodech došlo nejspíše k špatnému odečtení dat z obrazovky, což mohlo být způsobeno rozptylem hodnot zobrazovaných na displeji. Průtok v samotném kalibračním zařízení je velmi stabilní, jeho odchylka je pod 0,00004 % z maximální hodnoty průtoku (30 l/min). Při vložení zkoušeného průtokoměru stabilita klesá, což je zřejmě dáno vlastnostmi měřeného průtokoměru, zejména konstrukcí a opotřebením. Právě tyto vlastnosti mohly mít vliv na nestabilní zobrazení korigovaného průtoku na zobrazovací jednotce.

Při tomto pokusu byly odhaleny některé chyby algoritmu, nicméně i s nimi bylo dosaženo průměrné odchylky 0,46 % z měřené hodnoty. To je na vizuální odečet velmi dobrý výsledek.



**Obrázek 58: Závislost chyby vizuálního odečtu průtoku zobrazeného na linearizační jednotce na průtoku**

Při druhém měření jsem podobným způsobem ověřil analogový výstup. V zobrazovací jednotce byla opět nahrána kalibrační křivka měřeného průtokoměru. V ideálním případě by se odchylka od teoretické hodnoty napětí na výstupu neměla lišit od té naměřené na kalibrátoru. Závislost odchylky napěťového výstupu na průtoku zobrazuje Obrázek 59.



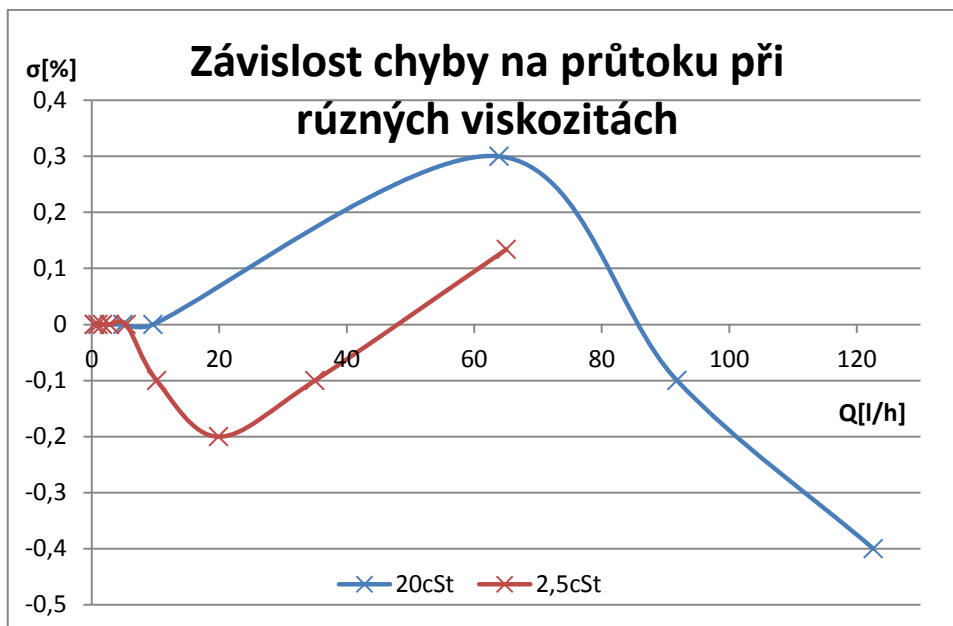
**Obrázek 59: Závislost celkové chyby na průtoku.**

Moje měření byla prováděna jen při jedné viskozitě, neboť kalibrační zařízení zatím nebylo schopno provádět kalibrace pro různé kapaliny. Svůj algoritmus jsem proto otestoval pomocí frekvenčního generátoru za použití starších kalibračních dat pro průtokoměr typu KRACHT VC0025, které mi byly poskytnuty zadavatelem. Tato data byla změřena před několika lety firmou Trigas FI GmbH na kalibrátoru podobné konstrukce, jakým dnes disponuje zadavatel.

Z těchto kalibračních křivek jsem pro jednotlivé body vypočítal teoretickou hodnotu napětí, které by mělo být na výstupu zobrazovací jednotky, a porovnal jsem ji s hodnotou reálnou poté, co jsem frekvenčním generátorem vždy nasimuloval měřený bod. Chybu zobrazovací jednotky pro jednotlivé body při různých viskozitách ukazuje Obrázek 60. Z omezeného počtu vybraných bodů vyšla chyba měření 0,4 %.

Důležitá je prakticky nulová odchylka v oblasti nejnižších průtoků. V této oblasti zadavatel původně dosahoval odchylky až 11 %.





Obrázek 60: Závislost chyby napět'ového výstupu na průtoku při různých viskozitách

## 5.2 Zhodnocení výsledku a návrhy ke zlepšení

Nejprve zde vyhodnotím velikost chyby a nejistoty měření. Velikost této nejistoty je dána přesností měření frekvence, pak také nejistotou měření teploty a tyto dvě nejistoty vstupují do výpočtu. Vypočtený průtok zatížený chybou vstupních dat je dále ovlivňován chybou analogového výstupu.

V kapitole 5.1 jsem již popsal chybu měření teploty a frekvence. Maximální chybu měření frekvence jsem určil na 0,182 %. Maximální chyba měřené teploty byla určena na +/- 1 °C. K této chybě by se ještě měla připočítat chyba 0,0015 % způsobená rozlišovací schopností 16-ti bitového AD převodníku, ale tuto chybu vzhledem k velikosti ostatních chyb zanedbávám.

Velikost chyby měření teploty se částečně redukuje ve chvíli, kdy z teploty získávám viskozitu. Pro závislost viskozity na teplotě lze do jisté míry použít aproximativní vzorec, jehož koeficienty A, B a C jsou pro každou kapalinu jiné.

$$\Delta V = Ae^{-Bt} + C \quad (5.2.1)$$

Chybu viskozity v závislosti na teplotě určíme diferencováním výše uvedeného vztahu jako

$$\Delta V = (-BAe^{-Bt})\Delta t \quad (5.2.2)$$

kde pro naftu typu EN 590 platí

$$A = 6,45$$

$$B = 0,01855$$

Největší chyba v určení viskozity je při teplotě 50 °C. To je teplota, pod kterou obvykle neklesá teplota média ve zkušebních stanicích zadavatele. Na obě strany pak chyba klesá. Po dosazení do vzorce při 50 °C dostaneme  $\Delta V = -0,04733 \text{ mm}^2/\text{s}$ , což je v procentech rovno 1,91 %.

Do výpočtu by mohla být zahrnuta i chyba kalibračních křivek. Já tuto chybu nezapočítávám, protože nijak nesouvisí s algoritmem ani hardwarem zobrazovací jednotky. Přesnost kalibračních křivek nemá vliv na kvalitu algoritmu nebo hardwaru. Kalibrační křivky proto považuji za přesné, abych měl pevný referenční bod pro ověření nepřesnosti algoritmu a hardwaru zobrazovací jednotky.

V poslední řadě je tu rozlišovací chyba výstupního analogového signálu. D/A převodník má rozlišovací schopnost 12 bitů a referenční napětí je 3,3 V, což odpovídá chybě  $\Delta = 0,805 \text{ mV}$ .

Celková chyba zařízení byla otestována na kalibrátoru a dosáhla hodnoty 0,5 %, ovšem tato hodnota byla získána jen pro viskozity větší, než 20 mm<sup>2</sup>/s. Na více viskozitách byla zobrazovací jednotka otestována pomocí dat poskytnutých zadávající firmou, jak je popsáno v kapitole 5. Z tohoto omezeného množství dat je patrné, že změna viskozity se na chybě mnou navrženého algoritmu výrazně neprojevuje. Při obou viskozitách je chyba do 0,4 %.

Výsledné zařízení splnilo požadavky zadavatele diplomové práce v obou hlavních bodech: snížení nepřesnosti měřeného průtoku a snížení ceny zařízení v porovnání s cenou linearizační jednotky od firmy Trigás. Výslednou cenu zařízení ukazuje Tabulka 6. Cena mého zařízení vychází na 1/4 ceny linearizační jednotky od firmy Trigás.

**Tabulka 6: Cena výsledného zařízení**

Název	Cena
TWR – PROTO	380 Kč
TWR – ELEV	1 000 Kč
TWR – LCD	2 500 Kč
TWR - K21F120M	2 500 Kč
Krabička	700 Kč
Přední a zadní čela (s popisky)	2 000 Kč
Držák 2x	1300 Kč
Konstrukční materiál	100 Kč
Součástky na DPS	100 Kč
Konektory do panelu	1000 Kč
Zdroj	600 Kč
<b>Celkem</b>	<b>12 180 Kč</b>

Celé zařízení by se dalo ještě zpřesnit přidáním kalibrace frekvence a úpravou interních kalibračních křivek pro teplotní vstup a analogový výstup na vícebodové kalibrační křivky. Dále by bylo pro obsluhu vhodné, kdybych upravil způsob kalibrace analogového vstupu. Nyní se počítá z hodnot odporů na desce, do budoucna by bylo vhodné ji přeprogramovat do podoby alespoň dvoubodové kalibrační křivky, jako je to u teplotního vstupu. Dále by bylo vhodné připojovat SD kartu pomocí USB kabelu, nyní se musí paměťová karta ze zařízení vyndávat a přitom se zařízení musí rozebrat. Dalším vylepšením by mohlo být připojení linearizační jednotky do počítačové sítě v souladu projektem Industrie 4.0. Toto vylepšení by si ale vyžádalo dodatečné náklady okolo 2 000 Kč na pořízení desky TWR-SER, která by zajišťovala komunikaci po síti ethernet.

## 6 ZÁVĚR

Zadáním mé diplomové práce bylo navrhnout, vytvořit a otestovat zobrazovací linearizační jednotku k průtokoměrům. Tato jednotka měla na displeji zobrazovat korigovanou hodnotu průtoku, teplotu média, typ zvoleného média a číslo průtokoměru, se kterým je zobrazovací jednotka spárována. Dále měla jednotka obsahovat analogový výstup 0 - 10 V.

V kapitole 2 jsem popsal různé principy měření průtoku a popsal některé vlastnosti kapalin, které byly důležité pro řešení mé diplomové práce. Dále jsem popsal nejčastější typy průtokoměrů a způsoby měření teploty.

V kapitole 3 jsem navrhl, jakým způsobem budu postupovat při řešení mé diplomové práce, také jsem zde navrhl algoritmus linearizační jednotky. Musel jsem nalézt vhodný hardware, který bude splňovat parametry zadání. Při výběru hardwaru jsem se zaměřil na tři výrobce: Freescale, Arduino a Raspberry. Po srovnání nabídky těchto firem jsem vybral Tower systém od firmy Freescale. Jedná se o modulární systém, pro který jsem vybral základní desku TWR-K21F120M, displej s označením TWR-LCD, propojovací pole TWR-PROTO a bočnice systému TWR-ELEV. Samotný výběr popisují v kapitole 4.1. Seznámení se s mikrokontrolérem a vývojovou aplikací CodeWarrior popisuje kapitola 4.4. V kapitole 4.2 se zabývám výběrem senzoru teploty. V této kapitole jsou popsány důvody, proč jsem zvolil Pt100. Ochranu vstupů a úpravu napěťových úrovní řeším v kapitole 4.3. Ochranu a úpravu logických úrovní na digitálním vstupu řeším optočlenem, ochrana analogového vstupu je řešena pomocí diod a pojistky. Úprava napětí výstupního signálu jsem vyřešil pomocí operačního zesilovače.

Pro tento hardware jsem implementoval měřicí a vyhodnocovací algoritmus, který je rozdělen na tři samostatné algoritmy běžící ve vlastních cyklech. Implementaci výpočetního algoritmu popisuje kapitola 4.5. V kapitole 4.6 jsem popsal načítání dat ze souboru, komunikaci s displejem a samotné zprovoznění displeje s vytvořením zobrazovaných obrazovek. Také v této kapitole popisují, jaké jsem při načítání dat ze souboru a při zprovožňování displeje řešil problémy. Kapitola 4.7 je věnována aplikaci, kterou jsem vytvořil pro konverzi kalibračních dat z dat z kalibrátoru. Ověřením funkčnosti a testováním mého zařízení se zabývám v kapitole 5.1. Je zde popsán způsob kalibrace teplotního vstupu a test jeho funkčnosti. Zobrazení na displeji a analogový

výstup byly otestovány pomocí kalibračního zařízení pro průtokoměry. Změřil jsem zde nepřesnost zařízení, které jsem zhodnotil v následující kapitole 5.2. Nakonec jsem nastínil možná vylepšení, od zpřesnění linearizační jednotky přes zlepšení ovládání až po možnost připojení k počítačové síti v souladu s projektem Industrie 4.0.

Pro linearizační jednotku byla vyrobena skříň, konstrukce byla provedena ve spolupráci s konstrukterem firmy BOSCH podle mých požadavků. Výkresy jsou obsaženy v příloze.

Linearizační jednotka je schopna pojmout téměř neomezený počet kalibračních křivek pro různé viskozity média. Na základě kalibračních křivek, doplňkového měření teploty a křivky viskozity vybrané kapaliny se provádí korekce průtoku. Počet kapalin, respektive jejich charakteristik, také není omezen.

Chyba linearizační jednotky změřená na kalibrátoru je 0,5 %. Konečná cena zařízení je 12 180 Kč, což je zhruba čtvrtina ceny zobrazovače TFC11-PD, vyvinutého firmou Trigas FI GmbH.

## 7 LITERATURA

- [1] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. 4., přeprac. vyd. České Budějovice: Kopp, 2004, 271 s. ISBN 80-7232-220-6
- [2] PRESS, W. H.: Numerical recipes: the art of scientific computing. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, xxi, 1235 s. ISBN 978-0-521-88407-5
- [3] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 447 s. ISBN 80-730-0156-X
- [4] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [5] Modul galvanicky (optoelektronicky) oddělených vstupů. FUKSA, Michal. *Mujweb.cz* [online]. 2001 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/fuksam/povidani/perifer/optoclen.htm>
- [6] VIRIUS, Miroslav. *Jazyky C a C: kompletní kapesní průvodce programátora*. 1. vyd. Praha: Grada, 2006, 518 s. ISBN 80-247-1494-9.
- [7] MAREŠ, Amadeo. *1001 tipů a triků pro C# 2010*. Brno: Computer Press, 2011, 416 s. ISBN 978-80-251-3250-0.
- [8] Freescale. *Freescale* [online]. 2004-2015. [cit. 2015-01-16]. Dostupné z: <http://www.freescale.com/>
- [9] ŠTETINA, Josef. Tabulka hodnot měřicího odporu Pt 100. VUT V BRNĚ. *Fme.vutbr.cz* [online]. Editor José Nuno Oliveira, Pamela Zave. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/tabulky/Pt100.htm>
- [10] HODNÝ, Jiří. *Dálkové řízení technologického procesu* [online]. Praha, 2004 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: [https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/2/2e/Dp\\_2004\\_hodny\\_jiri.pdf](https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/2/2e/Dp_2004_hodny_jiri.pdf). DIPLOMOVÁ PRÁCE. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Doc. Ing. Bohuslavu Kirchmannovi, CSc.

- [11] FatFs with Kinetis. In: *Http://mcuoneclipse.com/* [online]. 30.6.2012. 2012 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://mcuoneclipse.com/2012/07/30/fatfs-with-kinetis/>
- [12] SEYMOUR, David E. TWR LCD. In: *Community.freescale.com* [online]. May 20, 2014, May 22, 2014 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <https://community.freescale.com/message/405340#405340>
- [13] FolderBrowserDialog Constructor. *Http://msdn.microsoft.com/* [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.windows.forms.folderbrowserdialog.folderbrowserdialog.aspx>
- [14] MAŠTERA, M. *Parametrizování 2D zapisovače*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 37s. Vedoucí bakalářské práce byl ING. RADEK ŠTOHL, Ph. D.
- [15] AW GEAR METERS. *Operaton & Installaton Manual*. Rev 2.2. 8809 Industrial Drive Franksville, WI 53126 800-850-6110, 2013. Dostupné také z: [http://0601.nccdn.net/1\\_5/15e/000/280/GearMeterManual-2013.pdf](http://0601.nccdn.net/1_5/15e/000/280/GearMeterManual-2013.pdf)
- [16] KRACHT *Gear Type Flow Meter VC* Gewerbestr 20 58791 Werdohl, Germany, 2012. Dostupné také z: [http://kracht.eu/uploads/tx\\_ttproducts/datasheet/VC\\_GB\\_01-12\\_01.pdf](http://kracht.eu/uploads/tx_ttproducts/datasheet/VC_GB_01-12_01.pdf)
- [17] TRIGASFI GMBH. *Electroni Linearization for Flowmetrs With Viskosity Compensation TriLIN & TriLIN+T: Installation, Operation And Maintenance Manual*. Rev. 006. Erdinger Str.2b 85375 Neufahrn Germany, 2014.
- [18] AHUJA, Ashish. TEXAS INSTRUMENTS. *TivaTM C Series TM4C123x MCUs: Floating-Point Performance, Analog Integration and Best-in-Class Low-Power Consumption*. 2013. Dostupné také z: [http://www.deyisupport.com/cfs-file.ashx/\\_key/communityserver-discussions-components-files/96/2806.TM4C-Launchpad-Handson.pdf](http://www.deyisupport.com/cfs-file.ashx/_key/communityserver-discussions-components-files/96/2806.TM4C-Launchpad-Handson.pdf)
- [19] ,. FREESCALE. *Kinetis K2x MCU Family*. Rev.8. 2014–2015. Dostupné také z: [http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/fact\\_sheet/KINK2XFS.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/fact_sheet/KINK2XFS.pdf)
- [20] FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. *TWR-K21F120M Tower Module: User's Manual*. Rev. 1.0. July, 2013. Dostupné také z: [http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/user\\_guide/TWR-K21F120M-](http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/user_guide/TWR-K21F120M-)

[UM.pdf?fasp=1&WT\\_TYPE=Users%20Guides&WT\\_VENDOR=FREESCALE  
&WT\\_FILE\\_FORMAT=pdf&WT\\_ASSET=Documentation&fileExt=.pdf](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/user_guide/TWRLCDUM.pdf?fasp=1&WT_TYPE=Users%20Guides&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation&fileExt=.pdf)

[21] FREESCALE SEMICONDUCTOR INC. *TWR-LCD: User's Manual*. Rev. 1.3.  
2009. Dostupné také z:

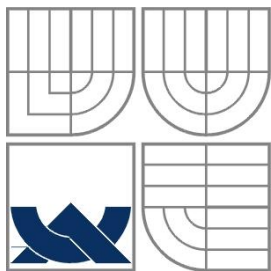
[http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/user\\_guide/TWRLCDUM.  
pdf?fasp=1](http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/user_guide/TWRLCDUM.pdf?fasp=1)

[22] TEYSSLEROVÁ, Marcela. *Měření průtoku v uzavřených profilech – terminologie: ČSN EN 24006 (25 7701)*. Praha: Český normalizační institut, 1995, 54 s.



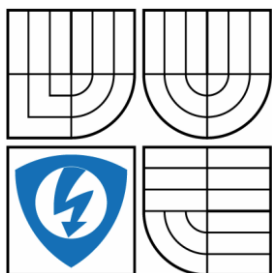
## 8 Seznam příloh

- 1) Návod pro obsluhu
- 2) Zadání od zadavatele diplomové práce
- 3) Schéma
- 4) Technický výkres - Krabička
- 5) Technický výkres - Folie
- 6) Technický výkres - Přední čelo
- 7) Technický výkres - Zadní čelo
- 8) Technický výkres - Nalepení folie na panel
- 9) Foto zařízení a obrazovky
- 10) Příložené CD
  - a. Elektronická verze diplomové práce
  - b. Elektronická verze Návodu pro obsluhu
  - c. Schéma
  - d. Technický výkres - Krabička
  - e. Technický výkres - Folie
  - f. Technický výkres - Přední čelo
  - g. Technický výkres - Zadní čelo
  - h. Technický výkres - Nalepení folie na panel
  - i. Fotky zařízení a obrazovky
  - j. Program k linearizačním jednotkám
  - k. Zdrojové kódy k programu k linearizačním jednotkám
    1. Zdrojové kódy k zobrazovací jednotce
      1. Pro základovou desku
      2. Pro displej



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MĚŘICÍ A LINEARIZAČNÍ ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA PRO PRŮTOKOMĚRY - NÁVOD PRO OBSLUHU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MARTIN MAŠTERA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Petr Petyovský

BRNO 2014

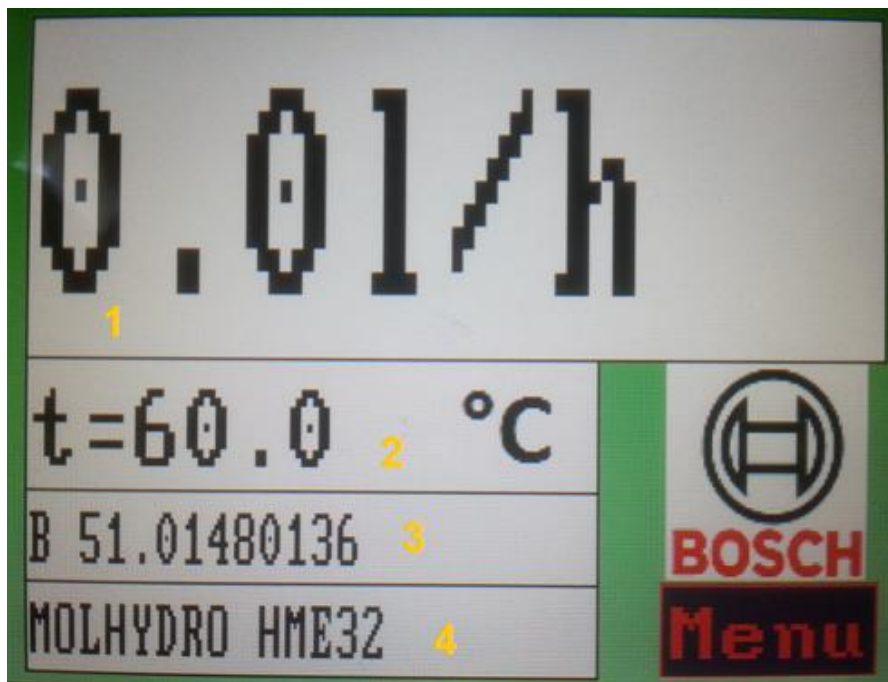
## Obsah

1. Návod k zobrazovací jednotce .....	3
1.1. Výběr kapaliny .....	5
1.2. Nastavení analogového výstupu .....	5
1.3. Nastavení analogového výstupu .....	7
2. Návod k aplikaci k zobrazovací jednotce .....	9
2.1. K-křivky .....	9
2.2. Viskozita.....	10
2.3. Konfigurační soubor.....	11
2.4. Clean.....	11

## 1. Návod k zobrazovací jednotce

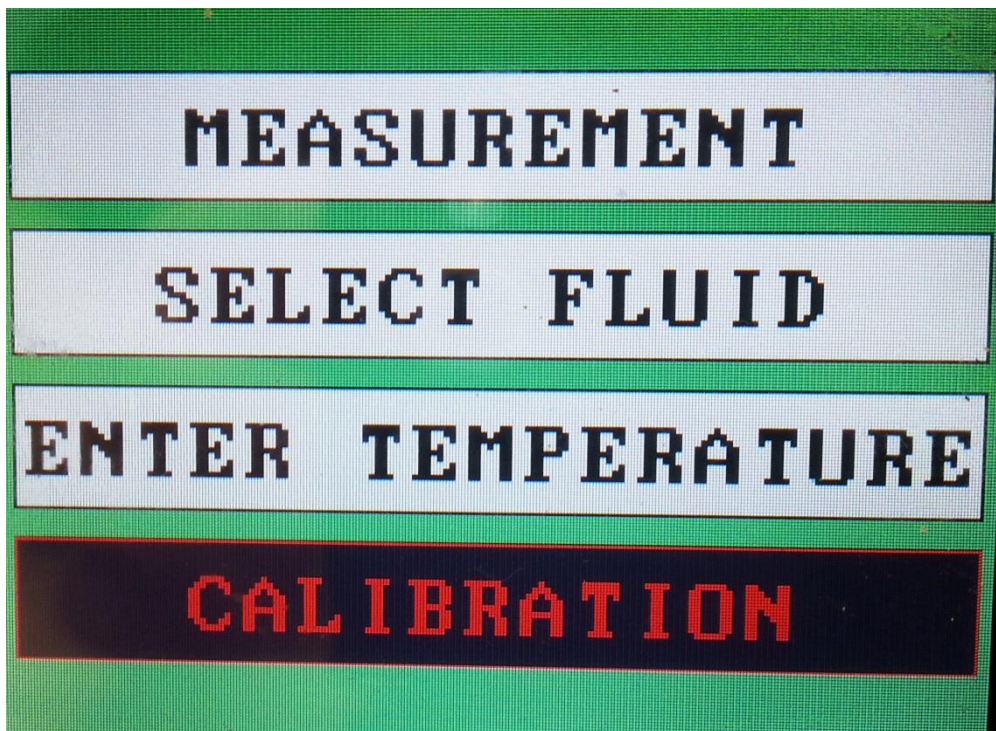
Zobrazovací jednotka se ovládá pomocí dotykové obrazovky. Jako úvodní obrazovka je nastavena obrazovka pro měření.

Jak ukazuje Obrázek 1, tak měřicí obrazovka je rozdělaná na čtyři okénka a navíc obsahuje tlačítko “Menu“. Okénko jedna je největší a je v něm zobrazen korigovaný průtok. Ve druhém okénku je teplota ze snímače teploty. Třetí okénko obsahuje identifikační číslo průtokoměru, ze kterým je daná zobrazovací jednotka kalibrována. Čtvrté okénko obsahuje informace o typu média, které protéká průtokoměrem.



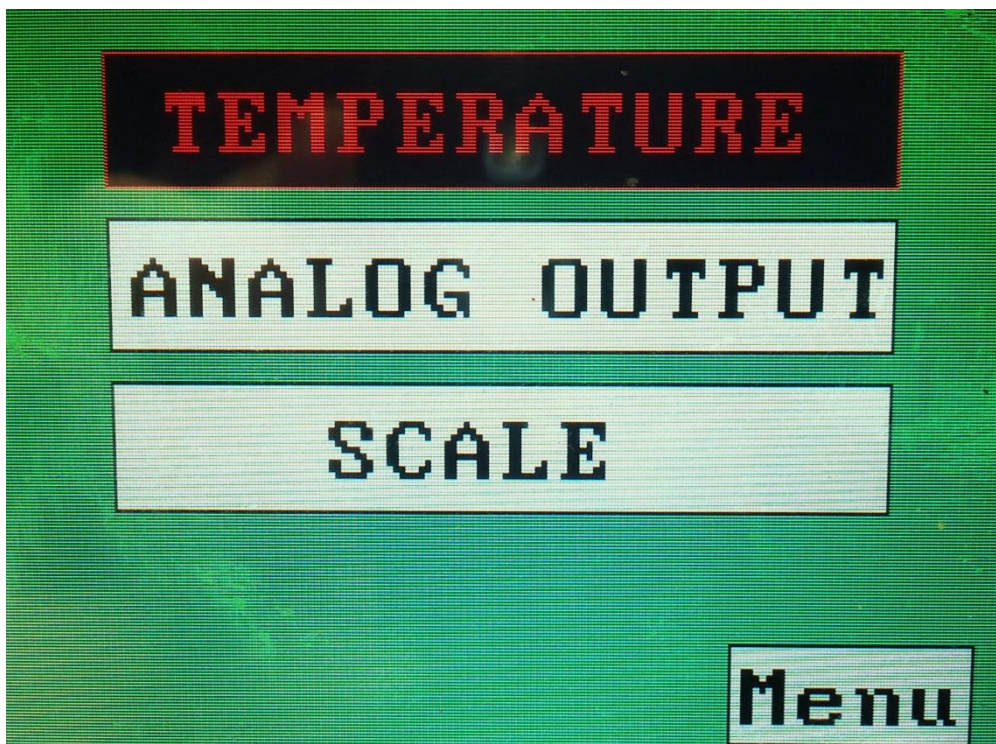
Obrázek 1: Měřicí obrazovka

Nabídka menu obsahuje čtyři tlačítka. Tlačítko “MEASUREMENT“ zobrazí měřicí obrazovku. Tlačítko “SELECT FLUID“ zobrazí obrazovku pro výběr kapaliny. Tlačítko “ENTER TEMPERATURE“ zobrazí obrazovku, kde je možné nastavit teplotu při nepřipojeném snímači teploty. Tlačítko “CALIBRATION“ zobrazí menu pro kalibrace.



Obrázek 2: MENU

Nabídka kalibrací obsahuje následující tlačítka. Tlačítko “*TEMPERATURE*“ zobrazí obrazovku pro dvou bodovou kalibraci. Tlačítko “*ANALOG OUTPUT*“ zobrazí obrazovku na kalibraci napětí na analogovém výstupu. Tlačítko “*SCALE*“ zobrazí aktuální nastavení analogového výstupu.

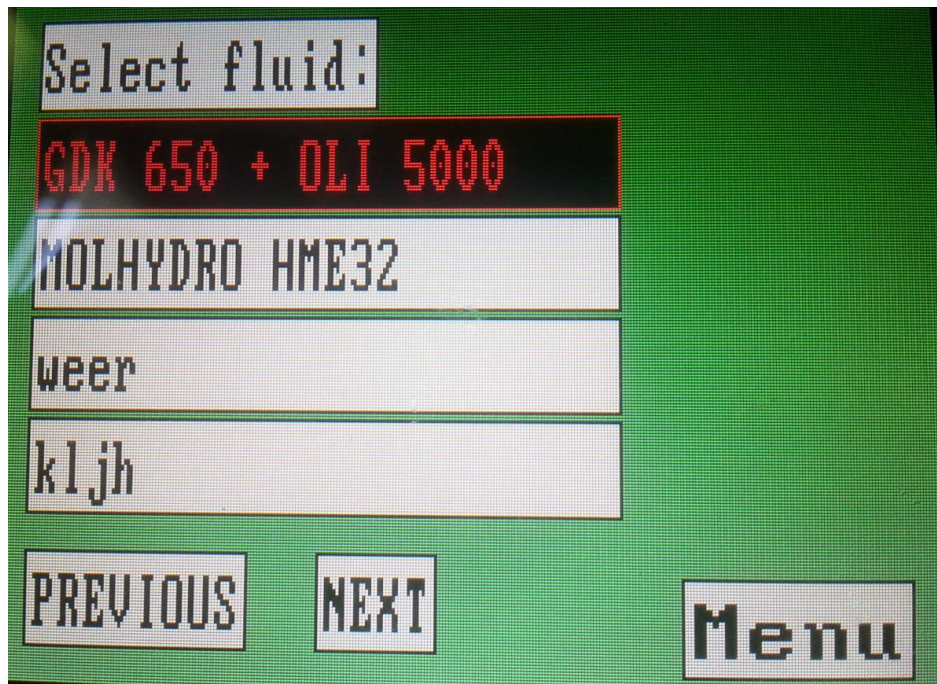


Obrázek 3: Menu kalibrace



## 1.1.Výběr kapaliny

- I. "MENU"
- II. "SELECT FLUID"
- III. Tlačítka "PREVIOUS" a "NEXT", které slouží k listování v seznamu kapalin.
- IV. Kapalina se vybírá z načtených kapalin. Výběr se provede kliknutím na požadovanou kapalinu v seznamu.

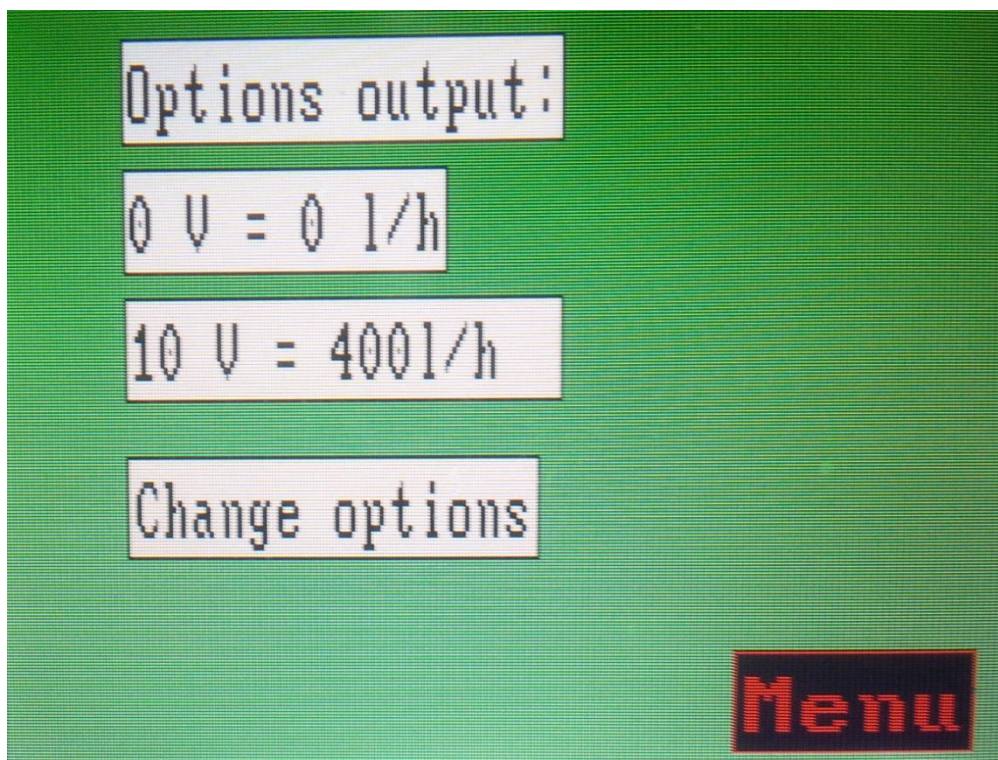


Obrázek 4: Obrazovka pro výběr media

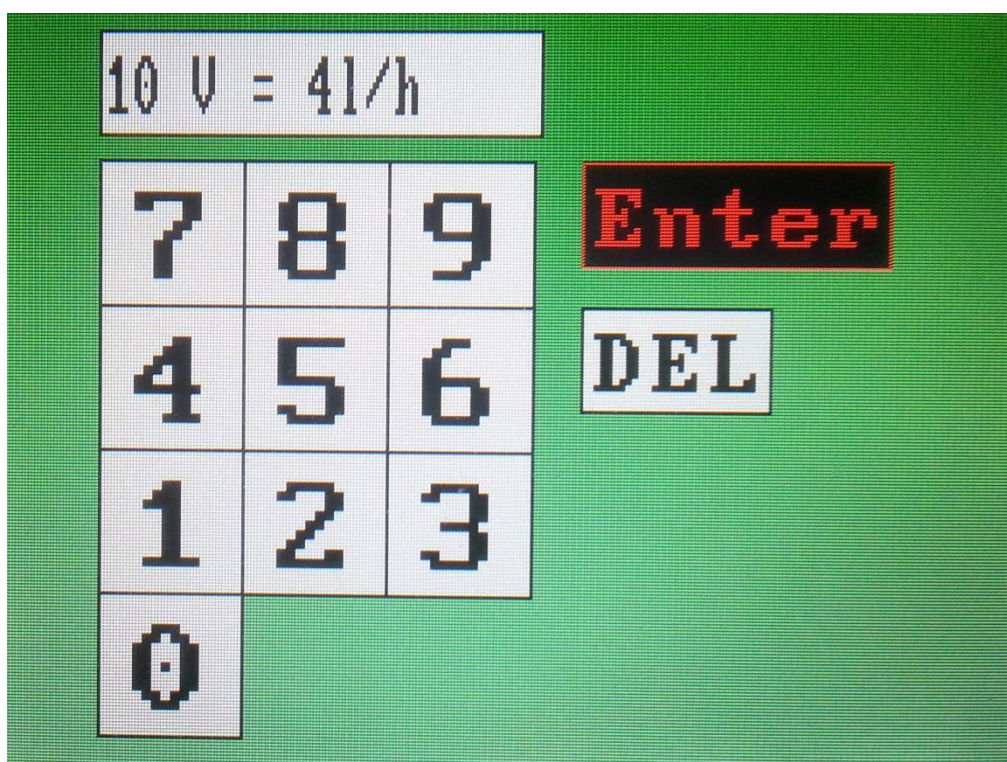
## 1.2.Nastavení analogového výstupu

- I. "MENU"
- II. "CALIBRATION"
- III. "SCALE"  
Zobrazí se obrazovka, kde je vidět aktuální nastavení. Tuto obrazovku popisuje Obrázek 5
- IV. "Change options"  
Zobrazí se obrazovka, kterou zobrazuje Obrázek 6.  
Pomocí klávesnice se nastaví hodnota průtoku, která má odpovídat na výstupu 10 V.
- V. "Enter"





Obrázek 5: Nastavení výstupu

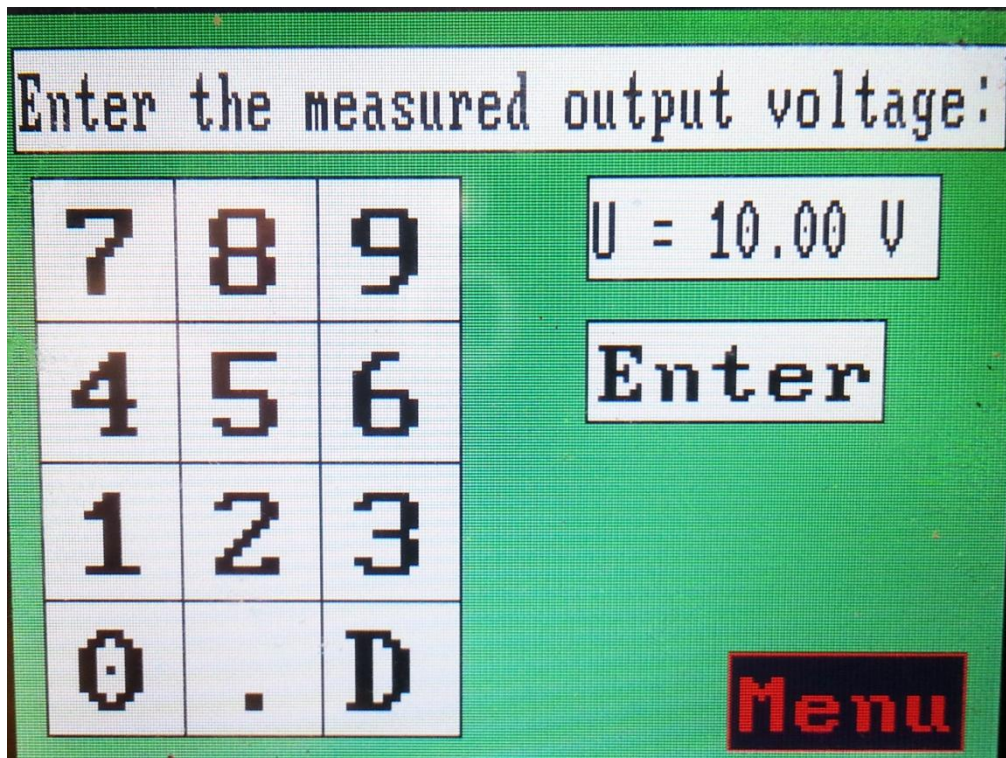


Obrázek 6: Nastavení výstupu



### 1.3. Kalibrace analogového průtoku

- I. "MENU"
- II. "CALIBRATION"
- III. "ANALOG OUTPUT"  
Dojde k nastavení 10 V na analogový výstup a zobrazí se obrazovka, kterou zobrazuje Obrázek 7.
- IV. Na analogový výstup připojte voltmetr.
- V. Hodnotu z voltmetru pomocí klávesnice zadejte do linearizační jednotky.
- VI. Zmačknete tlačítko "Enter"
- VII. Pokud se výstup nepodaří kalibrovat na hodnotu 10V tak postup od bodu V. opakujte.  
Kalibrace je nastavena, že při druhém pokusu dojde k přesnější kalibraci.



Obrázek 7: Obrazovka pro kalibraci analogového výstupu



## 1.4. Kalibrace teploty

VIII. "MENU"

IX. "CALIBRATION"

X. "TEMPERATURE"

Zobrazí se obrazovka pro kalibraci teploty. Tuto obrazovku popisuje Obrázek 8.

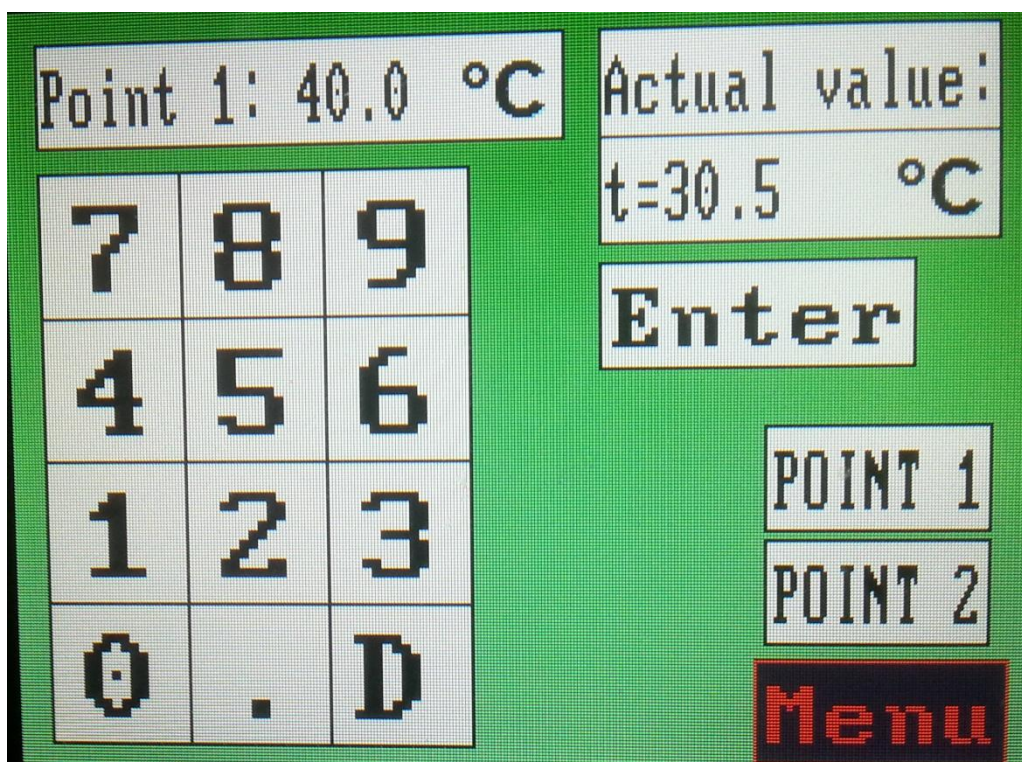
XI. Vložíme Pt 100 do teplotní pícky nastavíme na ní teplo 40 °C A počkáme, než se ustálí.

XII. Zmáčkne "Enter"

XIII. Na teplotní pícce nastavíme 100 °C a na obrazovce zmáčkne "POINT 2"

XIV. Po ustálení zmáčkne "Enter " a pak ještě jednou tím dojde ke kalibraci.

Dvou bodová kalibrace se nemusí provádět na teplotách 40°C a 100 °C. Hodnoty těchto bodů e dají pomocí klávesnice změnit.



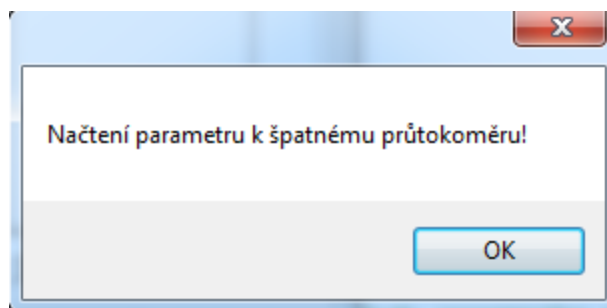
Obrázek 8: Obrazovka pro kalibraci teplotního vstupu

## 2. Návod k aplikaci k zobrazovací jednotce

Aplikace se nemusí instalovat, stačí jí jenom zkopírovat na požadované místo. Aplikace slouží k vytváření konfiguračních souborů, k zadání křivky viskozity pro potřebné kapaliny v zadaném formátu a k vytvoření korekčních křivek z dat z kalibračního zařízení.

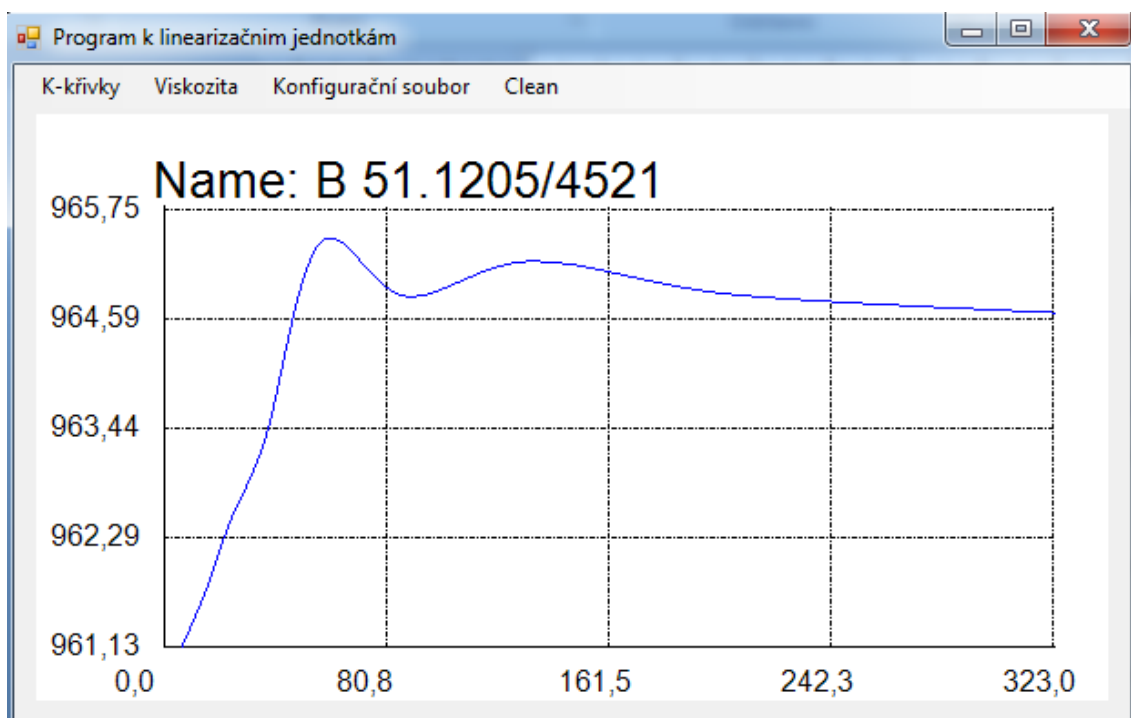
### 2.1. K-křivky

Položka “K-křivky“ v menu slouží k zobrazení nabídky položek pro práci s kalibračními křivkami k průtokoměru. Položka “Načti“ slouží k načítání kalibračních dat ze souboru, který vytváří program ke kalibrátoru. Po načtení první kalibrační křivky lze dále načítat data jen k danému průtokoměru. Obrázek 9 ukazuje chybovou hlášku, která se zobrazí po načtení dat k špatnému průtokoměru.



Obrázek 9: Chybová hláška 1

Načtená data se postupně zobrazují, jako kalibrační křivky na obrazovce.

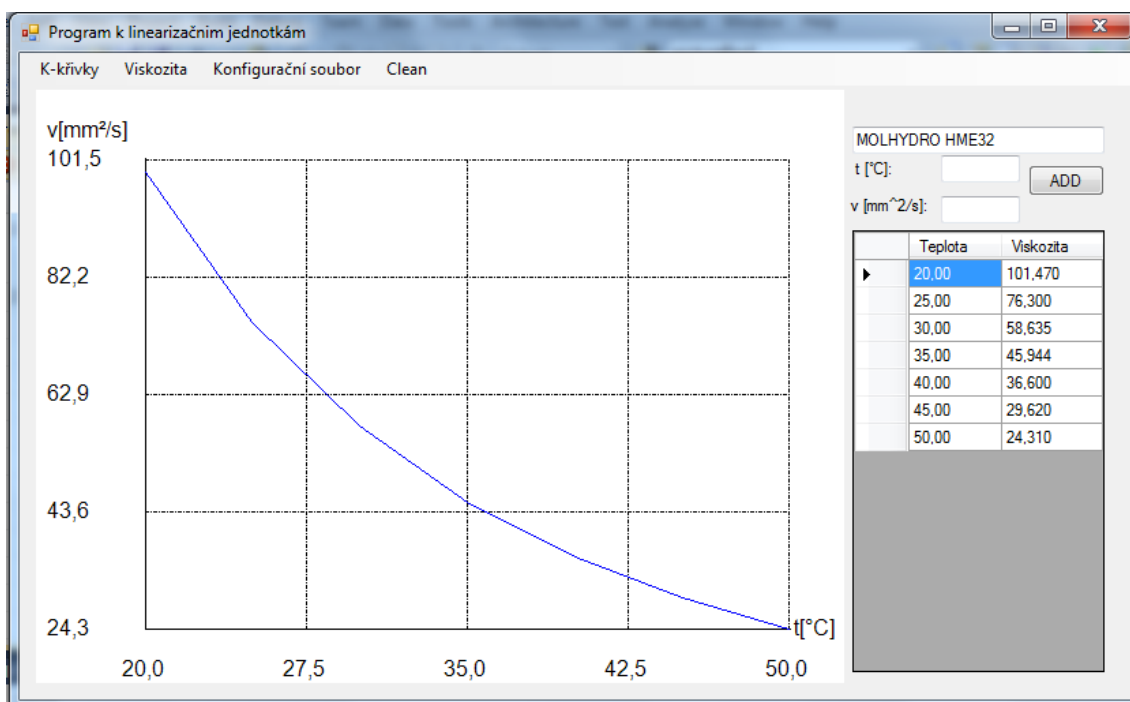


Obrázek 10: Program k linearizační jednotce - K křivky

Načtená data se dají uložit pomocí položky “Uložit”. Po kliknutí na toto tlačítko se zobrazí dialogové okno, kde lze změnit umístění a název ukládaných dat. Název je primárně nastaven na identifikační číslo průtokoměru.

## 2.2. Viskozita

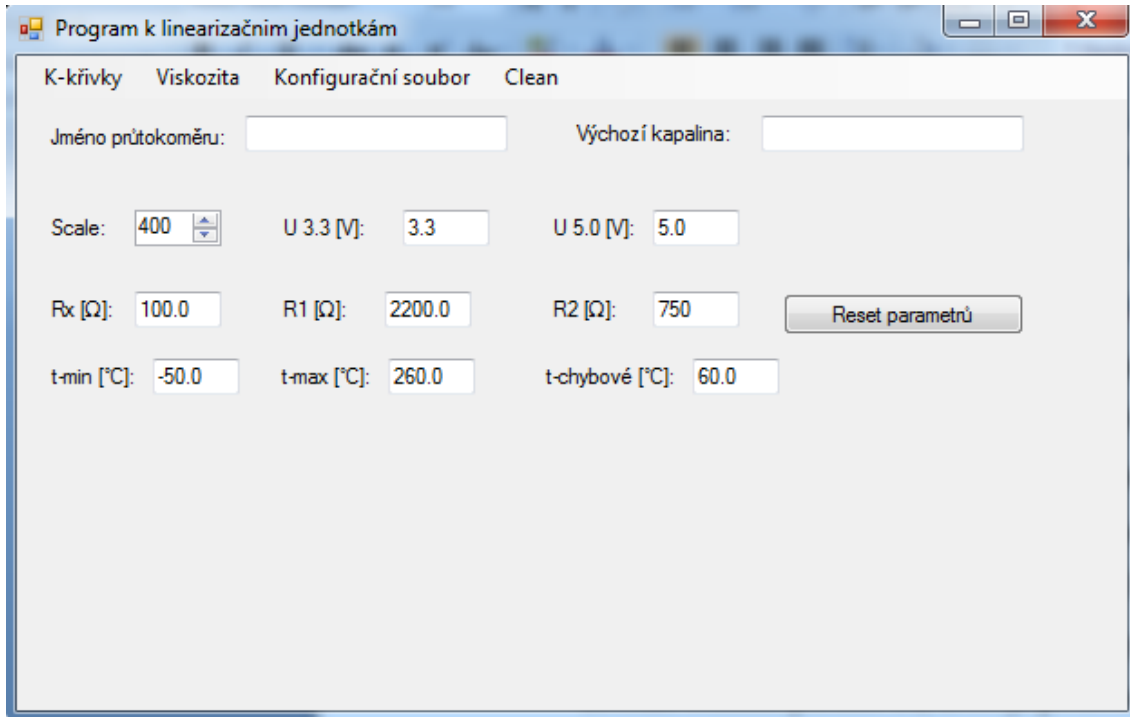
Pod položkou “Viskozita” je submenu pro vytvoření souboru, který obsahuje aproximaci křivky viskozity. Obrazovka, kterou zobrazuje Obrázek 11, se objeví po zmáčknutí položek “Načti” a “Zadej”. Zadané nebo načtené body je možné editovat a tyto body se zobrazují v grafu. Body se zadávají pomocí tlačítka “ADD”. Body je možné změnit jejich přepsáním v seznamu bodů. A jejich smazání se udělá pomocí klávesy *DEL*, a to tak že klikneme na požadovaný řádek, který chceme smazat, a zmačkneme klávesu *DEL*. Při zmáčknutí položky “Ulož” se nejdříve testuje, jestli je zadáno jméno kapaliny a jestli alespoň jeden parametr funkce je nenulový. Jinak se zobrazí chybová hláška.



Obrázek 11: Obrazovka pro zadání viskozity

### 2.3. Konfigurační soubor

Pod Položkou “*Konfigurační soubor*“ je nabídka, kde je tlačítko pro načtení již existujícího konfiguračního souboru, dále je tu tlačítko pro vytvoření nového konfiguračního souboru a tlačítko pro ukládání.



**Obrázek 12: Obrazovka pro tvorbu konfiguračního souboru**

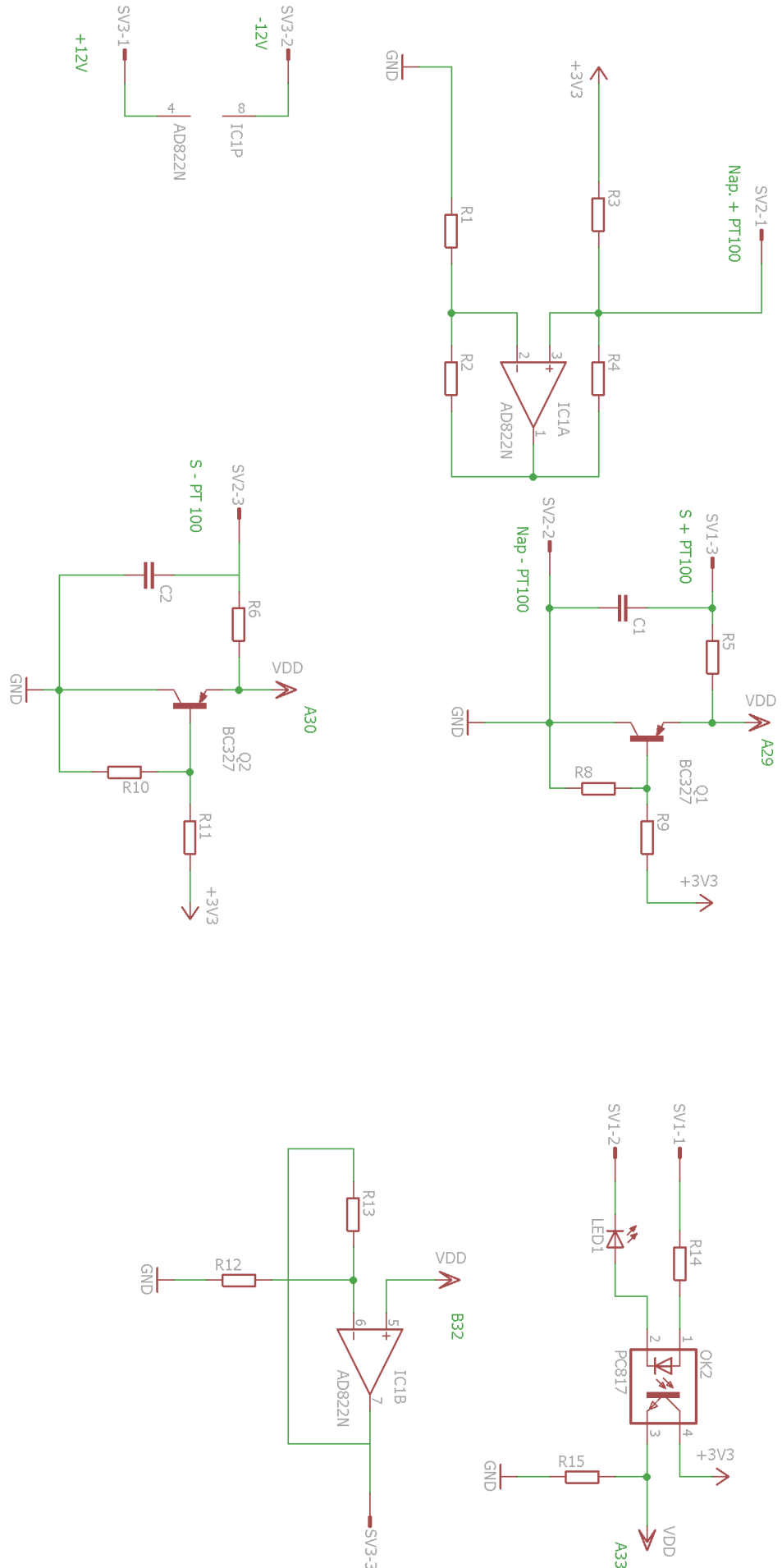
Obrázek 12 ukazuje obrazovku pro tvorbu konfiguračního souboru. Při ukládání se testuje, jestli je zadáno jméno průtokoměru a výchozí kapalina. Je zde i tlačítko “*Reset parametrů*“, toto tlačítko vrátí zadané do výchozího nastavení, to zobrazuje Obrázek 12.

Výchozí hodnoty jednotlivých parametrů se shodují se jmenovitými hodnotami ze schématu, které je přiloženo v příloze [1]. Pro zpřesnění měření nebo při použití jiných součástí než je uvedeno ve schématu je možné tyto hodnoty nastavit.

### 2.4. Clean

Toto tlačítko slouží k nastavení programu do výchozího nastavení a vymazání všech dat, které byly načteny.

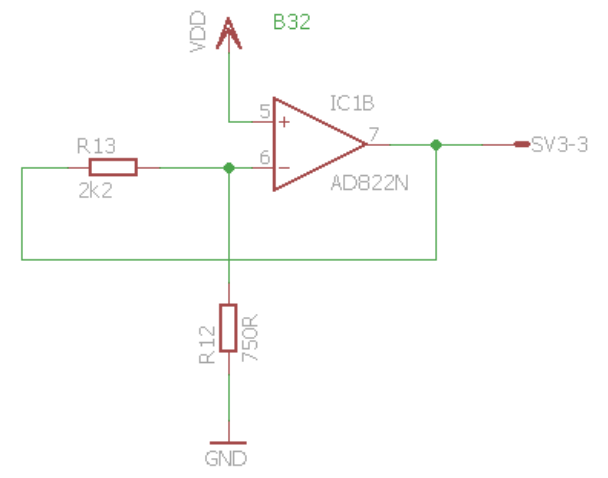
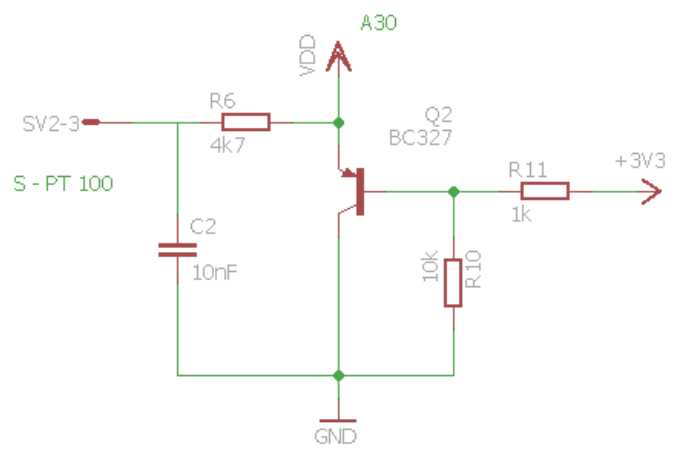
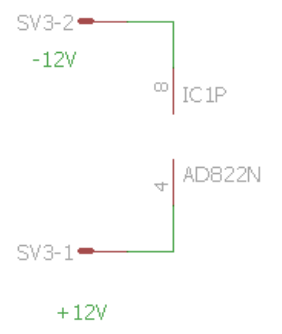
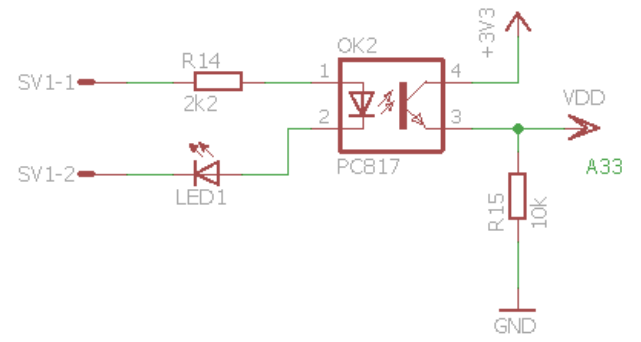
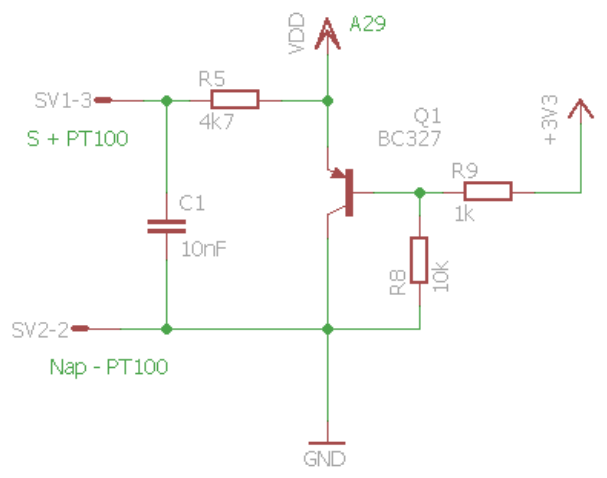
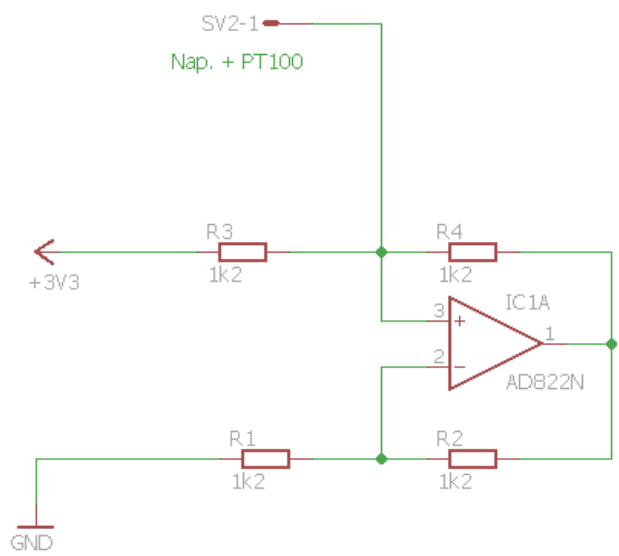
### 3. Příloha - Shéma

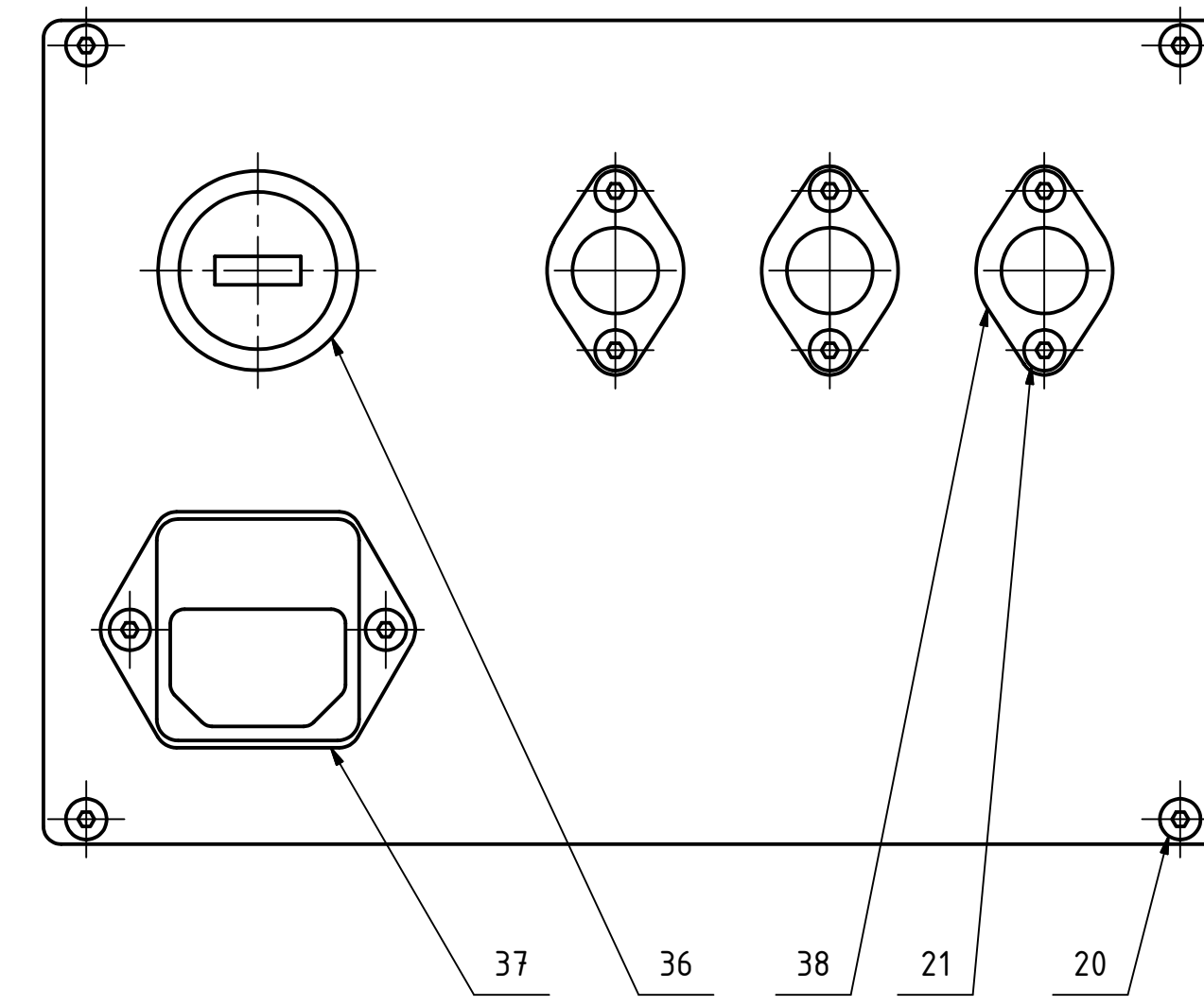
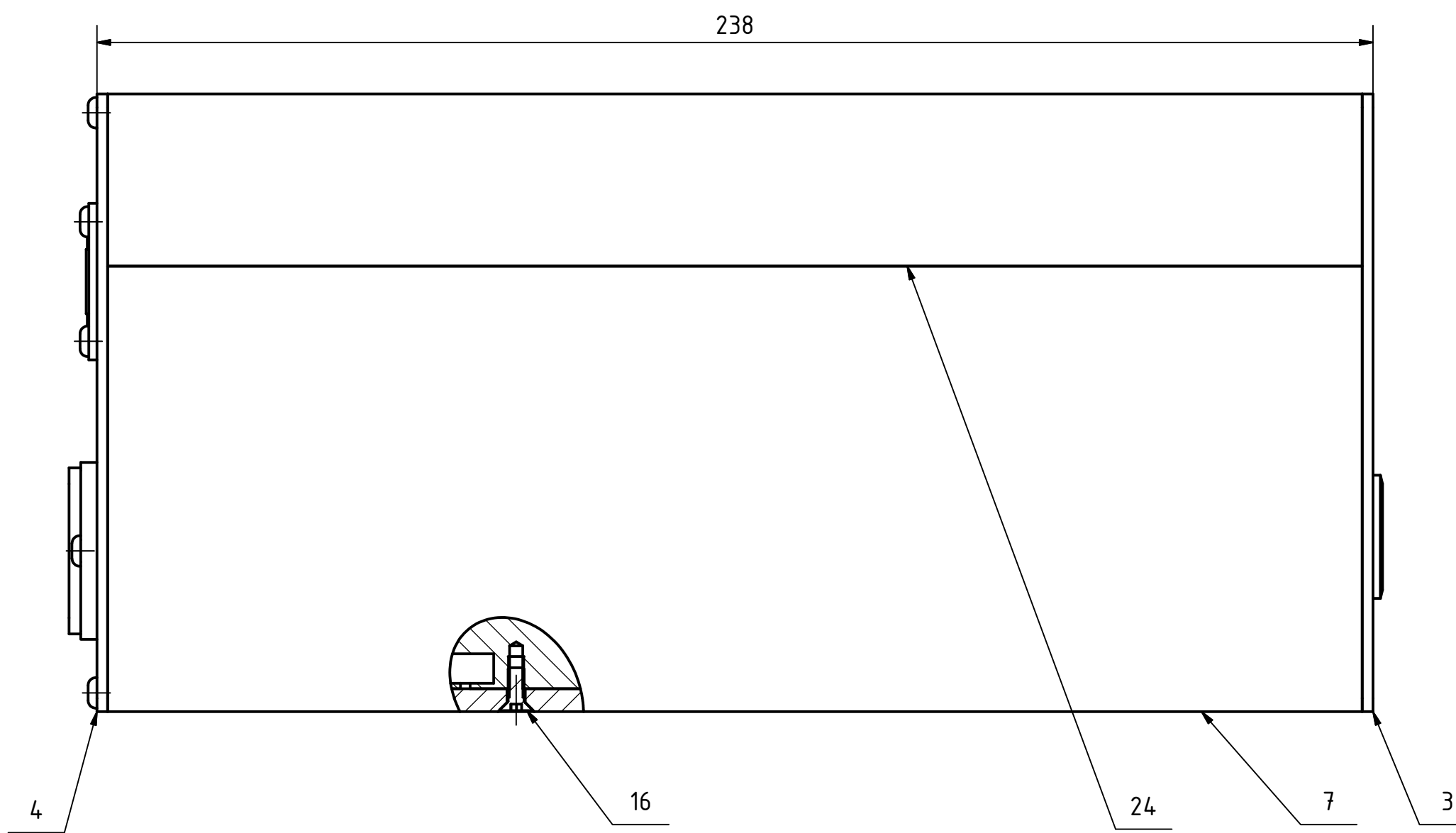
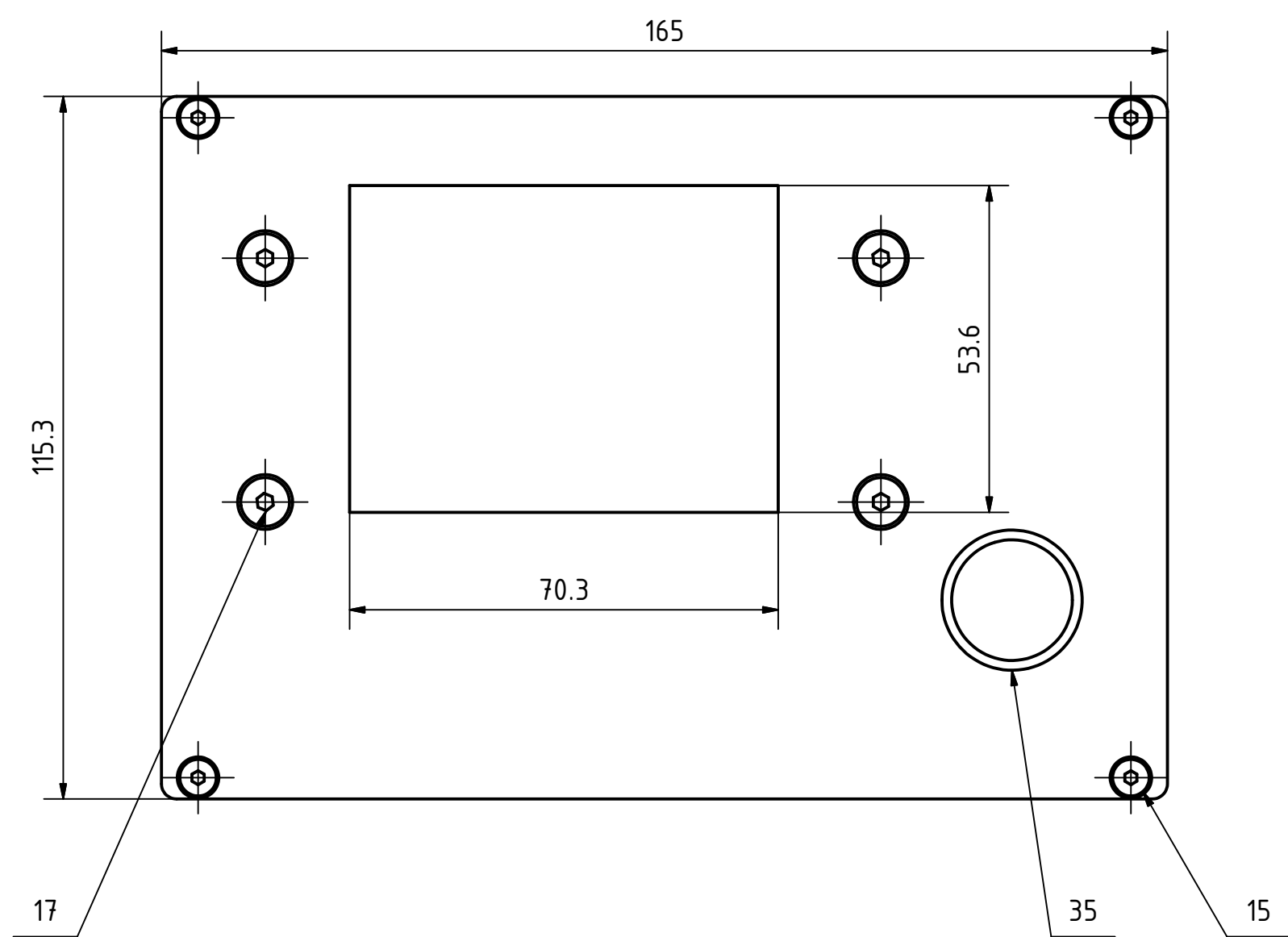


**Téma bakalářské/diplomové práce**  
**Thema der Bakkalaureats-/Diplomarbeit**

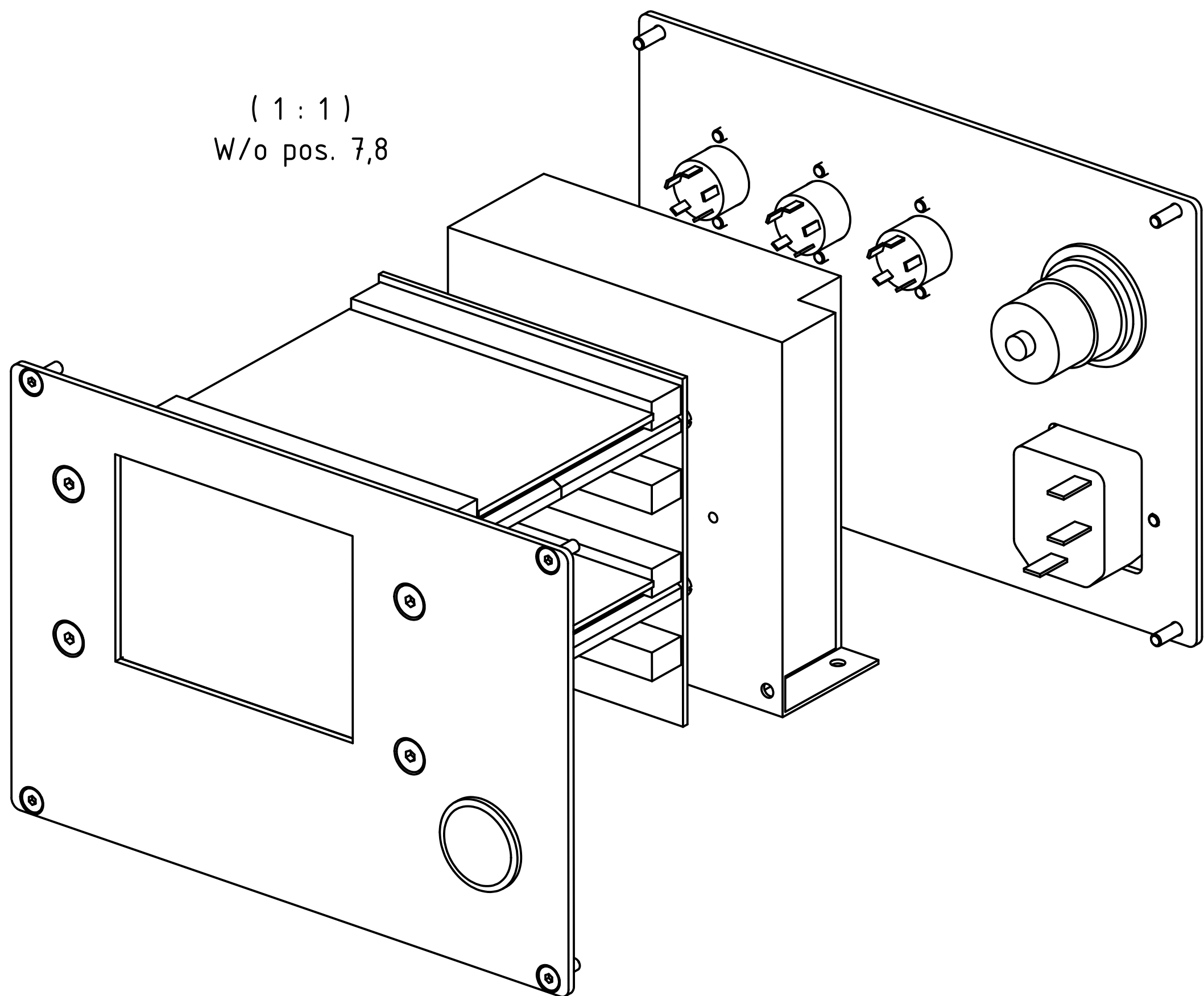


<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<b>Diplomová práce / Diplomarbeit / Diploma Thesis</b> <b>Bakalářská práce / Bakkalaureatsarbeit / Bachelor Thesis</b>
<b>Oddělení/ Abteilung/ Department</b>	DS/ETC1-Jh
<b>Nákl. středisko/ Kostenstelle/ Cost centre</b>	515484
<b>Obor/ Fachrichtung/ Specialization</b>	Průmyslová automatizace, elektrotechnika
<b>Téma/ Thema/ Thesis</b>	<b>Linearizační zobrazovací jednotka k průtokoměrům</b>
<b>Cíl/ Ziel/ Objective</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Návrh a realizace zařízení.</li> <li>2) Vytvoření SW pro komunikaci se zařízením.</li> </ol>
<b>Úkoly a postup/ Aufgaben und Vorgehen/ Tasks and Proceeding</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Linearizační jednotka bude přijímat pulzy ze zubového průtokoměru KRACHT, jejichž frekvence odpovídá průtoku. Průtok je veličina nelineárně závislá na teplotě a viskozitě měřeného média. Závislost popisují kalibrační křivky průtokoměru. Úkolem diplomanta je navrhnout a realizovat zobrazovací jednotku, která ze vstupních dat (frekvence pulzů, teplota média, viskozita media, koeficient jeho roztažnosti a kalibrační křivky průtokoměru) vypočítá aktuální hodnotu průtoku.</li> <li>2) Na displeji bude zobrazena aktuální hodnota průtoku, aktuální teplota média a číslo průtokoměru, se kterým je zobrazovací jednotka spárována.</li> <li>3) Zobrazovací jednotka může být vybavena analogovým výstupem 0-10V (příp. 0-20mA), na kterém bude napětí (proud) úměrné kalibrované hodnotě průtoku.</li> </ol>
<b>Mentor JhP/ Betreuer JhP/ Supervisor JhP</b>	Ing. Jaroslav Čáp, Ph.D.

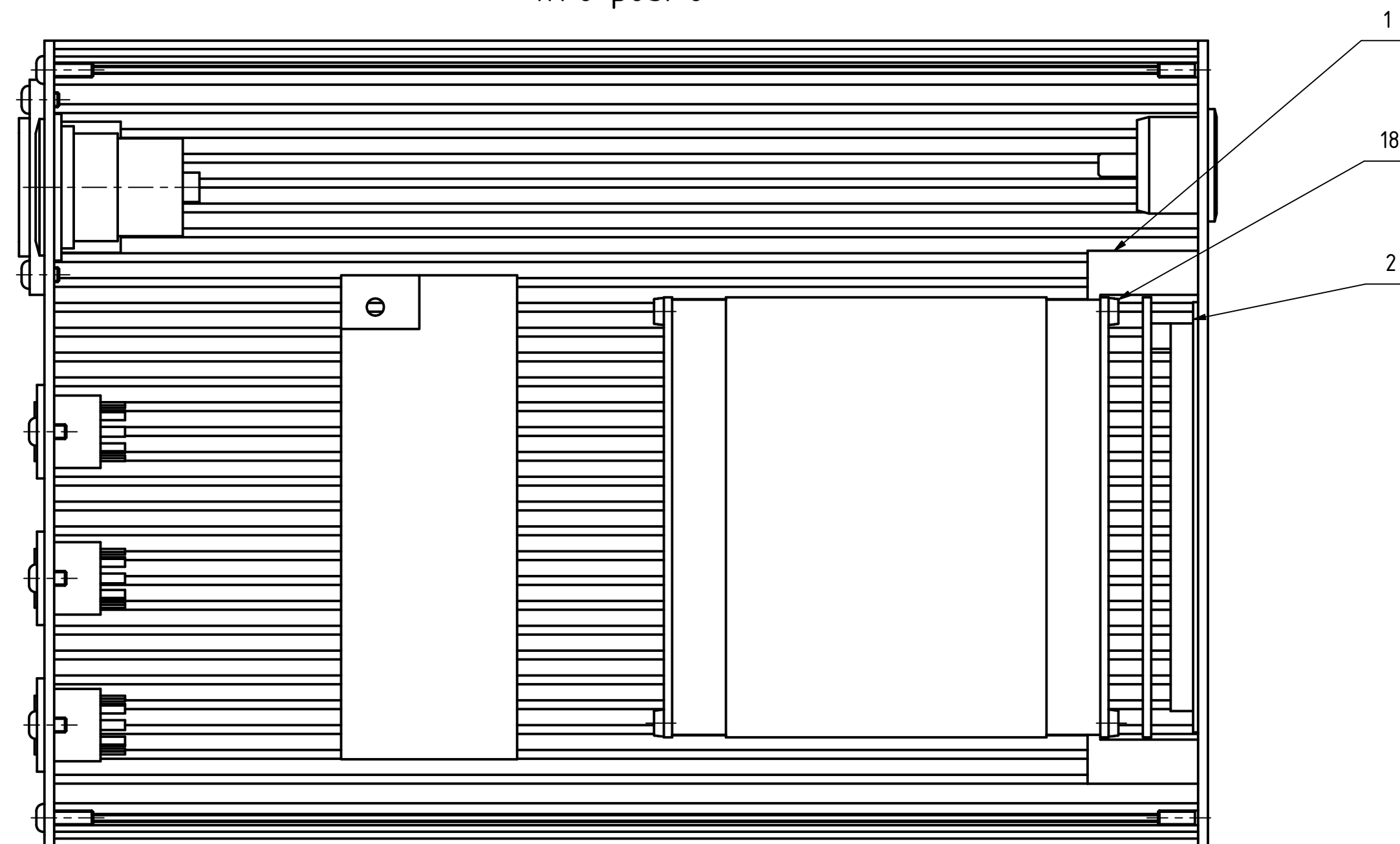




(1:1)  
W/o pos. 7,8

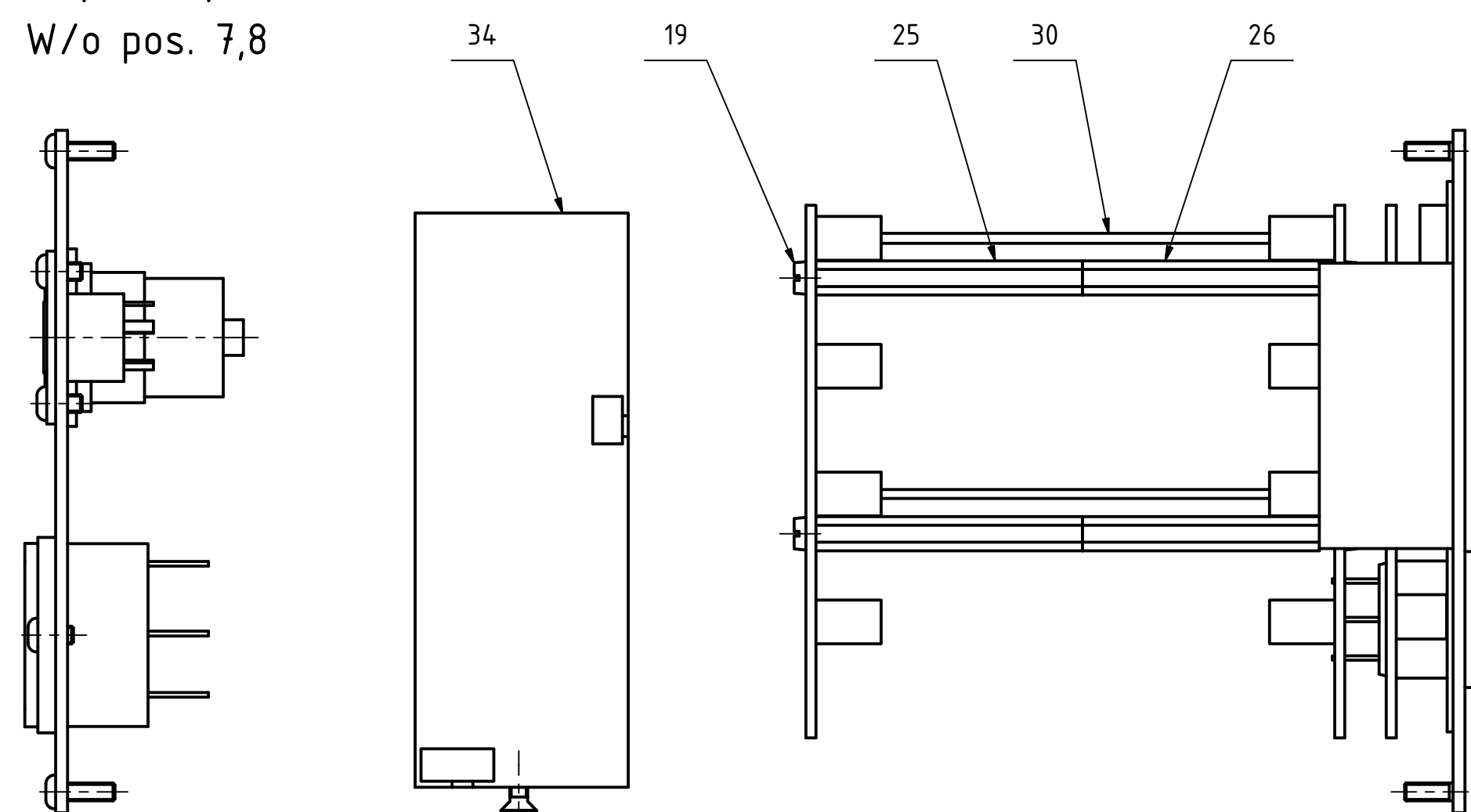


(1:1)  
W/o pos. 8



A ↑

(1:1)  
W/o pos. 7,8



Pos	Pcs	Number	Name	Material	Supplier	Notes
38	3		Analog connector	--		
37	1		Power supply connector	--		
36	1	1229310	USB connector	--	Conrad	
35	1		Main switch	--		
34	1	RQ-50	Power supply	--	Mean Well	
30	1		Control unit	--		
26	4	DI5M3x40	Distance	--	GM electronic	
25	4	DA5M3x45	Distance	--	GM electronic	
24	1	KOHL 4 234	Cover	--	Fischer elektronik	
21	8	ISO 7380 - M3 x 6	Screw	--		
20	4	ISO 7380 - M3 x 10	Screw	--		
19	4	DIN 84 - M3 x 8	Screw	--		
18	4	DIN 84 - M3 x 12	Screw	--		
17	4	DIN 7991 - M4x16	Screw	--		
16	2	DIN 7991 - M3x8	Screw	--		
15	4	DIN 7991 - M3x10	Screw	--		
7	1	CR_AB201-7	Cover	--		
4	1	CR_AB201-4	Bottom cover	3.3206 AlMgSi05		
3	1	CR_AB201-3	Front plate	3.3206 AlMgSi05		
2	1	CR_AB201-2	Sticking sealing	--		
1	2	CR_AB201-1	Holder	PA6		

general tolerances acc. to / všeobecné tolerance dle	
dimensional tol. / tol. rozměrů	tol. class / třída
ISO 2768-1:1989-11	
m	
geometrical tol. / geometrické tol.	
tol. class / třída	
ISO 2768-2:1989-11	
K	
± 0,5	± 3
± 3	± 6
± 6	± 30
± 30	± 120
± 120	± 400
± 400	± 1000
non-toleranced dimensions / netolerované rozměry	
± 0,1	± 0,1
± 0,2	± 0,3
± 0,5	± 0,8
non-tol. broken edges / netolerované sražené hrany	
± 0,2	± 0,5
angles: length of the shorter side / úhly, délka kratší strany	
± 10	± 10
± 50	± 120
± 120	± 400
± 400	± 1000
± 1°	± 0°30'
± 0°20'	± 0°10'
± 0°15'	± 0°15'
all non-dimensioned edges of undef. shape acc. to / všechny nekotované hrany neurčeného tvaru dle	
ISO 13715:2000-06	
± 0,3	± 0,3
± 0,1	± 0,1
surface texture according to / drsnost povrchu dle	
ISO 1302:2002-02	
all linear dimensions in / všechny lineární rozměry v	
mm	
size acc. to / rozměry dle	
ISO 14405-1:2010-12	
principle of independency / princip nezávislosti	
LP	

T. details/T. detaily

Similar/Podob. Ist applicat./I. použití

Orderno. Constr./Konstr. obj. č. Classification/Klasifikace Customerno./Č. zákaznika

00 20150327 Mastera 515 DS/ETC31-Jh

Int. Change/Změna YYYYMMDD Drawn/Kres. Checked/Ověř. Released/Vydal BWN

Resp. dept./Odpovědné odd. Add. info/Poznámky

Tracimant Zpracování Missed details/Chybějící detaily Size/Objem

Material From/2

Lang./Jazyk Wght./Hmotnost

EN/C5 1,200 kg

ISO E Crit. P Scale/Měřítka

1:1

Mat. needs/pož. Syst. INV

Doc. type DRW

Repl. for: CR\_AB201--

Repl. by:

Control panel Ridic panel

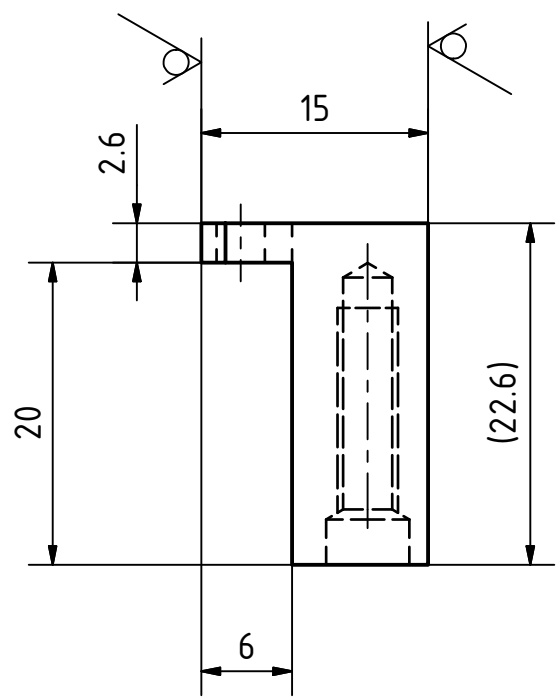
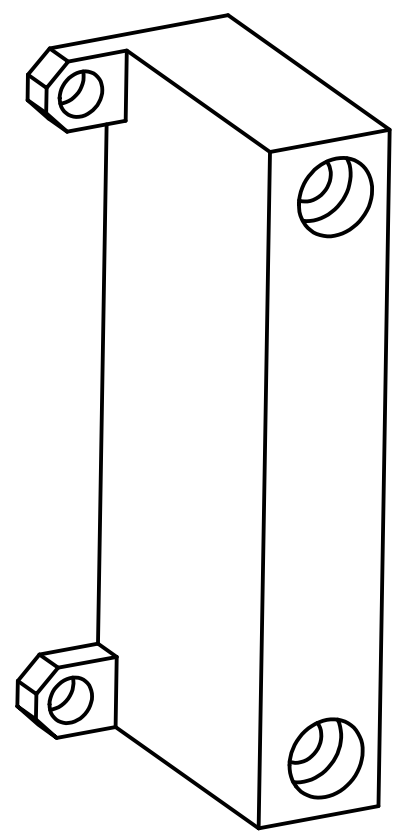
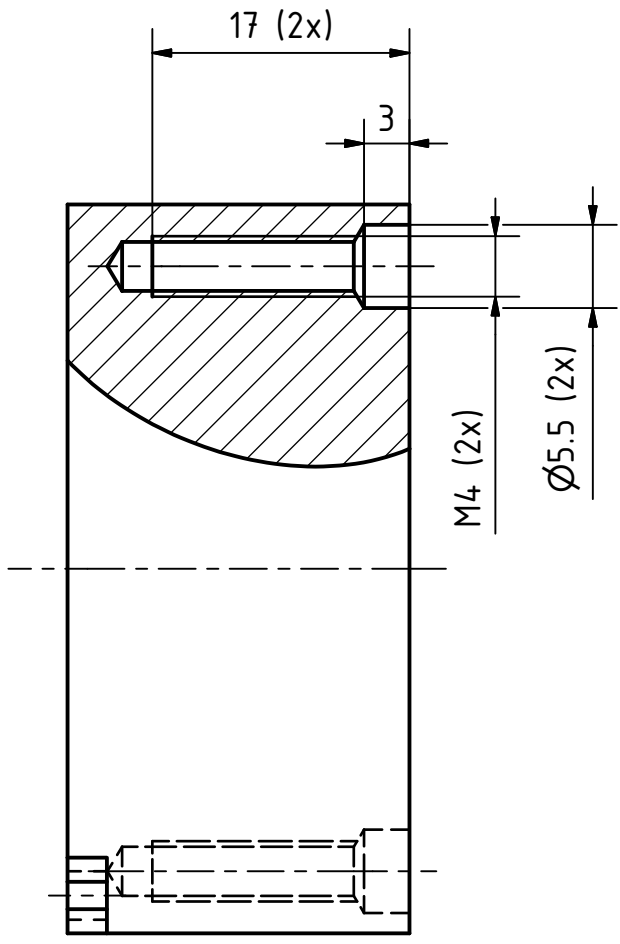
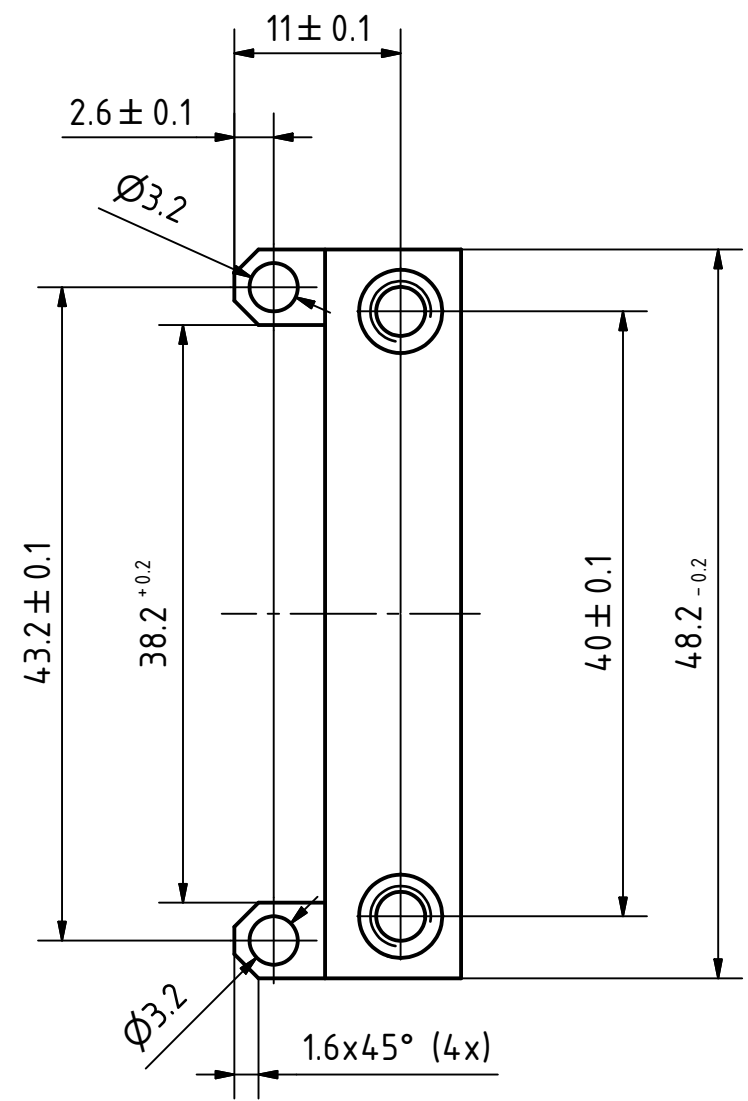
1 / 1

Formal A1



© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. Všechna práva vyhrazena, včetně jakéhokoli použití, užívání, reprodukce, úprav a šíření i v případech aplikací průmyslových vlastnických práv.

© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

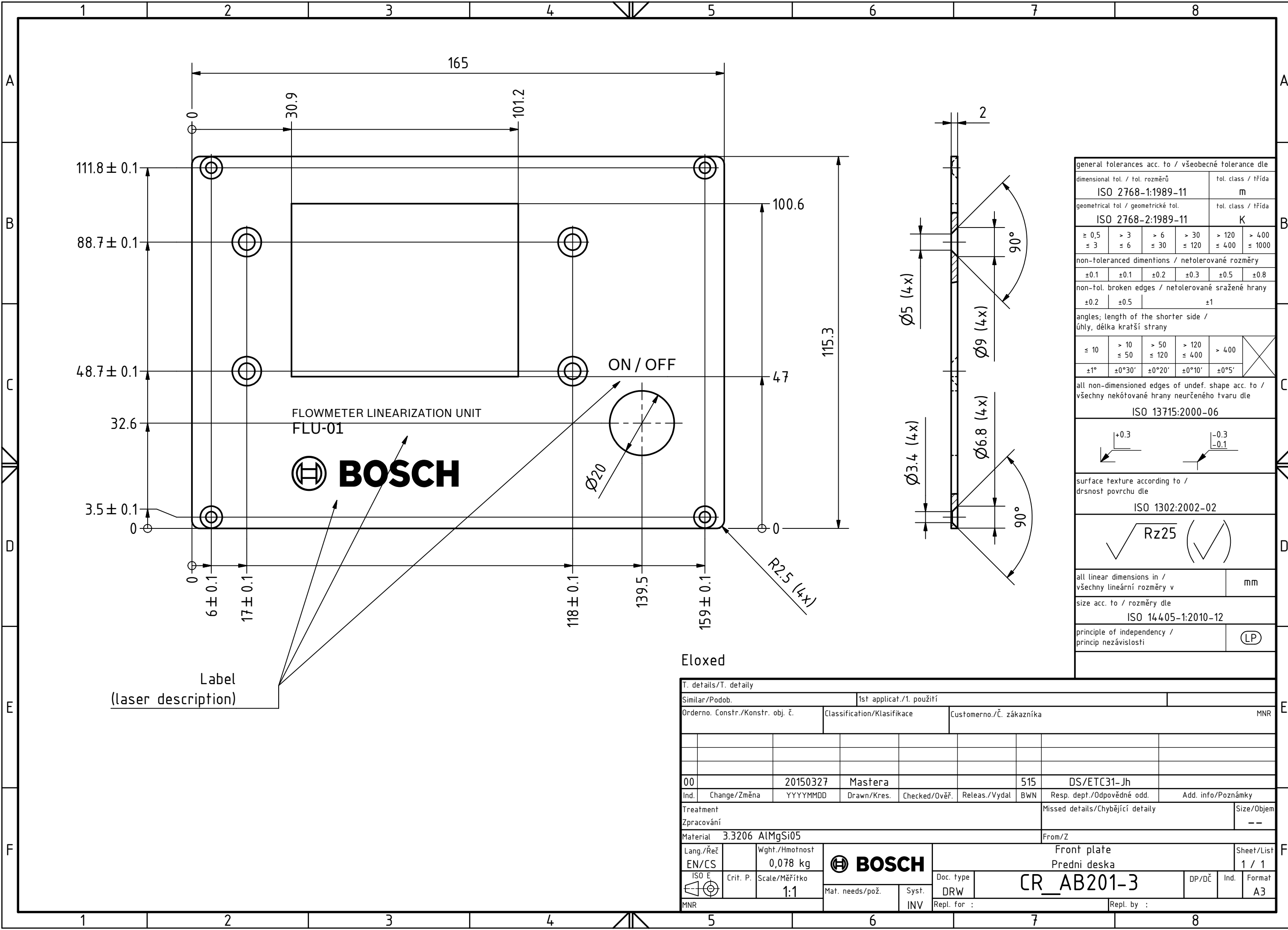


general tolerances acc. to / všeobecné tolerance dle					
dimensional tol. / tol. rozměrů			tol. class / třída		
ISO 2768-1:1989-11			m		
geometrical tol. / geometrické tol.			tol. class / třída		
ISO 2768-2:1989-11			K		
≥ 0,5	> 3	> 6	> 30	> 120	> 400
≤ 3	≤ 6	≤ 30	≤ 120	≤ 400	≤ 1000
non-toleranced dimensions / netolerované rozměry					
±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8
non-tol. broken edges / netolerované sražené hrany					
±0.2	±0.5	±1			
angles; length of the shorter side / úhly, délka kratší strany					
≤ 10	> 10	> 50	> 120	> 400	X
≤ 50	≤ 120	≤ 400			
±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'	
all non-dimensioned edges of undef. shape acc. to / všechny nekótované hrany neurčeného tvaru dle					
ISO 13715:2000-06					
surface texture according to / drsnost povrchu dle					
ISO 1302:2002-02					
all linear dimensions in / všechny lineární rozměry v					mm
size acc. to / rozměry dle					
ISO 14405-1:2010-12					
principle of independency / princip nezávislosti					(LP)

T. details/T. detaily										
Similar/Podob.					1st applicat./1. použití					
Orderno. Constr./Konstr. obj. č.			Classification/Klasifikace			Customerno./Č. zákazníka				
						MNR				
00			20150327			Mastera		515		DS/ETC31-Jh
Ind.	Change/Změna	YYYYMMDD	Drawn/Kres.	Checked/Ověř.	Releas./Vydal	BWN	Resp. dept./Odpovědné odd.	Add. info/Poznámky		
Treatment							Missed details/Chybějící detaily		Size/Objem	
Zpracování									--	
Material PA6							From/Z			
Lang./Řeč		Wght./Hmotnost				Holder		Sheet/List		
EN/CS		0.009 kg				Drzak		1 / 1		
ISO E		Scale/Měřítka		Mat. needs/pož.		Syst.		Doc. type		
		1:1				DRW		CR_AB201-1		
MNR				INV		Repl. for :		Repl. by :		

© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. Všechna práva vyhrazena, včetně jakéhokoli použití, užívání, reprodukce, úprav a šíření i v případech aplikací průmyslových vlastnických práv.

© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



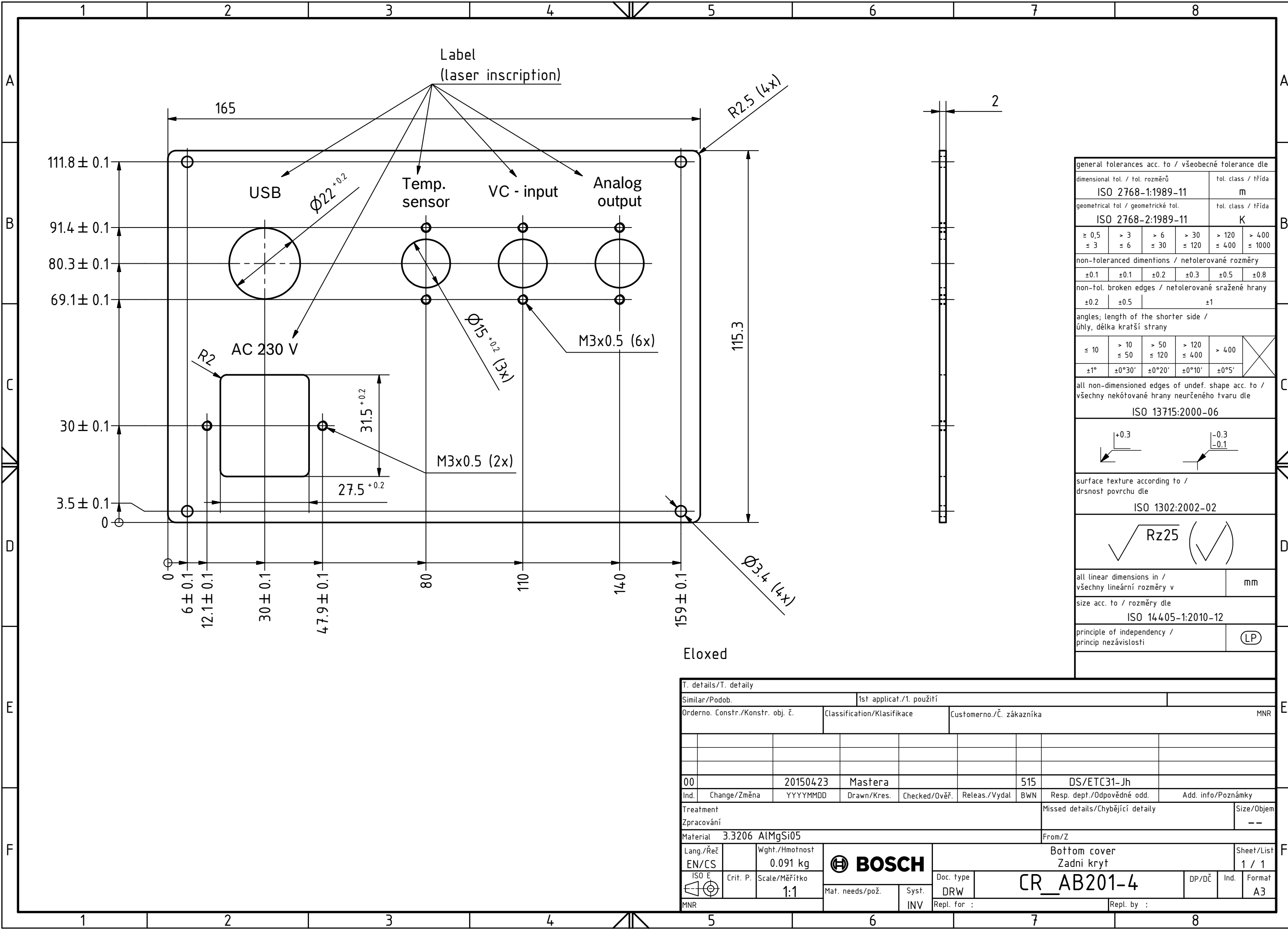
general tolerances acc. to / všeobecné tolerance dle					
dimensional tol. / tol. rozměrů			tol. class / třída		
ISO 2768-1:1989-11			m		
geometrical tol. / geometrické tol.			tol. class / třída		
ISO 2768-2:1989-11			K		
≥ 0,5	> 3	> 6	> 30	> 120	> 400
≤ 3	≤ 6	≤ 30	≤ 120	≤ 400	≤ 1000
non-toleranced dimensions / netolerované rozměry					
±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8
non-tol. broken edges / netolerované sražené hrany					
±0.2	±0.5	±1			
angles; length of the shorter side / úhly, délka kratší strany					
≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400	✗
±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'	
all non-dimensioned edges of undef. shape acc. to / všechny nekótované hrany neurčeného tvaru dle					
ISO 13715:2000-06					
surface texture according to / drsnost povrchu dle					
ISO 1302:2002-02					
√ Rz25 (√)					
all linear dimensions in / všechny lineární rozměry v					mm
size acc. to / rozměry dle					
ISO 14405-1:2010-12					
principle of independency / princip nezávislosti					(LP)

Eloxed

T. details/T. detaily									
Similar/Podob.					1st applicat./1. použití				
Orderno. Constr./Konstr. obj. č.			Classification/Klasifikace			Customerno./Č. zákazníka			
MNR									
00									
20150327		Mastera		515		DS/ETC31-Jh			
Ind.	Change/Změna	YYYYMMDD	Drawn/Kres.	Checked/Ověř.	Releas./Vydal.	BWN	Resp. dept./Odpovědné odd.	Add. info/Poznámky	
Treatment							Missed details/Chybějící detaily		Size/Objem
Zpracování									--
Material 3.3206 AlMgSi05							From/Z		
Lang./Řeč		Wght./Hmotnost		Front plate		Sheet/List			
EN/CS		0,078 kg		Predni deska		1 / 1			
ISO E		Crit. P.		Scale/Měřítko		Doc. type			
				1:1		DRW		CR_AB201-3	
MNR		Mat. needs/pož.		Syst.		Repl. for :		Repl. by :	
				INV					

© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. Všechna práva vyhrazena, včetně jakéhokoli použití, užívání, reprodukce, úprav a šíření i v případech aplikací průmyslových vlastnických práv.

© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



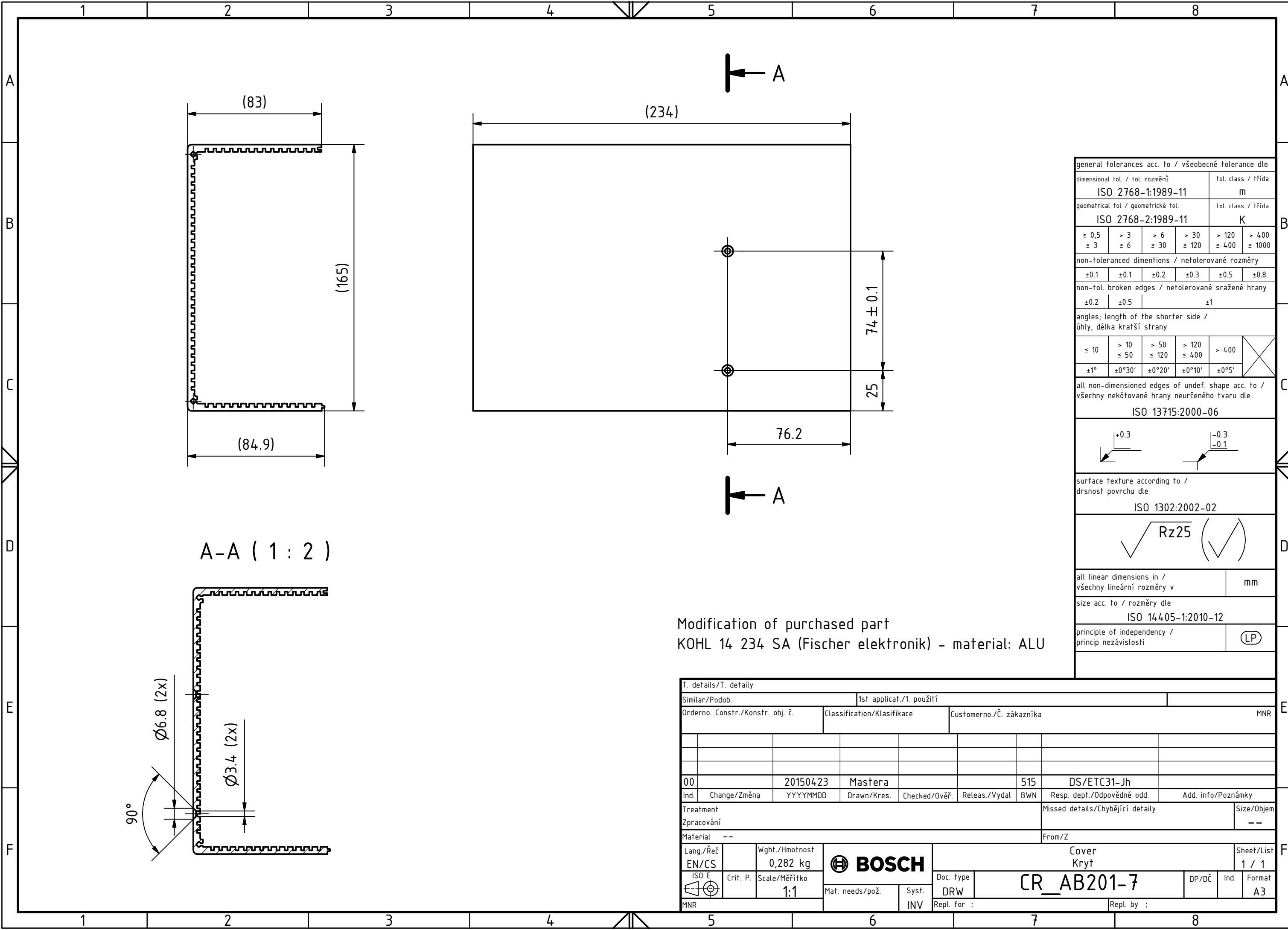
general tolerances acc. to / všeobecné tolerance dle					
dimensional tol. / tol. rozměrů			tol. class / třída		
ISO 2768-1:1989-11			m		
geometrical tol. / geometrické tol.			tol. class / třída		
ISO 2768-2:1989-11			K		
≥ 0,5	> 3	> 6	> 30	> 120	> 400
≤ 3	≤ 6	≤ 30	≤ 120	≤ 400	≤ 1000
non-toleranced dimensions / netolerované rozměry					
±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8
non-tol. broken edges / netolerované sražené hrany					
±0.2	±0.5	±1			
angles; length of the shorter side / úhly, délka kratší strany					
≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400	
±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'	
all non-dimensioned edges of undef. shape acc. to / všechny nekótované hrany neurčeného tvaru dle					
ISO 13715:2000-06					
surface texture according to / drsnot povrchu dle					
ISO 1302:2002-02					
all linear dimensions in / všechny lineární rozměry v					
mm					
size acc. to / rozměry dle					
ISO 14405-1:2010-12					
principle of independency / princip nezávislosti					(LP)

Eloxed

T. details/T. detaily										
Similar/Podob.					1st applicat./1. použití					
Orderno. Constr./Konstr. obj. č.			Classification/Klasifikace			Customerno./Č. zákazníka				
						MNR				
00										
20150423		Mastera		515		DS/ETC31-Jh				
Ind.	Change/Změna	YYYYMMDD	Drawn/Kres.	Checked/Ověř.	Releas./Vydal	BWN	Resp. dept./Odpovědné odd.	Add. info/Poznámky		
Treatment							Missed details/Chybějící detaily		Size/Objem	
Zpracování									--	
Material 3.3206 AlMgSi05							From/Z			
Lang./Řeč		Wght./Hmotnost						Bottom cover		Sheet/List
EN/CS		0.091 kg						Zadni kryt		
ISO E		Scale/Měřítko		Mat. needs/pož.		Syst.		Doc. type		
		1:1				INV		DRW		
MNR							Repl. for :		Repl. by :	
							CR_AB201-4		DP/DČ Ind. Format	
									A3	

© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. Všechna práva vyhrazena, včetně jakéhokoli použití, užívání, reprodukce, úprav a šíření i v případech aplikací průmyslových vlastnických práv.

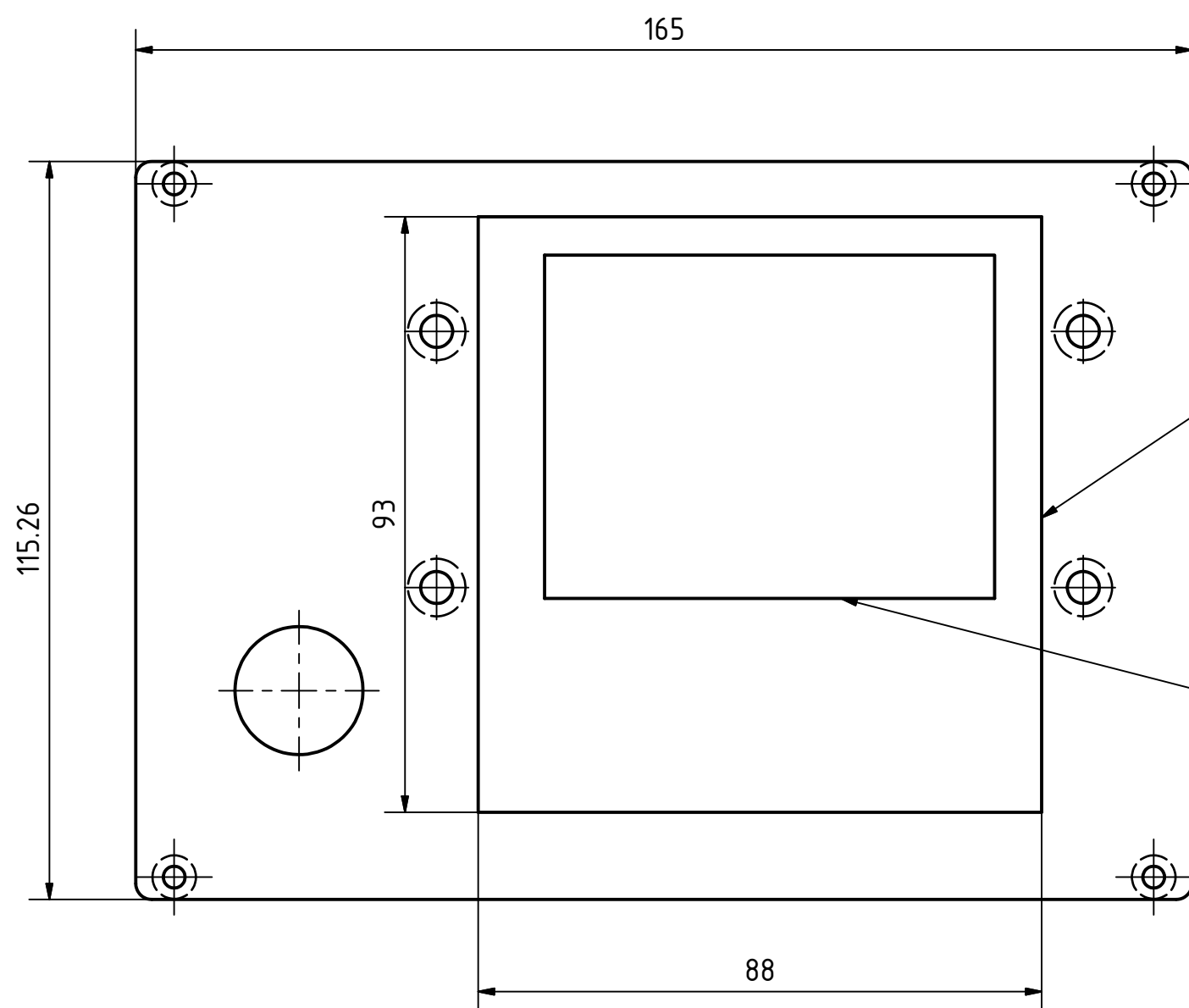
© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



general tolerances acc. to / všeobecné tolerance dle					
dimensional tol. / tol. rozměrů			tol. class / třída		
ISO 2768-1:1989-11			m		
geometrical tol. / geometrické tol.			tol. class / třída		
ISO 2768-2:1989-11			K		
≥ 0,5	> 3	> 6	> 30	> 120	> 400
≤ 3	≤ 6	≤ 30	≤ 120	≤ 400	≤ 1000
non-toleranced dimintions / netolerované rozměry					
±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8
non-tol. broken edges / netolerované sražené hrany					
±0.2	±0.5	±1			
angles; length of the shorter side / úhly, délka kratší strany					
≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400	
±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'	
all non-dimensioned edges of undef. shape acc. to / všechny nekótované hrany neurčeného tvaru dle					
ISO 13715:2000-06					
+0.3		-0.3 -0.1			
surface texture according to / drsnost povrchu dle					
ISO 1302:2002-02					
√ Rz25 (√)					
all linear dimensions in / všechny lineární rozměry v					mm
size acc. to / rozměry dle					
ISO 14405-1:2010-12					
principle of independency / princip nezávislosti					(LP)

Modification of purchased part  
KOHL 14 234 SA (Fischer elektronik) - material: ALU

T. details/T. detaily										
Similar/Podob.					1st applicat./1. použití					
Orderno. Constr./Konstr. obj. č.			Classification/Klasifikace			Customerno./Č. zákazníka				
						MNR				
00			20150423			Mastera		515		DS/ETC31-Jh
Ind.	Change/Změna	YYYYMMDD	Drawn/Kres.	Checked/Ověř.	Releas./Vydal	BWN	Resp. dept./Odpovědné odd.	Add. info/Poznámky		
Treatment							Missed details/Chybějící detaily		Size/Objem	
Zpracování									--	
Material --							From/Z			
Lang./Řeč		Wght./Hmotnost				Cover		Sheet/List		
EN/CS		0,282 kg				Kryt		1 / 1		
ISO E		Scale/Měřítko		Mat. needs/pož.		Syst.		Doc. type		
		1:1				INV		DRW		
MNR						Repl. for :		Repl. by :		
						CR_AB201-7		DP/DČ Ind. Format		
								A3		



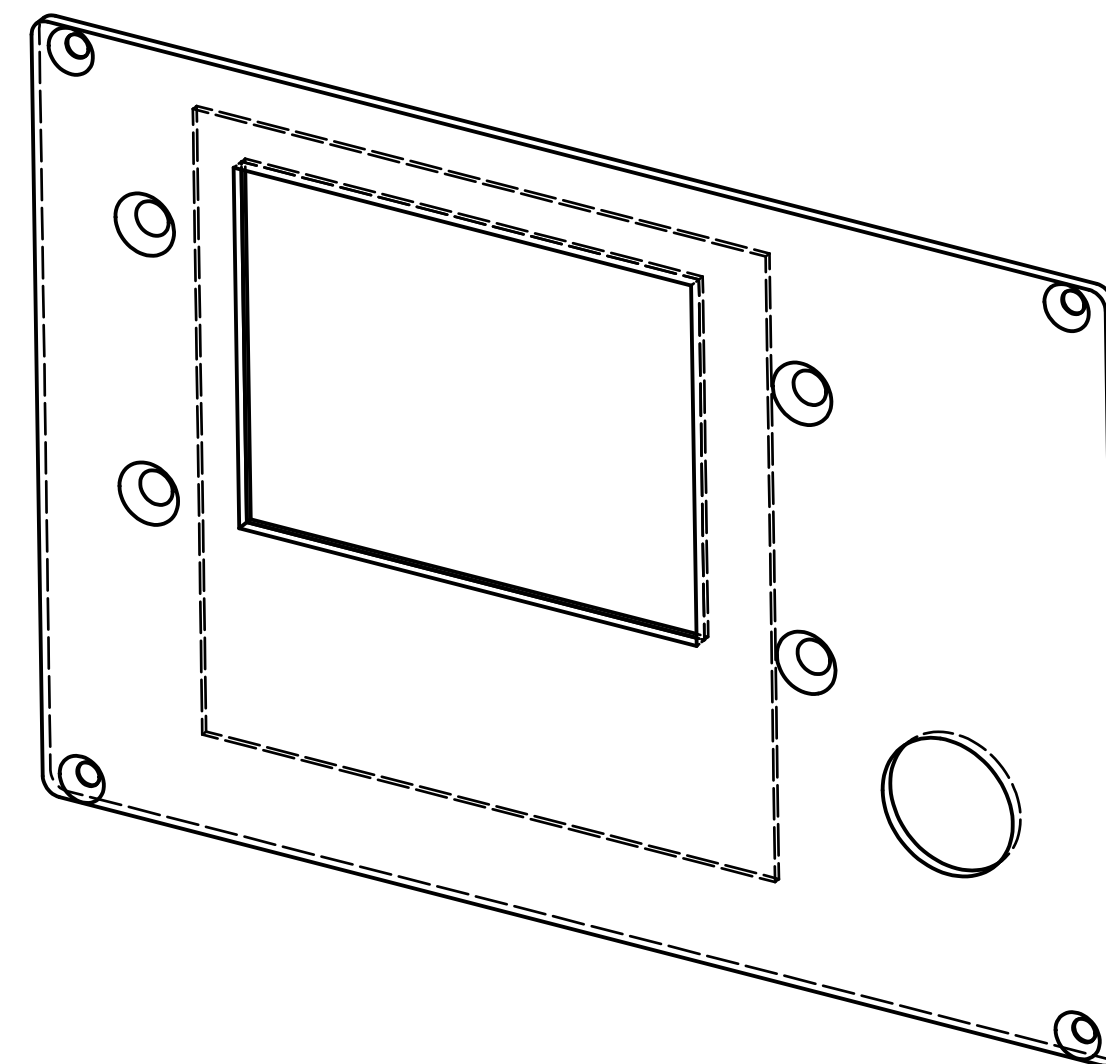
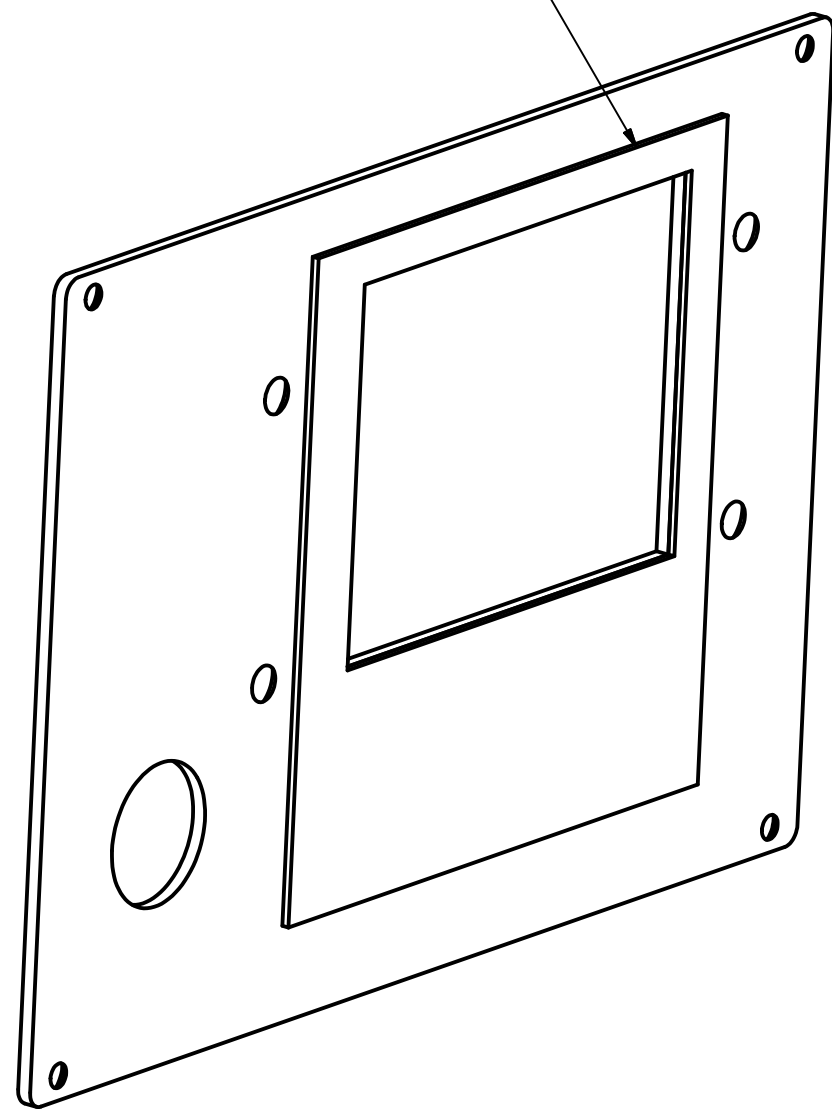
CR\_AB201-2

CR\_AB201-3

Hrany vnitřních otvorů obou dílců  
lícují vůči sobě



Slepeno k sobě  
(samolepící vrstva na dílci CR\_AB201-2)



© BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. Všechna práva vyhrazena, včetně jakéhokoli použití, užití, šíření, reprodukce, úprav a šíření i v případech aplikací průmyslových vlastnických práv.  
 © BOSCH DIESEL s.r.o. 2011. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

## Fotky zařízení a obrazovky

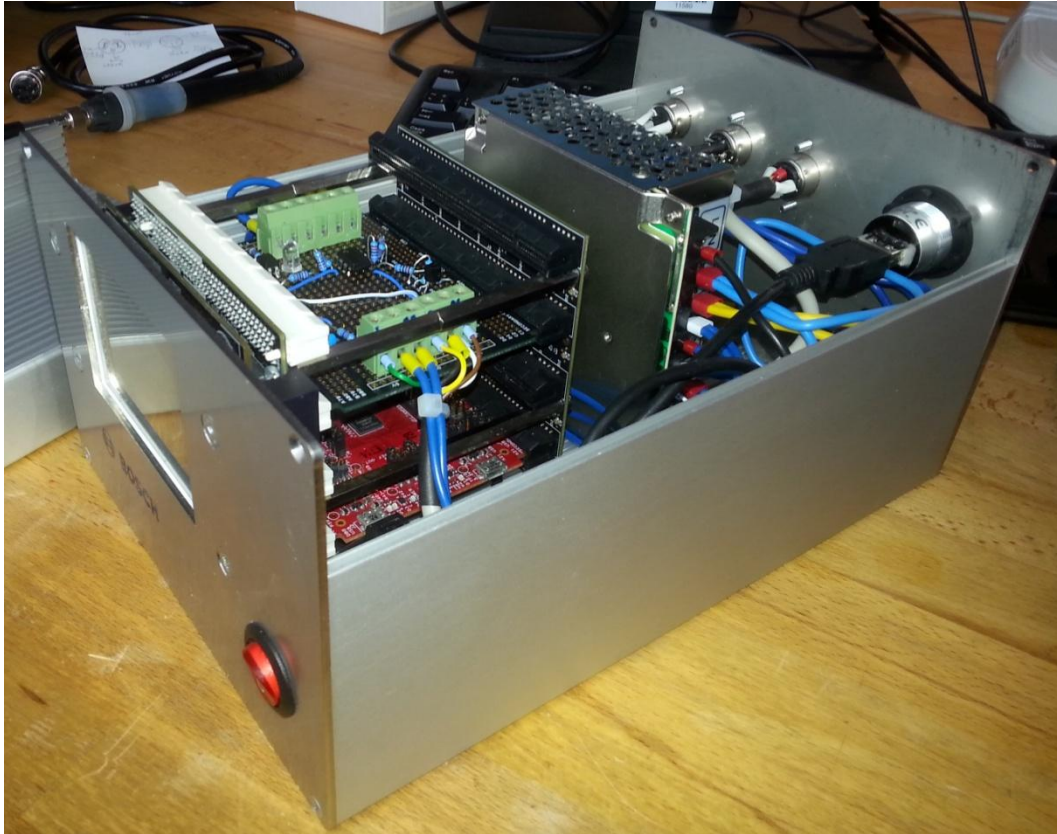


Obrázek 1: Přední panel zařízení



Obrázek 2: Zadní panel zařízení





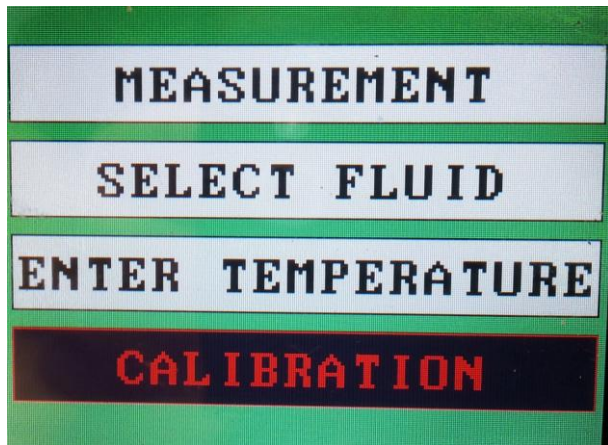
Obrázek 3: Pohled z boku do otevřeného zařízení



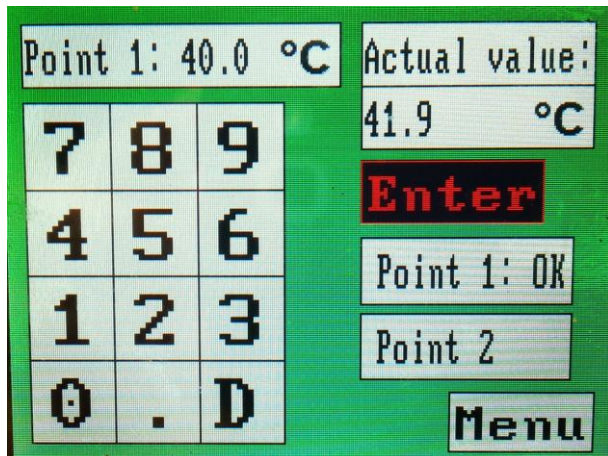
Obrázek 4: Pohled shora do otevřeného zařízení



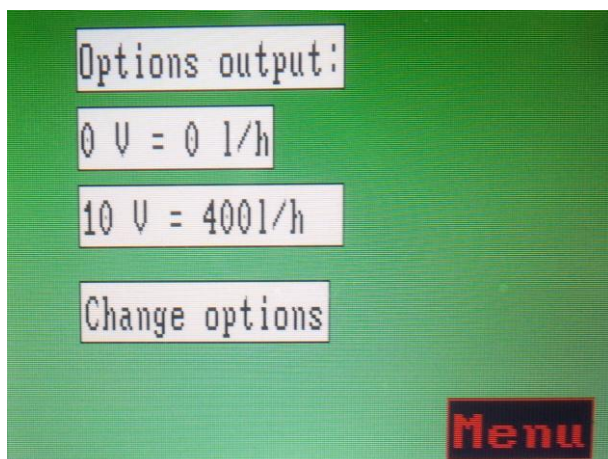
Obrázek 5: Hlavní menu



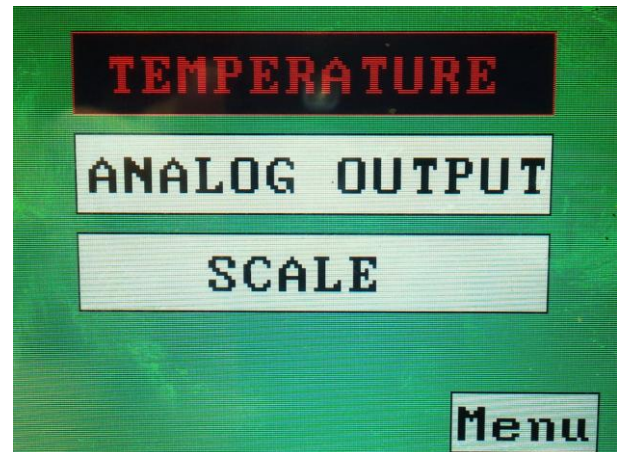
Obrázek 7: Kalibrace teploty



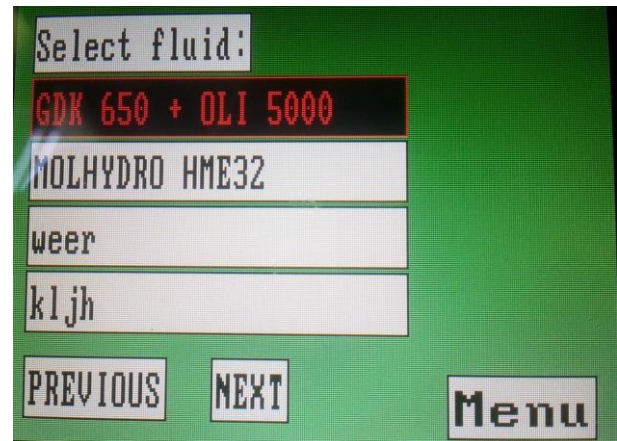
Obrázek 9: Nastavení analogového výstupu 1



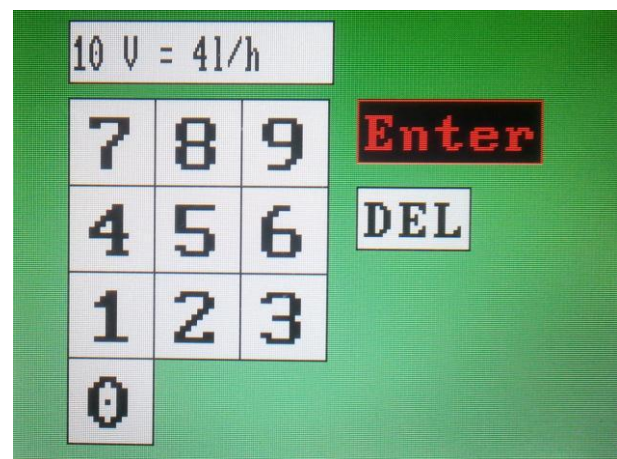
Obrázek 6: Menu kalibrací



Obrázek 8: Výběr kapaliny

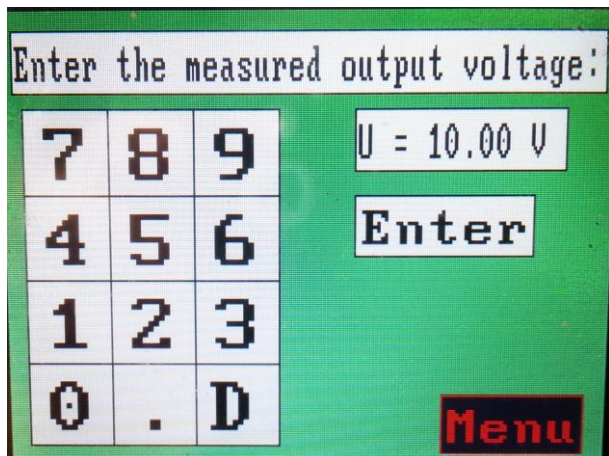


Obrázek 10: Nastavení analogového výstupu 2





Obrázek 11: Kalibrace analogového výstupu



Obrázek 12: Nastavení teploty při odpojení teplotního senzoru

