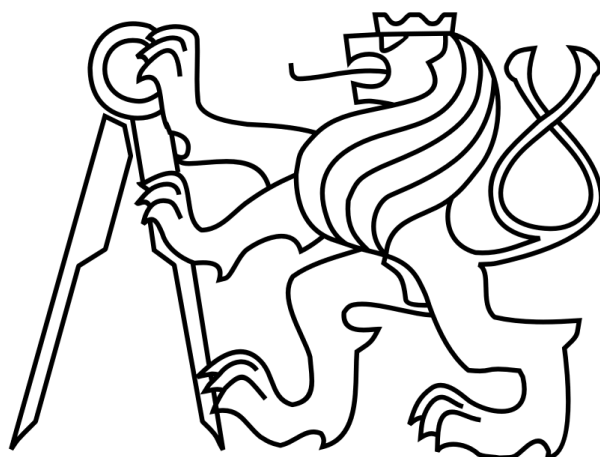


České vysoké učení technické v Praze
fakulta elektrotechnická
katedra mikroelektroniky



Diplomová práce

Domácí pasterizační jednotka NG

Autor: Bc. Stanislav Kubín

Vedoucí práce: Ing. Lubor Jirásek, CSc.

2015

České vysoké učení technické v Praze

fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Stanislav Kubín
Studijní program: Komunikace, multimedia a elektronika (magisterský), kombinovaný
Obor: Elektronika
Název tématu: Domácí pasterizační jednotka NG

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu týkající se problematiky pasterizace mléka.
2. Na základě bodu 1 navrhnete a realizujete zařízení vhodné pro domácí pasterizaci mléka a využijte poznatky dosažené v bakalářské práci.
3. Navrhnete postup vhodný pro ověření funkce přístroje.
4. Provedte ověřovací měření na zařízení a zhotovte vzorový protokol o měření.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a porovnejte s výsledky dosaženými v rámci bakalářské práce.
6. Zařízení zůstane v majetku zadávajícího pracoviště.
7. Publikování výsledků dosažených v této práci je možné pouze se svolením zadavatele.

Seznam odborné literatury:

- [1] "Food and Drug Administration", <http://www.fda.gov/>
[2] "Sbírka zákonů, Česká Republika, rozeslaná dne 14. Července 2003"
[3] http://hydraulik.empass.biz/index.html#druckverlustkv_en
[4] Katalogové listy a aplikační poznámky součástek
[5] Kubín, S.: Bakalářská práce, ČVUT FEL, Praha 2013

Vedoucí: Ing. Lubor Jirásek, CSc.
Platnost zadání: do konce zimního semestru 2015/2016

L. S.

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci „Domácí pasterizační jednotka NG“ zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne

Bc. Stanislav Kubín

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Luboru Jiráskovi, CSc. za jeho rady a čas, který mi věnoval při konzultacích a odborném vedení při vytváření této diplomové práce. Mé díky patří také Ing. Janu Hovorkovi za oponenturu hardwarové části a Ing. Stanislavu Linhartovi za oponenturu mechanické části zařízení a Ing. Tomáši Vítkovi za výrobu některých mechanických dílů.

Anotace

Cíl diplomové práce je na základě zkušeností a závěrů uvedených v práci „Domácí pasterizační jednotka“ (1) vybrat vhodný způsob pro pasterizaci mléka metodou HTST (high temperature short time), udělat teoretický návrh mechanické, elektronické i programové části a zařízení pro pasterizaci mléka v domácích podmínkách následně sestavit a otestovat.

Abstract

Based on the experiences and conclusions presented in the thesis “Home Pasteurizer” (1), the aim of this thesis is to choose the best way for milk pasteurization by HTST (high temperature short time) method, devise mechanical, electrical and software parts and construct a unit intended for a home milk pasteurization.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK.....	12
1 ÚVOD.....	13
2 KONCEPT.....	14
2.1 ZVOLENÝ PRINCIP PASTERIZACE MLÉKA	14
2.2 MECHANICKÁ ČÁST	15
2.2.1 <i>Propojení komponent</i>	17
2.3 ELEKTRONICKÁ ČÁST	19
2.4 PROGRAMOVÁ ČÁST	20
3 MECHANICKÁ ČÁST	21
3.1 „STUDENÝ“ TEPELNÝ VÝMĚNÍK	21
3.2 „TEPLÝ“ TEPELNÝ VÝMĚNÍK	24
3.3 VSTUPNÍ DÁVKOVAČ	25
3.4 OSTATNÍ MECHANICKÉ KOMPONENTY	26
3.5 KONSTRUKCE	27
4 ELEKTRONICKÁ ČÁST	30
4.1 NAPÁJECÍ ČÁST	30
4.2 ČÁST S MIKROKONTROLÉREM	33
4.3 ANALOGOVÁ ČÁST	35
4.4 DIGITÁLNÍ ČÁST	39
4.5 DPS.....	43
5 PROGRAMOVÁ ČÁST	45
5.1 REGULACE	45
5.1.1 <i>Regulace teploty „studeného“ tepelného výměníku</i>	45
5.1.2 <i>Regulace teploty „teplého“ tepelného výměníku</i>	46
5.1.3 <i>Tlaková regulace</i>	47
5.1.4 <i>Napěťová ochrana E/P ventilů</i>	47
5.1.5 <i>Orientační výpočet příkonů</i>	48
5.1.6 <i>Předpoklady správné funkce systému</i>	50
5.2 ŘÍDICÍ JEDNOTKA (PIC24FJ128GA010)	51
5.3 DISPLEJ (PICASO).....	55
6 EKONOMICKÝ POHLED.....	60
6.1 CENA KOMPONENT	60

6.2	MOŽNÍ DODAVATELÉ KOMPONENT	62
7	ZÁVĚR	63
8	POUŽITÁ LITERATURA	66
9	PŘÍLOHY	68
9.1	SEZNAM SOUČÁSTEK	68
9.2	SCHÉMA NAPÁJECÍ ČÁSTI.....	70
9.3	SCHÉMA ČÁSTI S MIKROKONTROLÉREM	71
9.4	SCHÉMA ANALOGOVÉ ČÁSTI.....	72
9.5	SCHÉMA DIGITÁLNÍ ČÁSTI	73
9.6	ŘÍDICÍ DPS.....	74
9.7	DPS PRO TEPLOTNÍ ČIDLO PT100.....	75
9.8	DPS PRO TLAKOVÝ SENZOR XFPM-001MPGR	75
9.9	VÝKRES „STUDENÉHO“ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU	76
9.10	VÝKRES „TEPLÉHO“ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU.....	78
9.11	VÝKRES VSTUPNÍHO DÁVKOVAČE.....	80
9.12	VÝKRES ÚCHYTU VSTUPNÍHO A VÝSTUPNÍHO REZERVOÁRU ...	81
9.13	VÝKRES ÚCHYTU ŘÍDICÍ DPS.....	82
9.14	VÝKRES ÚCHYTU ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU	83
9.15	VÝKRES PRAVÉHO NOSNÍKU VSTUPNÍHO REZERVOÁRU ...	84
9.16	VÝKRES LEVÉHO NOSNÍKU VSTUPNÍHO REZERVOÁRU ...	85
9.17	VÝKRES PRAVÉHO NOSNÍKU TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ	86
9.18	VÝKRES LEVÉHO NOSNÍKU TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ	87
9.19	VÝKRES NOSNÍKU VÝSTUPNÍHO REZERVOÁRU ...	88
9.20	VÝKRES NOSNÉ DESKY.....	89

Seznam použitých zkratek a symbolů

3D	3-Dimension (tři dimenze prostoru)
A/D	A nalog to D igital (převod analogového signálu na digitální)
CPU	C entral P rocessing U nit (centrální procesorová jednotka)
DPS	D eska P lošných S pojů
EEPROM	E lectrically E rasable P rogrammable R ead- O nly M emory (elektricky mazatelná programovatelná paměť)
E/P	E lektro- P neumatický
EM	E lektro M agnetický
FIFO	F irst I n F irst O ut (typ bufferu, systém první dovnitř, první ven)
GPU	G raphic P rocessing U nit (grafický procesor)
GUI	G raphical U ser I nterface (grafické uživatelské rozhraní)
HTST	H igh T emperature S hort T ime (vysoká teplota, krátká doba)
HW	H ard W are (veškeré fyzické prvky elektronického zařízení)
I ² C	I nter- I ntegrated C ircuit (hrubý překlad – vzájemně integrovaný obvod)
IO	I nput O utput (vstup a výstup)
LED	L ight- E mitting D iode (dioda vyzařující světlo)
MCU	M icro C ontroller U nit (mikrokontrolér)
MOSFET	M etal O xide S emiconductor F ield E ffect T ransistor (polem řízený tranzistor, struktura kov-oxid-polovodič)
OE	O utput E nable (hrubý překlad – otevřený výstup)
PI	P roportional I ntegral (typ regulátoru, PI označuje jeho složky)
PLL	P hase L ocked L oop (systém využívaný pro násobení frekvence)
PWM	P ulse- W idth M odulation (pulsně-široková modulace)
RC	R esistor C apacitor (sériová nebo paralelní kombinace rezistoru a kondenzátoru)
SMD	S urface M ount S ervice (součástka určená pro povrchovou montáž)
TP	T ouch P anel (dotykový panel)
UART	U niversal A synchronous R eceiver and T ransmitter (universální asynchronní přijímač a vysílač)
WDT	W atch- D og T imer (kontrolní časovač, resp. „hlídací pes“)

C	F	kapacita
C_t	$\frac{J}{K}$	tepelná kapacita
d, D	m	průměr
f	Hz	frekvence
I	A	proud
l	m	délka
L	H	indukčnost
p	bar ¹	tlak
P	W	výkon
Q	J	tepelná energie
Q_v	$\frac{m^3}{s}$	objemový průtok
r	m	poloměr
R	Ω	odpor
t	s	čas
dt	s	změna času
T	°C	teplota
U	V	napětí
V	m^3	objem
dV	m^3	změna objemu
η	-	účinnost

b bit

B byte (8 bit)

kb kilobit (10^3 b)

Kb kilobit (2^{10} b)

kB kilobyte (10^3 B)

KB kilobyte (2^{10} B)

¹ Správně by měla být uváděna jednotka tlaku 1 Pascal (Pa), 1 bar = 100 kPa. Tlaková jednotka 1 bar byla zvolena z důvodu, že v těchto jednotkách zobrazují tlak elektro-pneumatické ventily a z důvodu přehlednosti není vhodné jednu veličinu popisovat více jednotkami.

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - DOMÁCÍ PASTERIZAČNÍ JEDNOTKA NG - SESTAVENÁ.....	14
OBRÁZEK 2 - MECHANICKÝ NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ KOMPONENT (3D POHLED)	16
OBRÁZEK 3 - MECHANICKÝ NÁVRH ROZMÍSTĚNÍ KOMPONENT (POHLED SHORA)	16
OBRÁZEK 4 – PROPOJENÍ MECHANICKÝCH KOMPONENT	18
OBRÁZEK 5 - KONCEPT - ELEKTRONIKA.....	19
OBRÁZEK 6 - PROPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU S HW	20
OBRÁZEK 7 - ZKOMPLETOVANÁ MECHANICKÁ ČÁST ZAŘÍZENÍ	21
OBRÁZEK 8 - POHLED NA DÍL "STUDENÉHO" TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU.....	22
OBRÁZEK 9 - ŘEŽ "STUDENÝM" TEPELNÝM VÝMĚNÍKEM.....	22
OBRÁZEK 10 - CELKOVÝ POHLED NA "STUDENÝ" TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	23
OBRÁZEK 11 - TĚSNĚNÍ "STUDENÉHO" TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU	24
OBRÁZEK 12 - CELKOVÝ POHLED NA "TEPLÝ" TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	25
OBRÁZEK 13 - POHLED NA DÍLY VSTUPNÍHO DÁVKOVAČE.....	26
OBRÁZEK 14 - DÍL FIRMY WILTEC WILDANGER TECHNIK GMBH (9).....	27
OBRÁZEK 15 - ÚCHYT VSTUPNÍHO A VÝSTUPNÍHO REZERVOÁRU A VZDUŠNÍKU (3X).....	28
OBRÁZEK 16 - ÚCHYT ŘÍDICÍ DPS (1X).....	28
OBRÁZEK 17 - ÚCHYT ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU (4X).....	28
OBRÁZEK 18 - PRAVÝ NOSNÍK VSTUPNÍHO REZERVOÁRU (1X).....	28
OBRÁZEK 19 - LEVÝ NOSNÍK VSTUPNÍHO REZERVOÁRU (1X).....	28
OBRÁZEK 20 - PRAVÝ NOSNÍK TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ (1X)	28
OBRÁZEK 21 - LEVÝ NOSNÍK TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ (1X)	29
OBRÁZEK 22 - PRAVÝ/LEVÝ NOSNÍK VÝSTUPNÍHO REZERVOÁRU (2X).....	29
OBRÁZEK 23 - NOSNÁ DESKA (1X).....	29
OBRÁZEK 24 - VRCHNÍ STRANA DPS S DISPLEJEM OD FIRMY 4D SYSTEMS.....	30
OBRÁZEK 25 - VRCHNÍ STRANA DPS	30
OBRÁZEK 26 - SPODNÍ STRANA DPS.....	30
OBRÁZEK 27 – ZAPOJENÍ VSTUPNÍHO SPÍNANÉHO STABILIZÁTORU.....	31
OBRÁZEK 28 - ZAPOJENÍ SPÍNANÉHO STABILIZÁTORU	32
OBRÁZEK 29 – ZAPOJENÍ NAPĚŤOVÉ REFERENCE	32
OBRÁZEK 30 - ZAPOJENÍ PRO KONTROLU NAPÁJECÍCH NAPĚTÍ.....	33
OBRÁZEK 31 - ZAPOJENÍ OCHRAN VSTUPŮ MIKROKONTROLÉRU	34
OBRÁZEK 32 - ZAPOJENÍ EXTERNÍ I ² C PAMĚTI EEPROM.....	34
OBRÁZEK 33 - ZAPOJENÍ VYHODNOCOVACÍHO OBVODU ČIDLA PT100.....	35
OBRÁZEK 34 - SENZOR TLAKU - ZÁVISLOST VÝSTUPU NA TLAKU (15)	36
OBRÁZEK 35 – ZAPOJENÍ VYHODNOCOVACÍHO OBVODU TLAKOVÉHO SENZORU	37
OBRÁZEK 36 - ZAPOJENÍ VYHODNOCOVACÍHO OBVODU VÝSTUPU E/P VENTILU	37
OBRÁZEK 37 - ZAPOJENÍ OBVODU PRO GENEROVÁNÍ ANALOGOVÉHO NAPĚTÍ.....	38
OBRÁZEK 38 - E/P VENTIL - ZÁVISLOST TLAKU NA VSTUPU (2).....	38
OBRÁZEK 39 - DETAIL ÚPRAVY NAPÁJECÍHO ZDROJE	39

OBRÁZEK 40 - ZAPOJENÍ SPÍNAČŮ EM VENTILŮ A VENTILÁTORŮ.....	40
OBRÁZEK 41 - ZAPOJENÍ VÝKONOVÝCH SPÍNAČŮ	41
OBRÁZEK 42 - ZAPOJENÍ VSTUPNÍHO OBVODU PRŮTOKOMĚRU	42
OBRÁZEK 43 - ZAPOJENÍ PRO PŘIPOJENÍ DISPLEJE	43
OBRÁZEK 44 - NÁVRH ŘÍDICÍ DPS.....	44
OBRÁZEK 45 – NÁVRH DPS PRO TEPLOTNÍ ČIDLO PT100.....	44
OBRÁZEK 46 – NÁVRH DPS PRO TLAKOVÝ SENZOR XFPM-001MPGR	44
OBRÁZEK 47 – BLOKOVÉ SCHÉMA REGULACE PELTIEROVÝCH ČLÁNKŮ	45
OBRÁZEK 48 – BLOKOVÉ SCHÉMA REGULACE CHLAZENÍ	46
OBRÁZEK 49 – BLOKOVÉ SCHÉMA REGULACE OHŘEVU	47
OBRÁZEK 50 – BLOKOVÉ SCHÉMA NAPĚŤOVÉ OCHRANY E/P VENTILŮ.....	48
OBRÁZEK 51 – ZNÁZORNĚNÍ NAPĚŤOVÝCH INTERVALŮ OCHRANY E/P VENTILŮ.....	48
OBRÁZEK 52 - BLOKOVÉ SCHÉMA BĚHU PROGRAMU	52
OBRÁZEK 53 - BLOKOVÉ SCHÉMA PROGRAMOVÝCH MODULŮ.....	55
OBRÁZEK 54 – ROZLOŽENÍ UŽIVATELSKÉ OBRAZOVKY	56
OBRÁZEK 55 – ROZLOŽENÍ SERVISNÍ OBRAZOVKY	58
OBRÁZEK 56 – SCHÉMA – NAPÁJECÍ ČÁST	70
OBRÁZEK 57 – SCHÉMA – ČÁST S MIKROKONTROLÉREM	71
OBRÁZEK 58 – SCHÉMA – ANALOGOVÁ ČÁST	72
OBRÁZEK 59 – SCHÉMA – DIGITÁLNÍ ČÁST.....	73
OBRÁZEK 60 – ŘÍDICÍ DPS – OSAZOVACÍ PŘEDPIS	74
OBRÁZEK 61 – DPS PRO TEPLOTNÍ ČIDLO PT100 – OSAZOVACÍ PŘEDPIS	75
OBRÁZEK 62 – DPS PRO TLAKOVÝ SENZOR XFPM-001MPGR – OSAZOVACÍ PŘEDPIS.....	75
OBRÁZEK 63 – VÝKRES „STUDENÉHO“ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU – MEANDR.....	76
OBRÁZEK 64 – VÝKRES „STUDENÉHO“ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU – PROTIKUS	77
OBRÁZEK 65 – VÝKRES „TEPLÉHO“ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU – MEANDR.....	78
OBRÁZEK 66 – VÝKRES „TEPLÉHO“ TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU – PROTIKUS.....	79
OBRÁZEK 67 – VÝKRES VSTUPNÍHO DÁVKOVAČE	80
OBRÁZEK 68 – VÝKRES VSTUPNÍHO DÁVKOVAČE - PROTIKUS	80
OBRÁZEK 69 – VÝKRES ÚCHYTU VSTUPNÍHO A VÝSTUPNÍHO REZERVOÁRU	81
OBRÁZEK 70 – VÝKRES ÚCHYTU ŘÍDICÍ DPS.....	82
OBRÁZEK 71 – VÝKRES ÚCHYTU ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU	83
OBRÁZEK 72 – VÝKRES PRAVÉHO NOSNÍKU VSTUPNÍHO REZERVOÁRU	84
OBRÁZEK 73 – VÝKRES LEVÉHO NOSNÍKU VSTUPNÍHO REZERVOÁRU	85
OBRÁZEK 74 – VÝKRES PRAVÉHO NOSNÍKU TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ	86
OBRÁZEK 75 – VÝKRES LEVÉHO NOSNÍKU TEPELNÝCH VÝMĚNÍKŮ	87
OBRÁZEK 76 – VÝKRES NOSNÍKU VÝSTUPNÍHO REZERVOÁRU	88
OBRÁZEK 77 – VÝKRES NOSNÉ DESKY	89

Seznam tabulek

TABULKA 1 – POŽADAVKY NA NAPÁJECÍ NAPĚTÍ A VÝKON.....	50
TABULKA 2 – STAVY SIGNALIZAČNÍCH PRVKŮ UŽIVATELSKÉ OBRAZOVKY	57
TABULKA 3 – VÝZNAM STAVŮ SIGNALIZAČNÍCH PRVKŮ UŽIVATELSKÉ OBRAZOVKY ...	58
TABULKA 4 – VÝZNAM JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ SERVISNÍ OBRAZOVKY.....	59
TABULKA 5 – PŘEHLED CEN JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT.....	60
TABULKA 6 – PŘEHLED MOŽNÝCH DODAVATELŮ KOMPONENT	62
TABULKA 7 – SHRUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	65
TABULKA 8 – SEZNAM SOUČÁSTEK.....	69

1 Úvod

Cílem práce „Domácí pasterizační jednotka“ (1) byla rešerše různých metod pro ničení mikroorganismů v syrovém mléce a návrh a realizace prototypu zařízení pro ověření použitelnosti zvolené metody v domácích podmínkách. Cíl této práce je navázat na závěry práce „Domácí pasterizační jednotka“ (1) a navrhnout a sestavit zařízení, které by teoreticky bylo možné vyrábět ve více než jednom či dvou testovacích kusech.

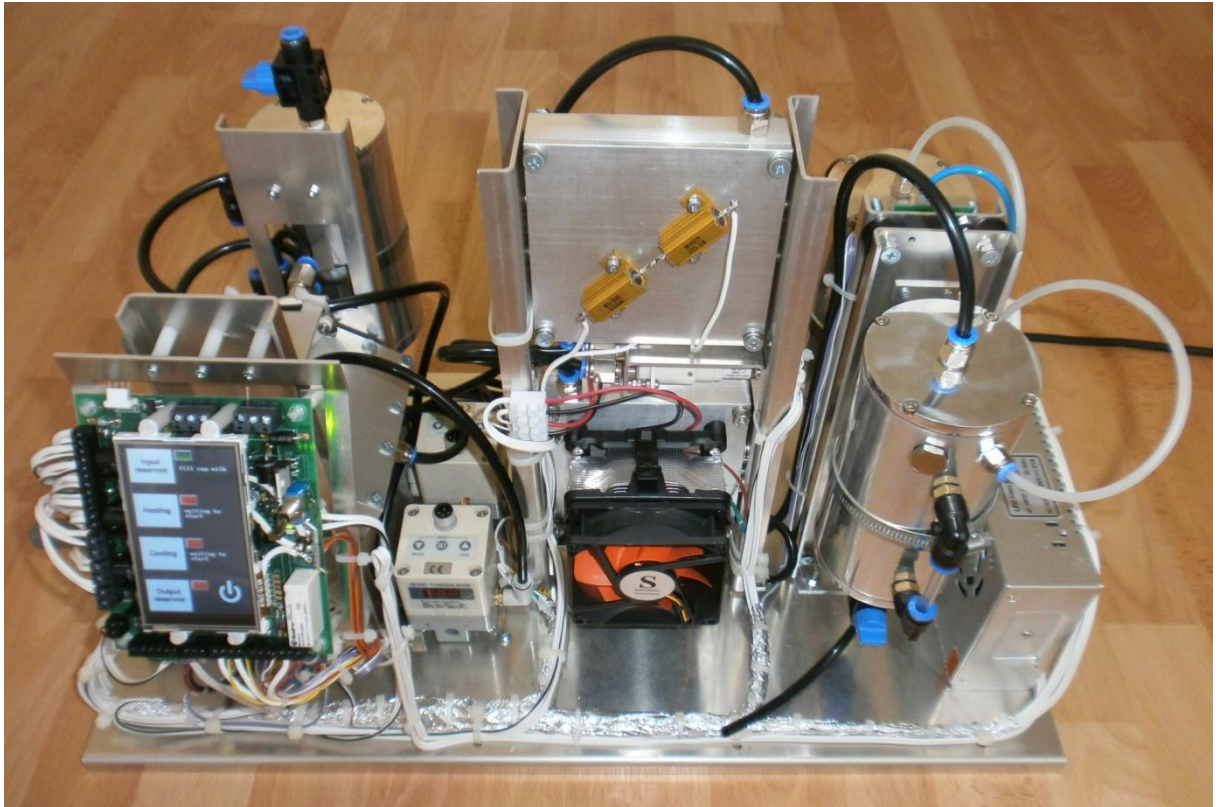
Důraz na opakovatelnost výroby a funkčnost je tedy základním požadavkem při návrhu mechanické, elektronické i programové části zařízení. Mimo vlastního návrhu a realizace je součástí práce také cenová analýza (ekonomický pohled), která shrnuje finanční náročnost výroby prototypu a uvádí předpokládanou cenu jednoho kusu v sériové výrobě i možné dodavatele komponent.

Následující body shrnují hlavní nedostatky původního návrhu a věci, které je potřeba, proti původnímu návrhu, vylepšit:

- použitý způsob pasterizace mléka metodou HTST,
- konstrukce tepelných výměníků,
- výkon tepelných výměníků,
- celkový mechanický koncept (kde je co umístěno apod.),
- propojení jednotlivých mechanických komponent,
- celková velikost a váha přístroje,
- výkonové spínací prvky,
- vyhodnocování signálů z teplotních čidel,
- napájecí zdroj.

V rámci této práce byly nově navrženy a následně také realizovány všechny původní části systému. Konkrétně se jedná o všechny mechanické díly, řídicí DPS a obslužný program.

2 Koncept



Obrázek 1 - Domácí pasterizační jednotka NG - sestavená

2.1 Zvolený princip pasterizace mléka

Na základě závěrů práce „Domácí pasterizační jednotka“ (1) byl zvolen následující způsob pasterizace mléka:

- metoda HTST,
- pasterizace po dávkách.

Dávkový způsob pasterizace mléka znamená, že pasterizace bude prováděna v dávkách a nikoliv v celém objemu najednou, ať už jednorázově (celý pasterizovaný objem nejprve ohřejeme a následně zchladíme), nebo kontinuálně (metoda popsaná a testovaná v práci „Domácí pasterizační jednotka“ (1)). Vybraný způsob je výhodný především z důvodu snadnějšího dodržení procesu pasterizace mléka metodou HTST a menších nároků na samotné zařízení (především na výkon části určené pro ohřev a chlazení pasterizované látky).

Po naplnění vstupního rezervoáru a spuštění procesu pasterizace bude systém automaticky provádět následující kroky:

1. odměření jedné dávky (k provedení pasterizace),
2. nastavení „teplého“ tepelného výměníku na požadovanou teplotu (uvedení výměníku do stavu vhodného pro pasterizaci mléka metodou HTST),
3. nastavení „studeného“ tepelného výměníku na požadovanou teplotu (uvedení výměníku do stavu vhodného pro pasterizaci mléka metodou HTST),
4. přesun dávky do „teplého“ tepelného výměníku,
5. ohřev syrového mléka (dávky) na teplotu definovanou metodou pasterizace mléka HTST a udržení této teploty po definovanou dobu,
6. přesun dávky do „studeného“ tepelného výměníku,
7. zchlazení mléka (dávky) pod teplotu, při které probíhá jeho pasterizace,
8. přesun dávky do výstupního rezervoáru.

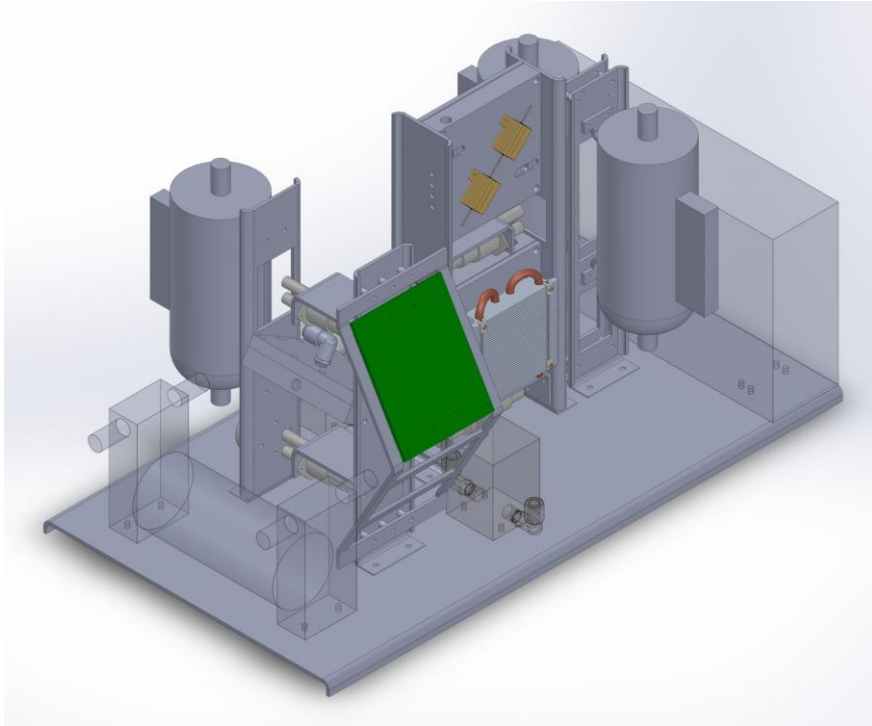
Kroky popsané výše se budou v uvedeném pořadí opakovat do doby, než bude pasterizováno všechno syrové mléko ze vstupního rezervoáru.

Přesun dávky v rámci jednotlivých komponent systému zajišťuje tlaková diference mezi komponentami a sada elektromagnetických (EM) ventilů. Tlakovou diferenci realizuje dvojice řízených elektro-pneumatických (E/P) ventilů (2). Řízení tlakové diference pracuje nezávisle na samotném procesu pasterizace.

2.2 *Mechanická část*

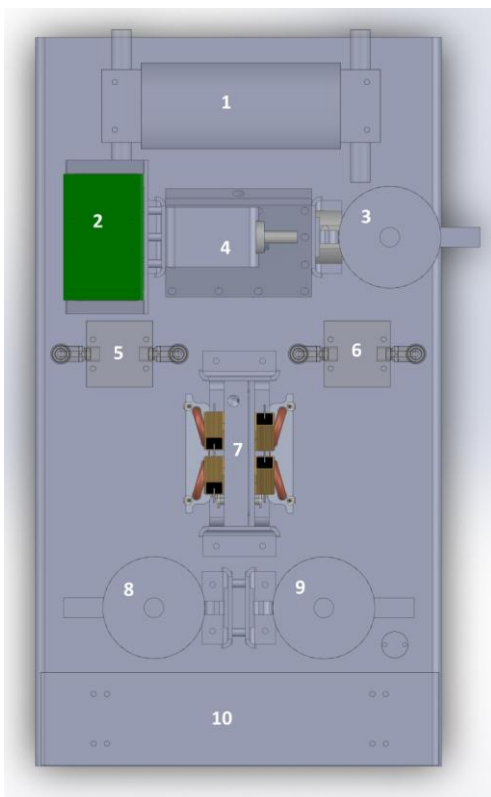
Jedním z nedostatků uvedených v práci „Domácí pasterizační jednotka“ (1) byla absence detailního celkového mechanického návrhu (existovala pouze představa), v důsledku které spočívalo propojení mechanických komponent systému a sestavení zařízení z velké části v improvizovaném řešení, což v důsledku nepříjemně ovlivnilo i jeho celou funkčnost.

Abychom se tomu nyní vyhnuli, byl detailní celkový mechanický návrh včetně způsobu propojení komponent systému dopředu promyšlen, navržen a simulován.



Obrázek 2 - mechanický návrh rozmístění komponent (3D pohled)

Pohled shora (viz Obrázek 3) definuje rozmístění komponent systému.



Obrázek 3 - mechanický návrh rozmístění komponent (pohled shora)

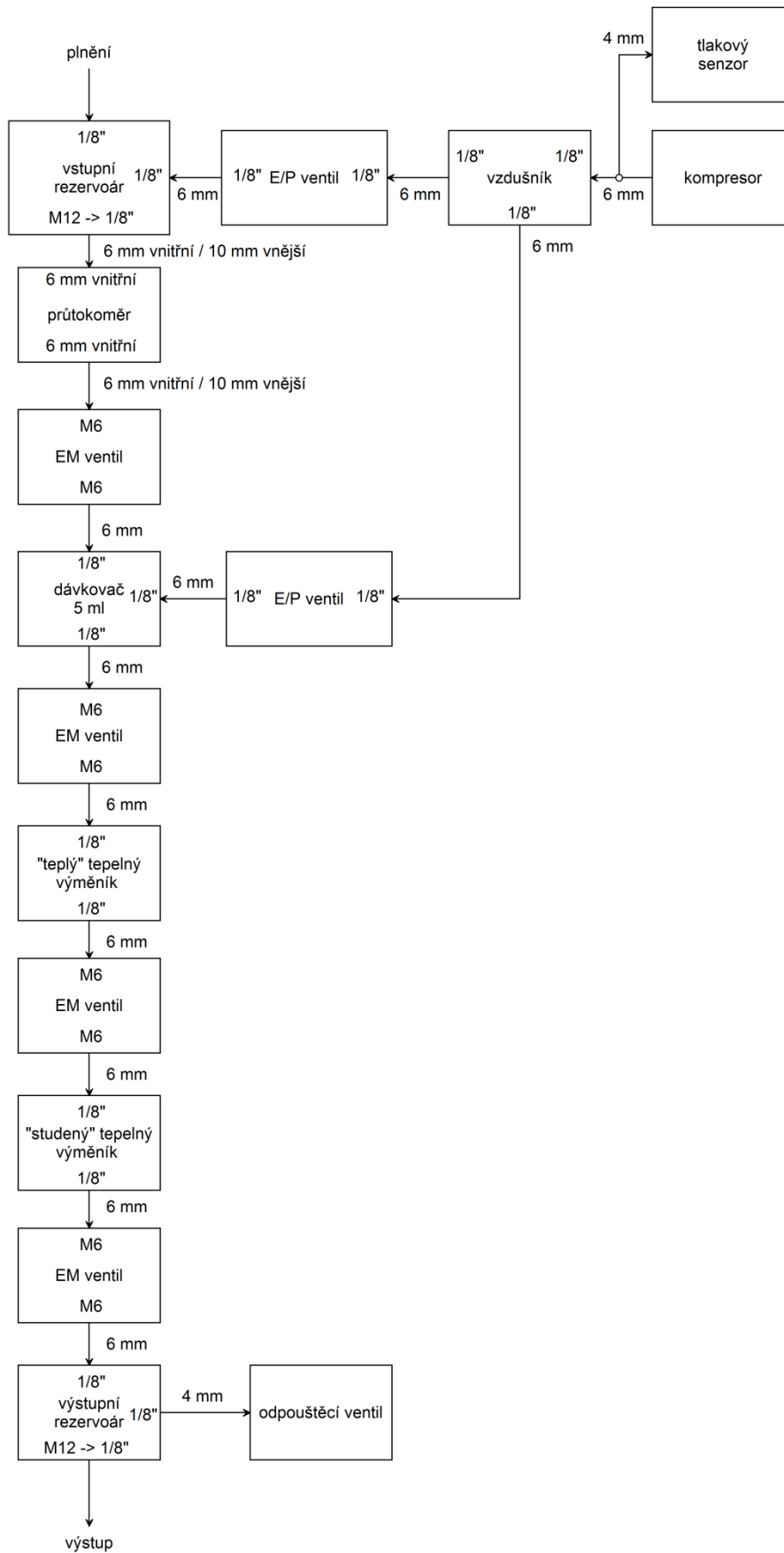
Popis komponent:

1. kompresor,
2. řídicí DPS (elektronika + GUI),
3. vstupní rezervoár, pod kterým se nalézá průtokoměr pro změření jedné pasterizované dávky,
4. vstupní blok, který obsahuje:
 - a. 2x EM ventil,
 - b. vstupní dávkovač,
5. E/P ventil,
6. E/P ventil,
7. blok pasterizace, který obsahuje:
 - a. 2x EM ventil,
 - b. „teplý“ tepelný výměník pro ohřev pasterizované látky,
 - c. „studený“ tepelný výměník pro zchlazení pasterizované látky,
8. výstupní rezervoár,
9. zásobník na stlačený vzduch (někdy označován jako vzdušník),
10. spínaný napájecí zdroj.

2.2.1 Propojení komponent

Propojení mechanických komponent systému není jednoduché. Obzvláště pak, chceme-li zajistit těsnost soustavy. Obrázek 4 ukazuje detailní návrh propojení mechanických komponent systému včetně předpokládaných otvorů pro mechanické konektory i tloušťky propojovacích hadiček.

Z návrhu je mimo jiné vidět i to, jakým způsobem budou kroky popsané v kapitole popisují princip pasterizace mléka, realizované.



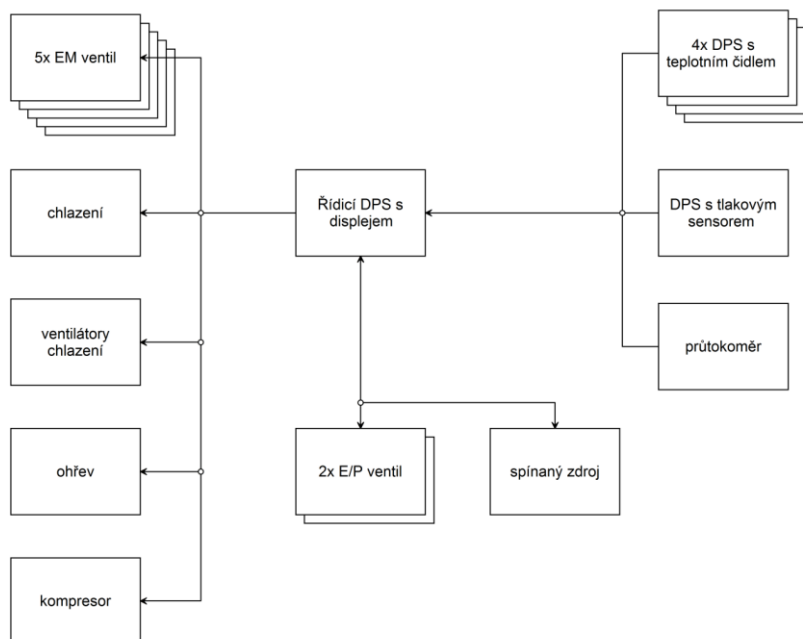
Obrázek 4 – propojení mechanických komponent

2.3 Elektronická část

Vazbu mezi elektronickými komponentami systému ukazuje Obrázek 5. Detailní popis komponent i jejich význam v rámci celého systému bude popsán dále. Ve středu návrhu se nalézá řídicí DPS s displejem, ke kterému jsou všechny ostatní elektronické komponenty připojeny.

Elektronické komponenty lze rozdělit do tří základních skupin:

- vstupní:
 - teplotní čidla,
 - tlakový senzor,
 - průtokoměr,
- vstupně/výstupní:
 - E/P ventily,
 - spínaný napájecí zdroj,
- výstupní:
 - EM ventily,
 - chlazení (Peltierovy články),
 - ventilátory chlazení,
 - ohřev (topné rezistory),
 - kompresor.

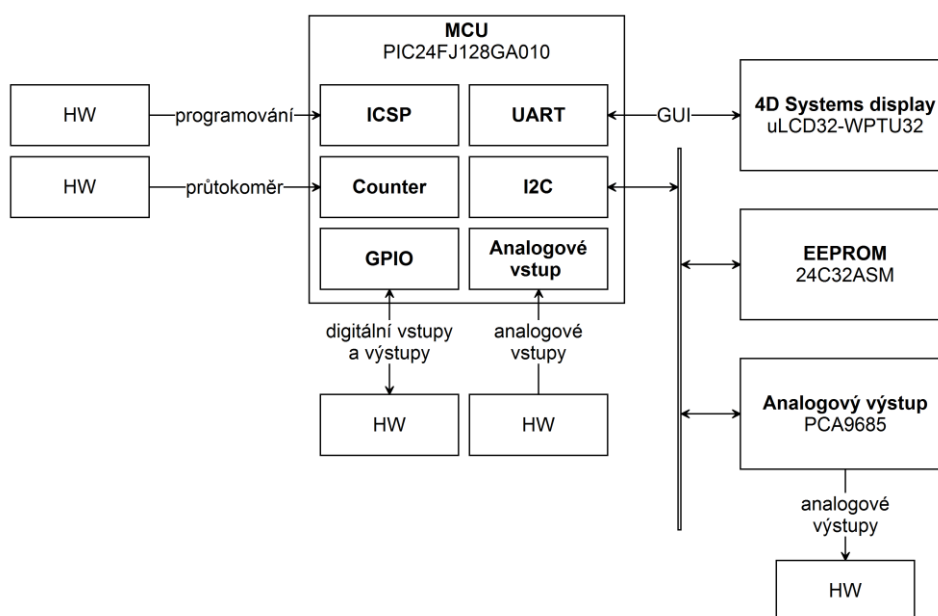


Obrázek 5 - koncept - elektronika

2.4 Programová část

Řízení celého zařízení má na starosti mikrokontrolér PIC12FJ128GA10 (3) od firmy Microchip, ke kterému jsou připojeny buď přímo na periférie mikrokontroléru, nebo přes periférie rozšiřující, vstupy a výstupy elektronických komponent systému. K připojení rozšiřujících periférií systému se využívá jedné linky I²C a jedné sériové linky UART. Linky I²C se využívá k připojení externí paměti EEPROM (4) a obvodu PCA9685 (5), který za pomoci dalších diskretních elektronických součástek generuje analogové napětí (analogový výstup) až na 16 kanálech. Sériová linka UART slouží k připojení displeje μ LCD-WPTU32 od firmy 4D Systems (6).

Obrázek 6 ukazuje propojení mikrokontroléru s HW.



Obrázek 6 - propojení mikrokontroléru s HW

3 Mechanická část

Kompletní podklady pro výrobu všech dílů lze nalézt v přílohách. Zkompletovaná mechanická část zařízení je vidět níže (Obrázek 7).

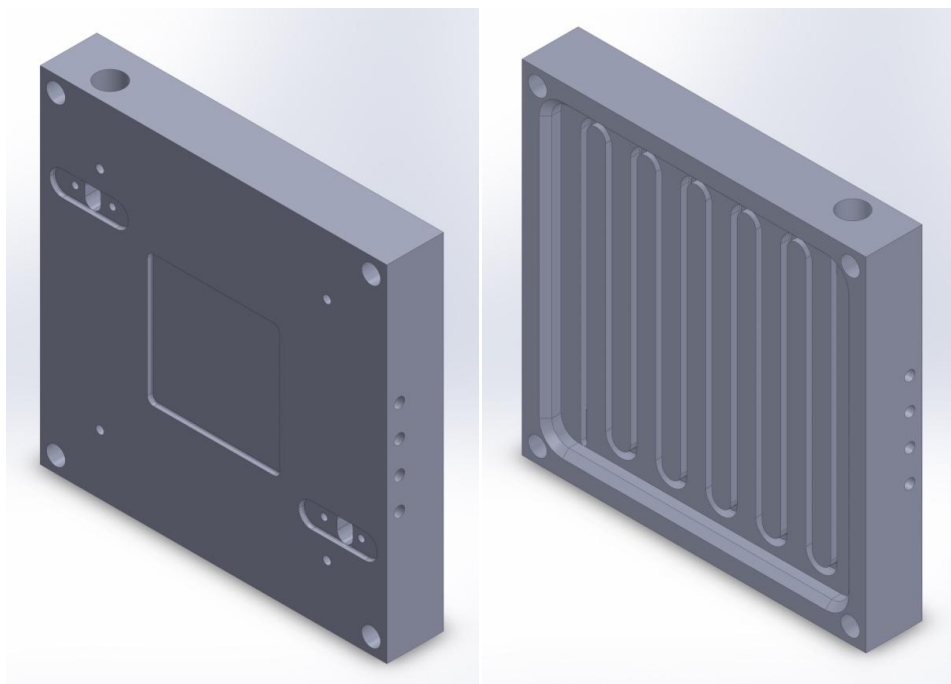


Obrázek 7 - zkompletovaná mechanická část zařízení

3.1 „Studený“ tepelný výměník

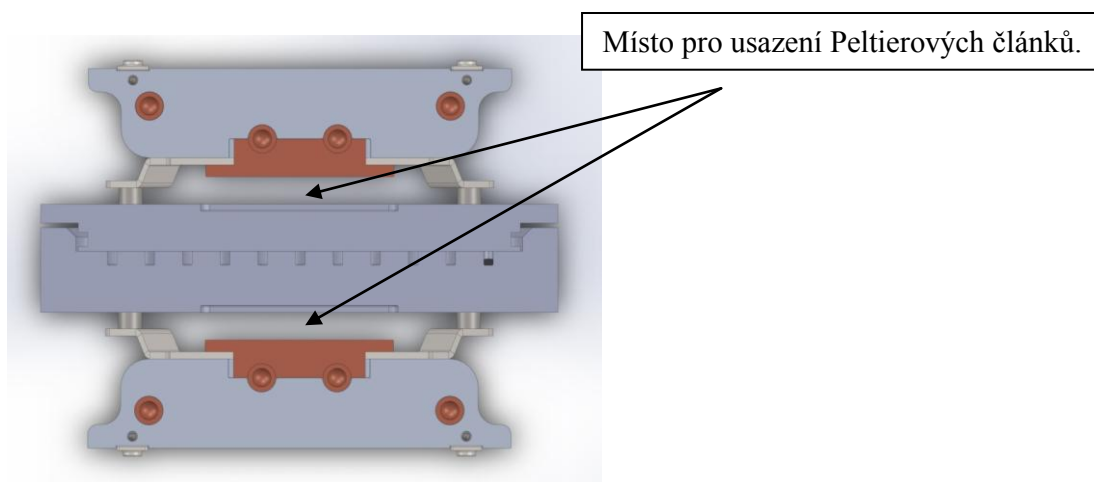
„Studený“ tepelný výměník je mechanická součástka pro odvod tepla z látky, která výměníkem protéká, do okolí. Jedná se o dva frézované díly z materiálu EN AW 6082 (slitina hliníku s velmi dobrou tepelnou vodivostí a eloxovatelností (7)). Oba dva díly prošly eloxováním², tedy povrchovou úpravou, při které se na povrchu materiálu vytvoří rovnoměrná vrstva oxidu. Vrstva oxidu zabraňuje přímému kontaktu slitiny hliníku s látkou, která výměníkem prochází, a tedy výměník lze použít i pro odvod tepla z potravin, resp. z mléka.

² Bylo zamýšleno, nicméně z důvodu nedostatku času nebylo realizováno.



Obrázek 8 - pohled na díl "studeného" tepelného výměníku

Jak již bylo řečeno, tepelný výměník se skládá ze dvou dílů, z dílu, ve kterém mléko protéká frézou vytvořeným meandrem (Obrázek 8) a dílu, který dosedá na meandr a celý výměník tak utěsňuje (viz příčný řez, který ukazuje Obrázek 9). Díly spojují čtyři šrouby v rozích výměníku.

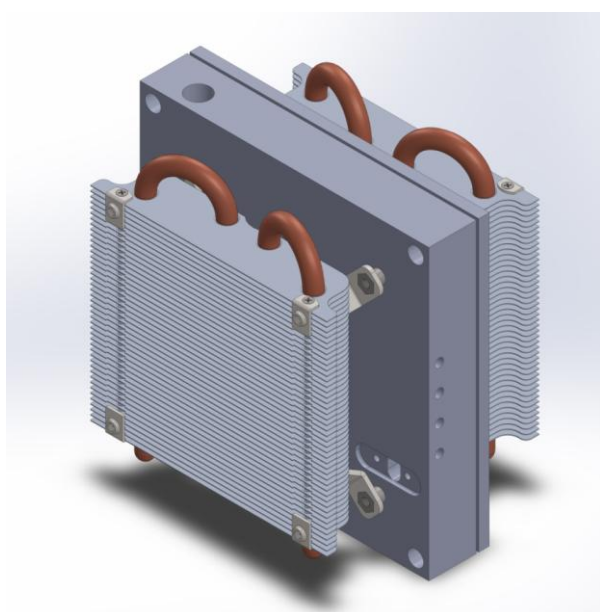


Obrázek 9 - řez "studeným" tepelným výměníkem

Odvod tepla z tepelného výměníku zajišťuje dvojice Peltierových článků s celkovým příkonem 272 W společně s výkonným chlazením původně určeným pro odvod tepla z procesorů s patičkami AMD AM2 nebo Intel LGA775 (8).

Peltierovy články jsou usazeny mezi tepelný výměník (studená strana článku) a chladič (teplá strana článku). Již při návrhu tepelného výměníku bylo počítáno s použitím určitých typů Peltierových článků a chladičů určených pro chlazení procesorů se specifickou patičí. Z toho důvodu existuje v mechanickém návrhu místo pro usazení Peltierových článků i veškeré potřebné otvory pro uchycení chlazení s patičí Intel LGA775 (8).

Vstup a výstup tepelného výměníku, trubkový závit G 1/8", je umístěn vlevo nahoře a vpravo dole (z pohledu viz Obrázek 10). Otvory, resp. závity M4, pro uchycení k nosné konstrukci se nacházejí po stranách.



Obrázek 10 - celkový pohled na "studený" tepelný výměník

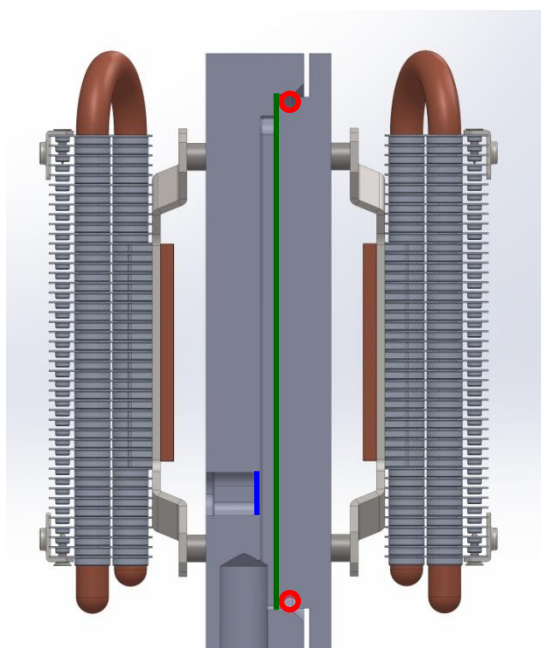
Těsnost tepelného výměníku zajišťuje těsnění kruhové profilu (tzv. „o-kroužek“), které se nachází mezi vnitřní obvodovou stěnou dílu s frézovaným meandrem a vnější obvodovou stěnou dílu, který na meandr dosedá (Obrázek 11, naznačeno v řezu červeně). Těsnění umístěné po obvodu má svůj význam. Alternativně lze těsnění umístit nikoliv po obvodu, ale přímo na kontaktní plochu dílů (Obrázek 11, naznačeno v řezu zeleně). Druhá varianta má ale zásadní nevýhodu. Plošně umístěné těsnění výrazně snižuje tepelnou vodivost mezi díly, a tedy Peltierův článek umístěný na dílu, který dosedá na meandr, by měl sníženou účinnost. Z toho důvodu byla volena první varianta, tedy umístění těsnění po obvodu v místě, kde se díly stýkají.

Při návrhu bylo zapotřebí počítat také s požadavkem na měření teploty za účelem regulace teploty tepelného výměníku a kontroly procesu pasterizace, tedy měření teploty

v místě vstupu a výstupu pasterizované látky. Výhoda přímého (kontaktního) měření teploty pasterizované látky nepřevyšuje nevýhody této metody:

- výhody:
 - okamžité informace o teplotě pasterizované látky bez zkreslení,
- nevýhody:
 - nutnost zajištění biokompatibility teplotního čidla,
 - nutnost zajištění těsnění v místě teplotního čidla,
 - nutnost dalšího teplotního čidla pro měření teploty tepelného výměníku.

Proto bylo měření teploty realizováno jiným, kompromisním, způsobem. Teplotní čidlo není v kontaktu s pasterizovanou látkou přímo, ale skrze 0,5 mm tlustou stěnu tepelného výměníku (umístění teplotního čidla ukazuje Obrázek 11, naznačeno v řezu modře).



Obrázek 11 - těsnění "studeného" tepelného výměníku

Celkový objem tepelného výměníku činí 5,47 ml.

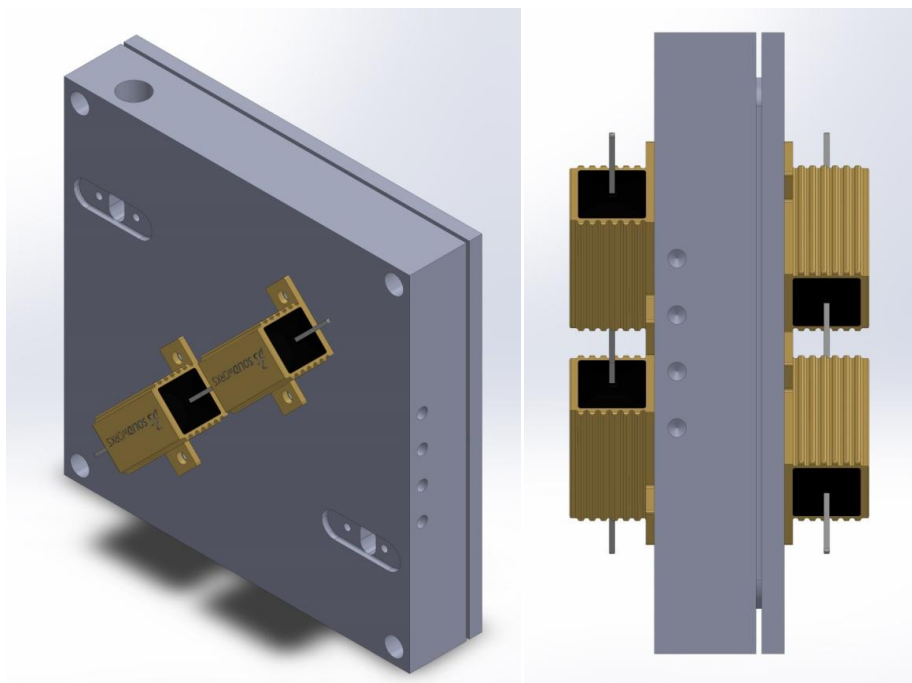
3.2 „Teplý“ tepelný výměník

„Teplý“ tepelný výměník je mechanická součástka pro ohřev látky, která výměníkem protéká. Jedná se o dva frézované díly vyrobené ze stejného materiálu, který byl použit

k výrobě „studeného“ tepelného výměníku, tedy materiálu EN AW 6082 (slitina hliníku s velmi dobrou tepelnou vodivostí a eloxovatelností (7)).

Mechanická konstrukce, povrchová úprava, způsob utěsnění tepelného výměníku i měření teploty je totožný jako u dílů „studeného“ tepelného výměníku. Jediný rozdíl spočívá v tom, že na vnější straně dílů se nenachází prvky pro uchycení Peltierových článků a chladičů pro chlazení procesorů s patičí Intel LGA775 (8), ale prvky pro uchycení topných rezistorů.

Na povrchu tepelného výměníku se nachází do kříže umístěné (aby bylo teplo rozvedeno co nejrovnoměrěji) dvě dvojice topných rezistorů s celkovým příkonem, resp. výkonem (zanedbáme-li ztráty na přívodních vodičích a kontaktech) 100 W.



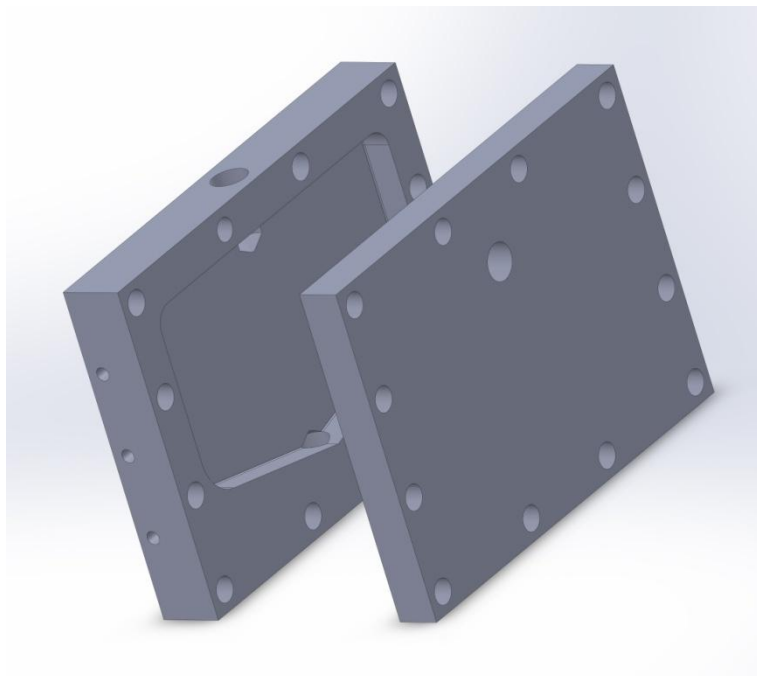
Obrázek 12 - celkový pohled na "teplý" tepelný výměník

3.3 Vstupní dávkovač

Vstupní dávkovač je mechanická součástka umístěná mezi vstupním rezervoárem a „teplým“ tepelným výměníkem a slouží pro odměření jedné pasterizované dávky, tedy dávky o celkovém objemu „teplého“, resp. „studeného“ tepelného výměníku. Z toho plyne, že objem vstupního dávkovače musí být minimálně stejný, jako je objem tepelného výměníku. Proti tepelným výměníkům zde zajišťuje těsnost soustavy plošné těsnění mezi

díly. Oba díly jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako tepelné výměníky (EN AW 6082) a následně eloxovány³.

Objem vstupního dávkovače činí asi 28 ml.



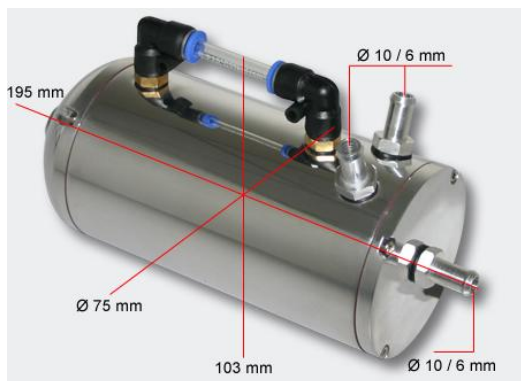
Obrázek 13 - pohled na díly vstupního dávkovače

3.4 Ostatní mechanické komponenty

Pro snížení nákladů na výrobu prototypu Domácí pasterizační jednotky NG byl pro funkci vstupního a výstupního rezervoáru a vzdušníku (nádoby pro uchování stlačeného vzduchu) použit díl původně určený pro oddělování oleje ze vzduchových soustav namísto toho, aby byl vstupní a výstupní rezervoár a vzdušník vyráběn na zakázku.

Jedná se o díl „Oil Catch Tank Breather Oil Collector Type II Oil Reservoir Catch Can“ vyráběný a distribuovaný firmou WilTec Wildanger Technik GmbH.

³ Bylo zamýšleno, nicméně z důvodu nedostatku času nebylo realizováno.



Obrázek 14 - díl firmy WilTec Wildanger Technik GmbH (9)

Díl splňuje veškeré požadavky (sepsané níže), proto teoreticky nic nebrání použití dílu i v případné sériové výrobě.

Sjednocené požadavky na vstupní a výstupní rezervoár a vzdušník:

- požadavky na vstupy/výstupy:
 - jeden umístěný v horní části pro plnění (v případě rezervoárů),
 - jeden umístěný ve spodní části pro vyprazdňování,
 - alespoň jeden další umístění libovolně,
- objem minimálně 250 ml,
- minimální povolený tlak 2 bary.

3.5 Konstrukce

Mechanická konstrukce se skládá z několika dílů vyrobených (laserové řezání a ohyb) dle specifikací externí firmou.

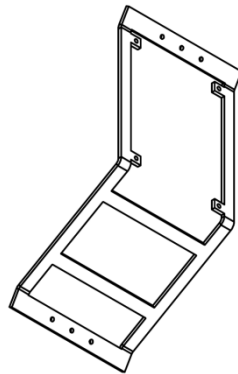
Parametry (7):

- tloušťka materiálu: 2 mm,
- poloměr ohybuje: 2,6 mm,
- K-faktor: 0,5,
- materiál: slitina hliníku,
- tolerance: ± 1 mm.

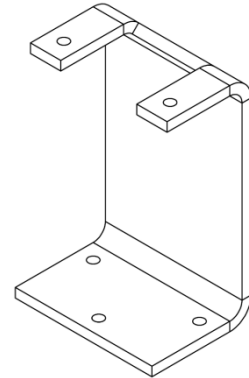
Náhled jednotlivých dílů, jejich popis a počty viz Obrázek 15, Obrázek 16, Obrázek 17, Obrázek 18, Obrázek 19, Obrázek 20, Obrázek 21, Obrázek 22 a Obrázek 23.



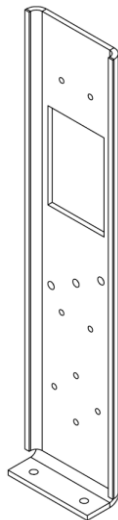
Obrázek 15 - úchyt vstupního a výstupního rezervoáru a vzdušníku (3x)



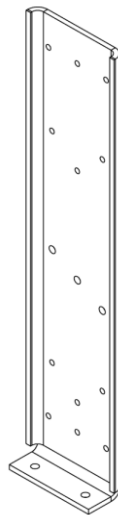
Obrázek 16 - úchyt řídicí DPS (1x)



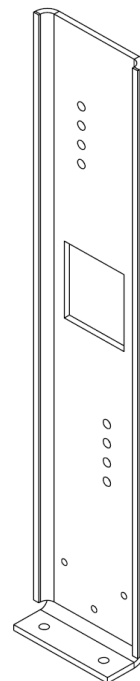
Obrázek 17 - úchyt elektromagnetického ventilu (4x)



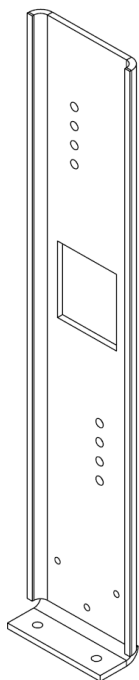
Obrázek 18 - pravý nosník vstupního rezervoáru (1x)



Obrázek 19 - levý nosník vstupního rezervoáru (1x)



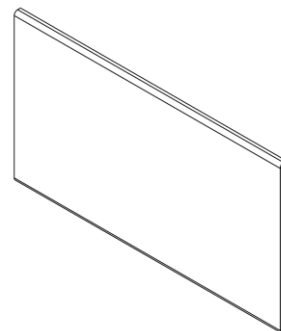
Obrázek 20 - pravý nosník tepelných výměníků (1x)



Obrázek 21 - levý nosník
tepelných výměníků (1x)



Obrázek 22 - pravý/levý
nosník výstupního rezervoáru
(2x)



Obrázek 23 - nosná deska
(1x)

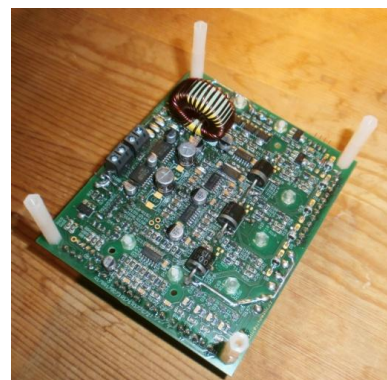
4 Elektronická část



Obrázek 24 - vrchní strana
DPS s displejem od firmy
4D Systems



Obrázek 25 - vrchní strana
DPS



Obrázek 26 - Spodní strana
DPS

Kompletní schémata lze nalézt v přílohách.

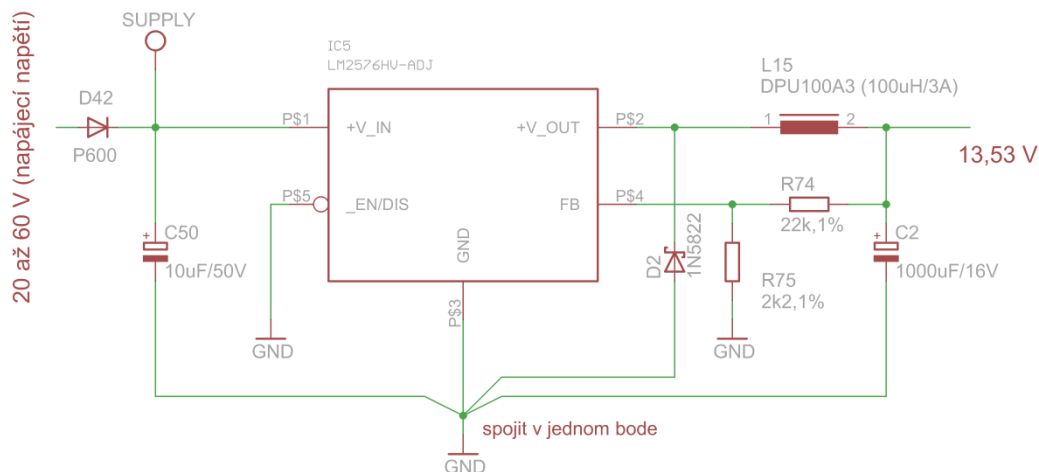
4.1 Napájecí část

Původní koncept zařízení počítal s použitím spínaného napájecího zdroje o nominálním napětí 48 V. Z toho důvodu byl v zapojení vstupního napájecího obvodu použit spínaný stabilizátor LM2576HV-ADJ (10), který umožňujeme napětí stabilizovat až z hodnoty 57 V.

Možnému přepólování brání dioda P600 (D42).

Spínaný stabilizátor je zapojen dle doporučeného zapojení uvedeného v katalogovém listu výrobce (10). Poměrem velikosti odporu rezistorů R74 a R75 určíme výstupní (stabilizované) napětí, které při hodnotách 22 kΩ a 2,2 kΩ dosahuje:

$$U = 1,23 \text{ V} \cdot \left(1 + \frac{22000}{2200}\right) = 13,53 \text{ V}$$



Obrázek 27 – zapojení vstupního spínaného stabilizátoru

Ke stabilizaci ostatních napětí již byly použity SMD varianty stabilizátorů LM2574HVM-ADJ (11). Řídicí jednotka a přidružené komponenty vyžadují, vyjma napětí o velikosti 12 V, dále napětí o velikostech 5 V (některé digitální a analogové obvody) a 3,3 V (mikrokontrolér a některé digitální obvody).

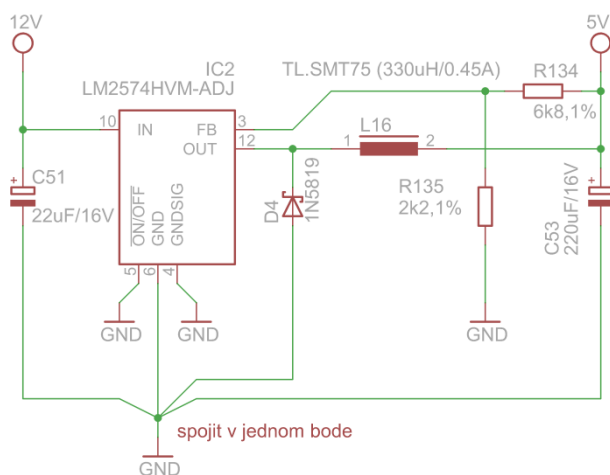
Spínaný stabilizátor je opět zapojen dle doporučeného zapojení uvedeného v katalogovém listu výrobce (11). Obrázek 28 ukazuje zapojení spínaného stabilizátoru pro stabilizaci napětí o velikosti 5 V. Zapojení stabilizátoru pro stabilizaci napětí o velikosti 3,3 V je totožné vyjma hodnot odporu rezistorů, jimiž se definuje požadované výstupní napájení.

Výpočet výstupního napětí stabilizátoru stabilizující napětí na velikost 5 V:

$$U = 1,23 \text{ V} \cdot \left(1 + \frac{6800}{2200}\right) = 5,03 \text{ V}$$

Výpočet výstupního napětí stabilizátoru stabilizující napětí na velikost 3 V:

$$U = 1,23 \text{ V} \cdot \left(1 + \frac{2200}{1500}\right) = 3,03 \text{ V}$$

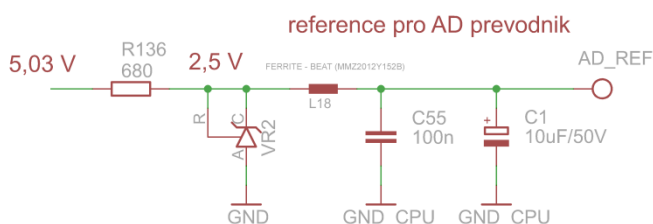


Obrázek 28 - zapojení spínaného stabilizátoru

Všechny napájecí větve – viz Obrázek 56 – (každá větev napájí určité elektronické komponenty, které spolu souvisejí) odděluje filtr tvořený paralelní kombinací keramického kondenzátoru o hodnotě 100 nF a elektrolytického kondenzátoru o hodnotě 10 μ F a sériově zapojenou odrušovací cívkou (příklad zapojení viz Obrázek 29, obrázek ukazuje zapojení napěťové reference pro AD převodník, nicméně filtr vypadá pro každou napájecí větev stejně). Cíl filtru je zabránit proniknutí rušení z jedné napájecí větve do druhé (například z větve pro spínání EM ventilů do větve napájení mikrokontroléru).

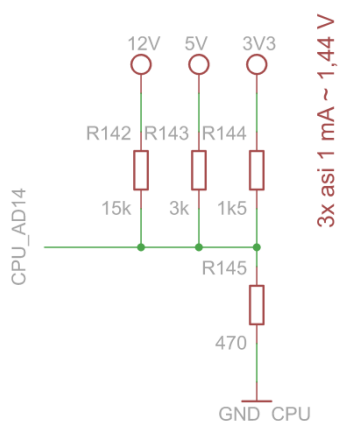
Přesnost stabilizace napájecího napětí spínaných stabilizátorů není pro potřeby napěťové reference AD převodníku mikrokontroléru dostatečná. Z toho důvodu existuje v zapojení speciální obvod pro vytváření referenčního napětí o velikosti 2,5 V, obvod TL431 (12). Dle katalogového listu (12) musíme nastavit proud protékající obvodem v intervalu 1 mA až 100 mA. Nepočítaje odběr součástek, které jsou k napěťové referenci připojeny (jedná se maximálně o 10 mA), dosahuje proud:

$$I = \frac{5,03}{680} = 7,4 \text{ mA}$$



Obrázek 29 – zapojení napěťové reference

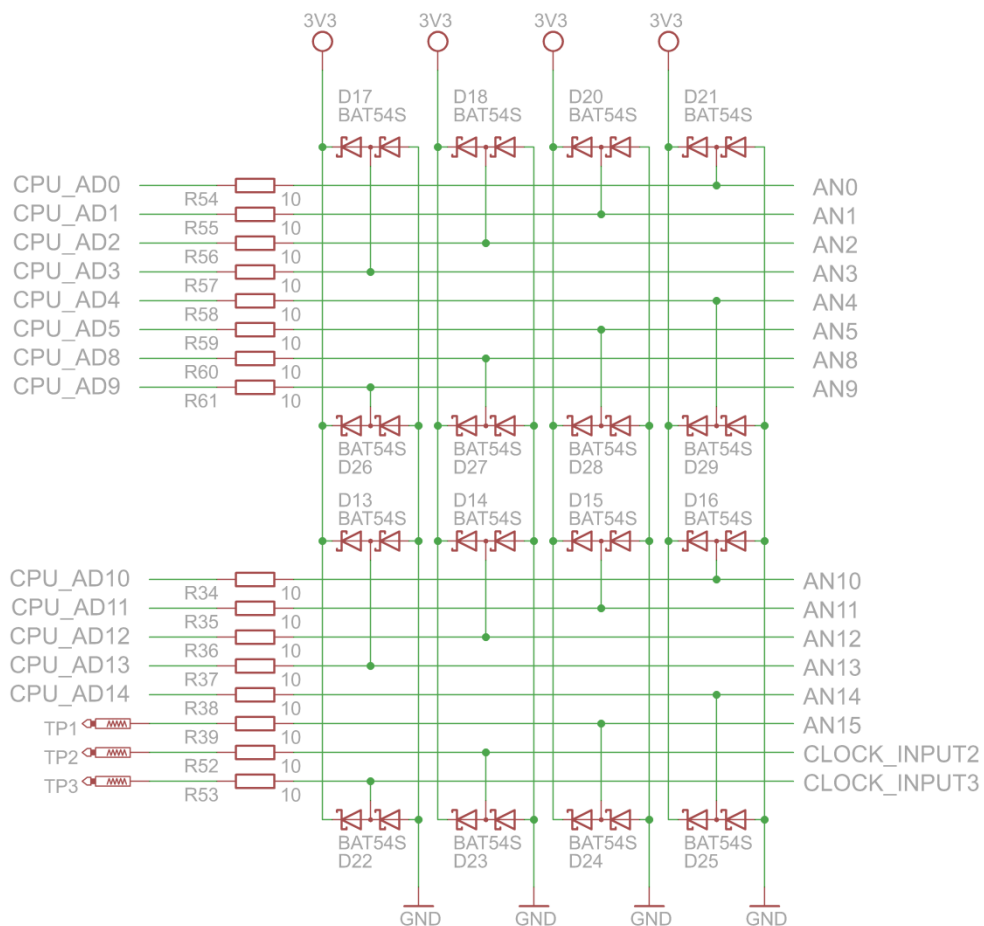
Z důvodu nedostatku analogových vstupů mikrokontroléru a snaze vyhnout se dalším obvodům, byla kontrola správné stabilizace napájecích napětí realizována přes odporový napěťový sčítací člen (viz Obrázek 30). Hodnoty rezistorů byly nastavovány empiricky za pomoci obvodového simulátoru ve snaze docílit jednotného proudu, který protéká rezistory R142 (napětí 13,53 V), R143 (napětí 5,03 V) a R144 (napětí 3,03 V). Pro předpokládaná kontrolovaná stabilizovaná napětí uvedená výše v závorkách je výstupem odporového napěťového sčítacího členu napětí o velikosti asi 1,44 V. Změna kteréhokoliv kontrolovaného napětí má za následek změnu výstupního napětí odporového napěťového sčítacího členu. Pro potřeby kontroly napájecích (sledovaných) napětí lze říct, že napájecí napětí jsou v pořádku za předpokladu, že výstupní napětí odporového napěťového sčítacího členu je $1,44 \text{ V} \pm 10\%$.



Obrázek 30 - zapojení pro kontrolu napájecích napětí

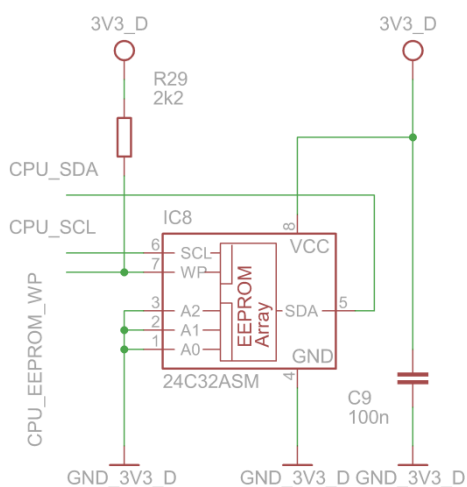
4.2 Část s mikrokontrolérem

Všechny vstupy mikrokontroléru připojené na vnější periférie (ty mimo vlastní řídicí jednotku, resp. mimo řídicí DPS) jsou chráněny proti poškození kombinací rezistoru o odporu 10Ω a dvojitou Shottkyho diodou BAT54 připojenou na 3,3 V a GND. Funkce je následující, při napětí vyšším než 3,3 V nebo nižším než GND (+ úbytek na Shottkyho diodě) se jedna z diod otevře a proud se svede do napájecí větve 3,3 V nebo do GND větve. Rezistor o odporu 10Ω v zapojení vytváří místo, kde může dojít k rozdílu napětí tak, aby ochranná dioda BAT54 neshořela.



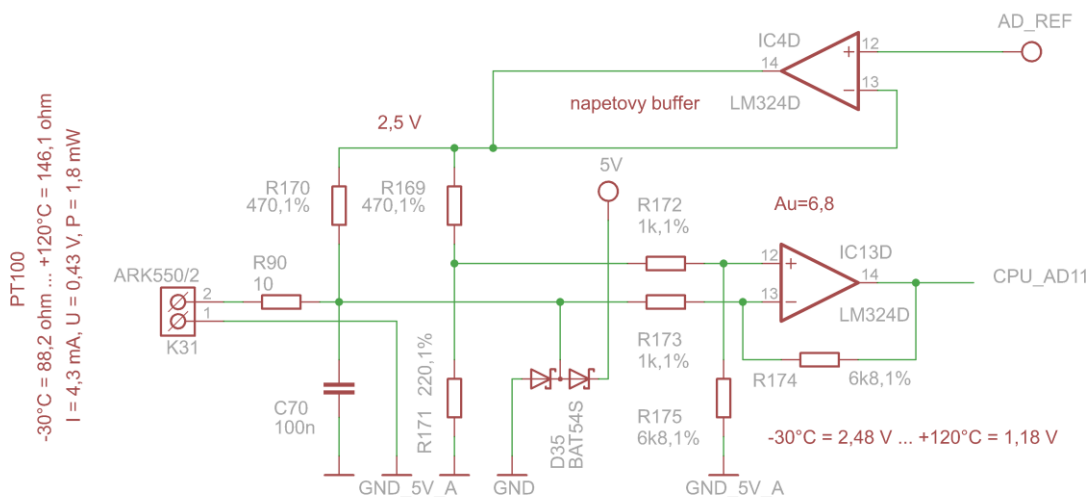
Obrázek 31 - zapojení ochran vstupů mikrokontroléru

Mikrokontrolér PIC24FJ128GA010 (3) neobsahuje interní EEPROM paměť, proto, aby bylo možné uložit např. uživatelské a další nastavení, existuje v zapojení externí I²C EEPROM paměť (4) o velikosti 32 Kb (tedy 4 KB).

Obrázek 32 - zapojení externí I²C paměti EEPROM

4.3 Analogová část

Teplotu vstupu i výstupu tepelných výměníků (měřeno na tepelném výměníku) měříme pomocí platinových teplotních čidel PT100 (13). Teplotní čidlo mění svůj odpor v závislosti na teplotě. Jeho odpor je pro různé teploty definovaný tabulkou uvedenou v katalogovém listu (13). Pro pracovní oblast, která se pohybuje od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ lze závislost odporu na teplotě považovat za lineární.



Obrázek 33 - zapojení vyhodnocovacího obvodu čidla PT100

Z důvodu navýšení přesnosti měření se odpor teplotního čidla nevyhodnocuje pouze jednoduchým odporovým napěťovým děličem, ale využívá se Wheatstonova můstku napájeného ze zdroje přesného referenčního napětí a diferenčního zesilovače s napěťovým zesílením diferenční složky 6,8. Rezistor o hodnotě $10\text{ }\Omega$ na vstupu pro teplotní čidlo slouží jako ochrana vstupu diferenčního zesilovače a je potřeba ho zahrnout do výpočtů.

Výstup diferenčního zesilovače vede do analogového vstupu mikrokontroléru, kde se převede na digitální hodnotu. Napěťová reference pro AD převodník je nastavena na $2,5\text{ V}$, a proto, aby nedošlo k saturaci analogového vstupu mikrokontroléru, musí být pro celý uvažovaný teplotní rozsah výstupní napětí diferenčního zesilovače v rozsahu 0 až $2,5\text{ V}$.

Pro napětí na výstupu diferenčního zesilovače v závislosti na hodnotě odporu teplotního čidla PT100 platí:

$$U_{out} = 2,5\text{ V} \cdot \left(\frac{6,8\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} \right) \cdot \left(\frac{220\text{ }\Omega}{220\text{ }\Omega + 470\text{ }\Omega} - \frac{R_{PT100} + 10\text{ }\Omega}{R_{PT100} + 10\text{ }\Omega + 470\text{ }\Omega} \right)$$

Pakliže bude teplotní čidlo měřit teplotu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy jeho odpor bude $88,2\ \Omega$, bude na výstupu diferenčního zesilovače:

$$U_{out} = 2,5 \cdot \left(\frac{6,8}{1}\right) \cdot \left(\frac{220}{220 + 470} - \frac{88,2 + 10}{88,2 + 10 + 470}\right) \doteq 2,48\text{ V}$$

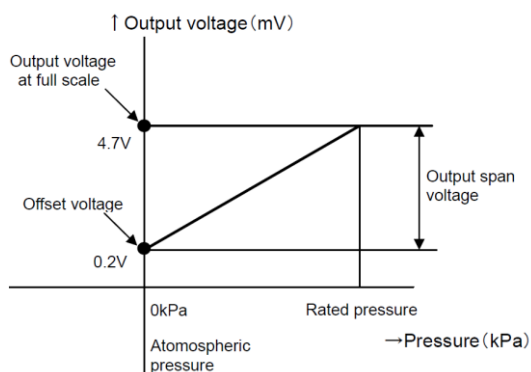
Pakliže bude teplotní čidlo měřit teplotu $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy jeho odpor bude $146,1\ \Omega$, bude na výstupu diferenčního zesilovače:

$$U_{out} = 2,5 \cdot \left(\frac{6,8}{1}\right) \cdot \left(\frac{220}{220 + 470} - \frac{146,1 + 10}{146,1 + 10 + 470}\right) \doteq 1,18\text{ V}$$

Závislost výstupního napětí na teplotě je tedy nepřímo úměrná.

Celková nepřesnost měření, do které se započítává nelinearita teplotního čidla, tolerance součástek Wheatstonova můstku a diferenčního zesilovače, napěťový ofset operačních zesilovačů (typický ofset pro obvod LM324 je 2 mV (14)) a chyba způsobená rozlišením AD převodníku (10ti bitový AD převodník, reference $2,5\text{ V}$ = rozlišení $2,4\text{ mV}$), dosahuje reálně asi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

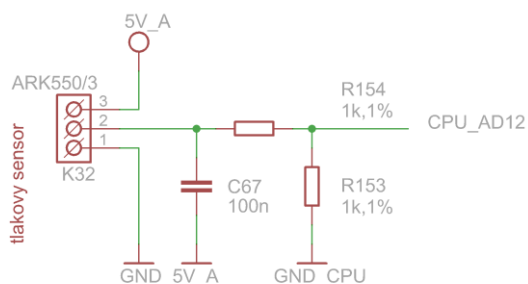
Pro měření tlaku byl vybrán senzor XFPM-001MPGR (15) a to hlavně z důvodu jednoduchého zpracování výstupního signálu. Senzor obsahuje veškerou potřebnou elektroniku a navenek poskytuje pouze analogové napětí, které je lineárně závislé na měřeném tlaku.



Obrázek 34 - senzor tlaku - závislost výstupu na tlaku (15)

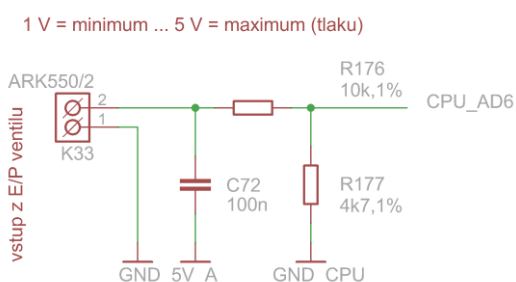
Abychom mohli vyhodnocovat celý tlakový rozsah, je nutné výstupní napětí snížit tak, aby pro maximální tlak nebylo napětí na výstupu vyšší, než je reference pro AD převodník mikrokontroléru, tedy vyšší než $2,5\text{ V}$. Vzhledem k nízké výstupní impedanci senzoru ($10\ \Omega$) je možné provést snížení napětí jednoduše pomocí napěťového odporového děliče.

primo u cidla musí být na vstupu $C=1\mu F$ a $C=1nF$ na vyvodu 6
 $0,2 V = 0 \text{ kPa} \dots 4,7 V = 1000 \text{ kPa}$



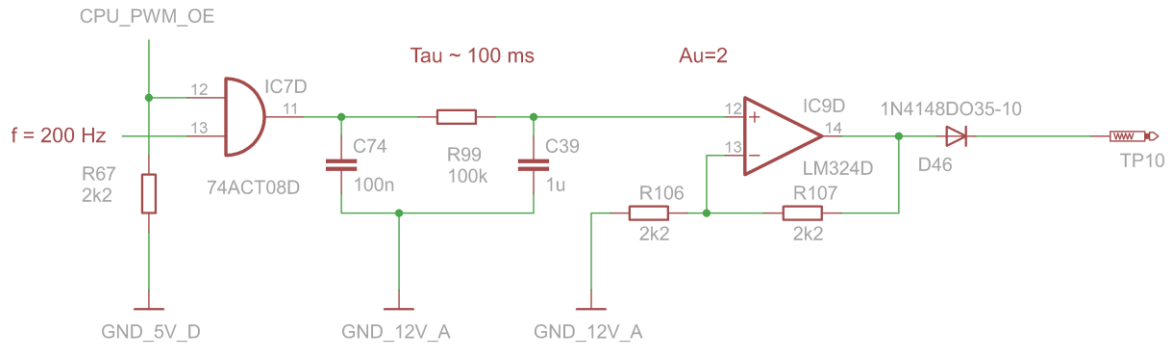
Obrázek 35 – zapojení vyhodnocovacího obvodu tlakového senzoru

Elektro-pneumatické (E/P) ventily mimo regulace tlaku poskytují také zpětnou vazbu (2), tedy informace o skutečném tlaku na výstupu ve formě analogové napětí, kde $1 V =$ atmosférický tlak a $5 V =$ nominální tlak (pro typ ITV1050 se jedná o 10 barů). Dle katalogové listu výrobce (2) musí být impedance, ke které je výstup připojen, vyšší než $1 k\Omega$, proto pro snížení výstupního napětí (opět abychom signál mohli zpracovat AD převodníkem mikrokontroléru, jehož napěťová reference je nastavena na $2,5 V$) byl volen odporový napěťový převodník o hodnotách $10 k\Omega$ a $4,7 k\Omega$.



Obrázek 36 - zapojení vyhodnocovacího obvodu výstupu E/P ventilu

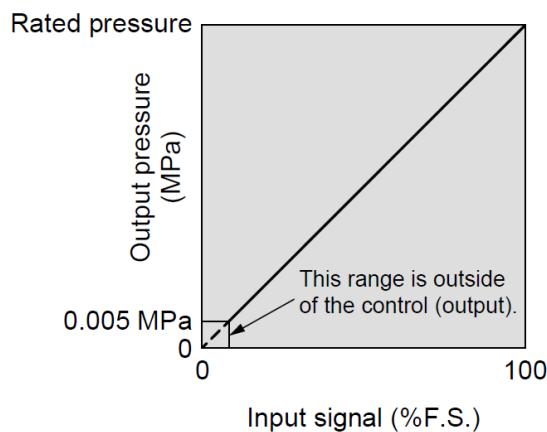
Koncept zařízení vyžaduje celkem 3 analogové výstupy (2 pro řízení požadovaného výstupního tlaku E/P ventilů v rozsahu 0 až 10 V a jeden pro regulaci výstupního napájecího napětí spínaného 500 W zdroje v intervalu 0 až 5 V – více viz dále).



Obrázek 37 - zapojení obvodu pro generování analogového napětí

Analogové výstupy jsou realizovány pomocí externího PWM generátoru, obvodu PCA9685 (5), který generuje PWM o proměnné střídě s frekvencí 200 Hz. Obvod řídí mikrokontrolér přes I²C sběrnici. PWM signál převede na analogové napětí RC filtr s časovou konstantou $\tau = 100 \text{ ms}$. Z důvodu definování bezpečného stavu ve chvíli, kdy není mikrokontrolér ještě naprogramován, nebo dalších stavů (chyba programu ...), vede PWM signál přes AND hradlo, které v obvodu zajišťuje OE signálu PWM. Filtrovaný PWM signál, tedy analogové napětí, je ještě zesíleno operačním zesilovačem s napěťovým zesilovacím činitelem 2.

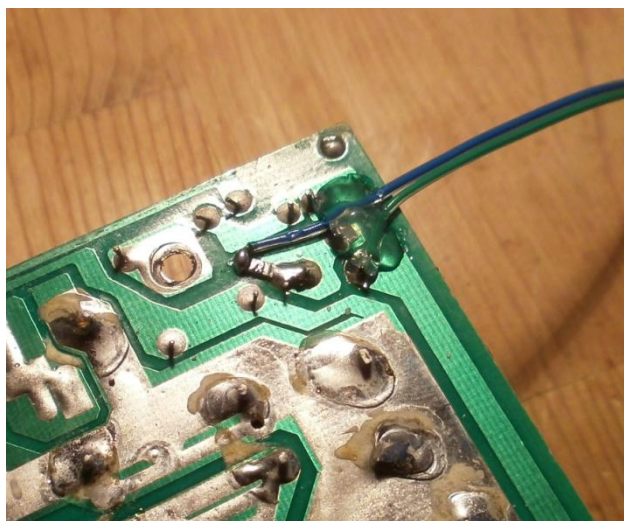
E/P ventily se, jak již bylo řečeno, řídí analogovým napětím v intervalu 0 až 10 V (viz Obrázek 38).



Obrázek 38 - E/P ventil - závislost tlaku na vstupu (2)

Použitý spínaný 500 W napájecí zdroj (jedná se o čínskou alternativu zdroje S-500-24 (16)) neobsahuje z výroby vstup pro regulaci výstupního napájecího napětí, ale pouze ladící trimr. Analýzou zapojení zdroje bylo zjištěno, že trimr změnou svého odporu mění proud, který ovlivňuje výstup operační zesilovače pro regulaci výstupního

napětí obvodu SDC 7500 (17) (čínská alternativa obvodu TL 494 (18) od firmy Texas Instruments). Zapojení zdroje tedy bylo modifikováno tak, aby napětím v intervalu 0 až 5 V bylo možné regulovat výstupní napětí v rozmezí asi 6 V. Ladicím trimrem zdroje pak bylo nastaveno maximální napájecí napětí na 27 V s tím, že nastavením 5 V na nově vytvořeném vstupu pro regulaci výstupního napětí lze výstupní napětí snížit až na 21 V. Závislost vstupu pro regulaci a výstupu je tedy nepřímo úměrná.



Obrázek 39 - detail úpravy napájecího zdroje

4.4 Digitální část

Spínání elektromagnetických ventilů a ventilátorů chladičů Peltierových článků je realizováno pomocí unipolárních tranzistorů IRL014 (19). Při odporu $R_{DS} = 200 \text{ m}\Omega$ (definováno výrobcem v katalogovém listu (19)) při plném otevření tranzistoru a tepelném odporu z čipu do okolí $60 \frac{\text{°C}}{\text{W}}$ lze spínat prvky, jejichž maximální proudový odběr nepřesáhne:

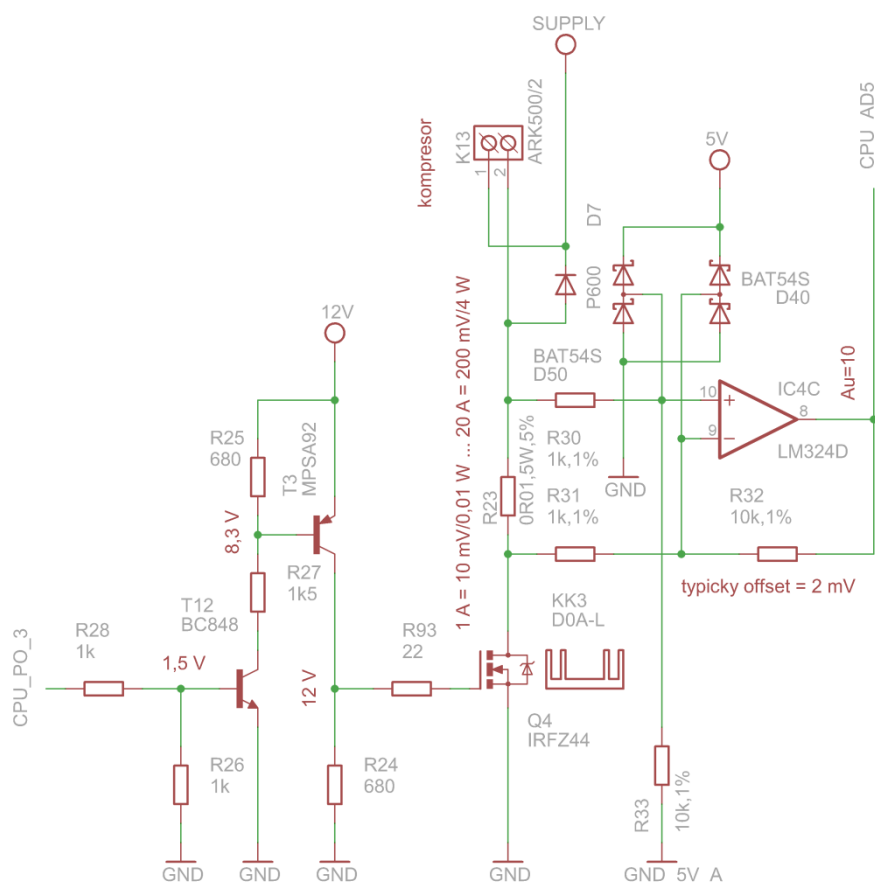
$$I_{MAX} = \sqrt{\frac{100 \text{ °C} - T_{okolí}}{60 \frac{\text{°C}}{\text{W}} \cdot R_{DS}}} = \sqrt{\frac{100 - 20}{60 \cdot 0,2}} \doteq 2,5 \text{ A}$$

Přestože je maximální operační teplota tranzistoru dle katalogového listu (19) rovna 150 °C , pro výpočet byla volena střídmější hodnota 100 °C .

Maximální proudový odběr $2,5 \text{ A}$ i s rezervou vyhovuje pro spínání elektromagnetických ventilů (proudový odběr se pohybuje kolem 100 mA), tak i pro spínání ventilátorů chladičů Peltierových článků (proudový odběr se pohybuje kolem 200 mA).

Rezistor R23, na kterém se měří úbytek napětí, má hodnotu odporu 10 mΩ, tedy každý ampér, který rezistorem proteče, vytvoří úbytek napětí 10 mV. Pro maximální předpokládaný proud 15 A se jedná o úbytek napětí o velikosti 150 mV. Ztrátový výkon rezistoru při tom bude $P = 0,15 \cdot 15 = 2,25 \text{ W}$. Z toho důvodu dimenzujeme rezistor R23 na 5 W. Diferenční zesilovač, jehož činitel zesílení diferenční napěťové složky činí 10, zvýší napětí při protékajícím proudě 15 A ze 150 mV na 1,5 V. Takto zesílené napětí již vedeme do analogové vstupu mikrokontroléru.

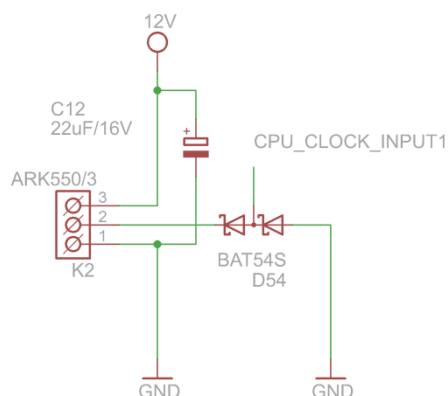
Nepřesnost měření se hlavně vlivem napěťového offsetu operačního zesilovače a tolerancí přidružených rezistorů bude pohybovat kolem 300 mA. To ovšem pro danou aplikaci nevádí, měření proudu buď využijeme ke kontrole správné funkce (kompresor a topné rezistory) nebo k regulaci (Peltierovy články), u které budeme regulovat na jednotky ampérů.



Obrázek 41 - zapojení výkonových spínačů

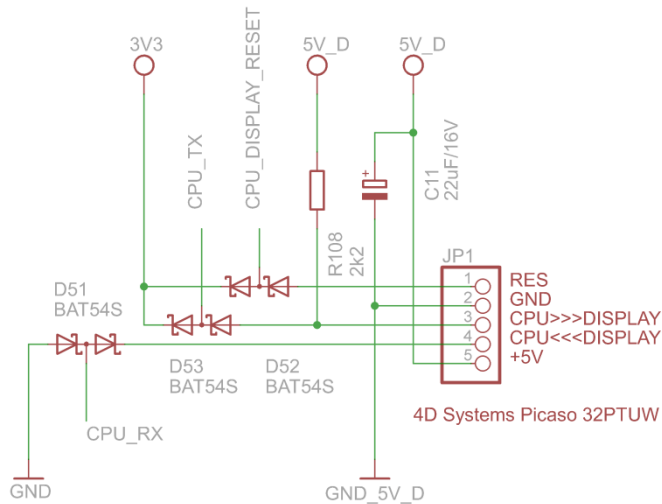
Použitý průtokoměr FCH-m-PP-LC (21) generuje dle katalogového listu výrobce 10 500 impulsů na liter, tedy pro jednu pasterizovanou dávku, která se rovná 5 ml, se jedná

asi o 53 impulsů. Měření bude probíhat s přesností do 0,1 ml. Impulsy jsou na výstupu průtokoměru generovány tranzistorem, který výstup stahuje k log. 0 (jedná se o výstup typu otevřený kolektor). Hodinový průběh signálu vytvoříme pomocí pull-up rezistoru o odporu 2,2 k Ω (dle katalogového listu výrobce (21) by měl být v intervalu 1,6 k Ω až 2,2 k Ω) na nožičce vstupu mikrokontroléru. Zapojení konektoru pro připojení průtokoměru ukazuje Obrázek 42. Dvojitá dioda BAT54 má v zapojení funkci ochrany vstupu mikrokontroléru.



Obrázek 42 - zapojení vstupního obvodu průtokoměru

Vzhledem k tomu, že inteligentní (kombinuje GPU + CPU – jeden Picaso čip; zobrazování a reakce na stisk TP probíhá na úrovni sériové komunikační linky) displej μ LCD-32WPTU od firmy 4D Systems (6) vyžaduje napájecí napětí o velikosti 5 V a napájecí napětí mikrokontroléru, ke kterému displej připojujeme, je rovné 3,3 V, musíme zajistit napěťovou kompatibilitu na RX a TX signálech. Napěťová kompatibilita znamená, že napětí 5 V z displeje se nesmí dostat na nožičky mikrokontroléru (musí být nejprve sníženo na 3,3 V) a napětí 3,3 V z mikrokontroléru musíme, dříve než ho přivedeme do displeje, zvýšit na 5 V. Za tímto účelem nalezneme v zapojení dvojici dvojitých diod BAT54 doplněných pull-up rezistory. Resetovací vstup displeje drží pull-up rezistor displeje v log. 1, pro reset tedy stačí na vstup přivést log. 0 (napěťovou kompatibilitu nemusíme řešit).



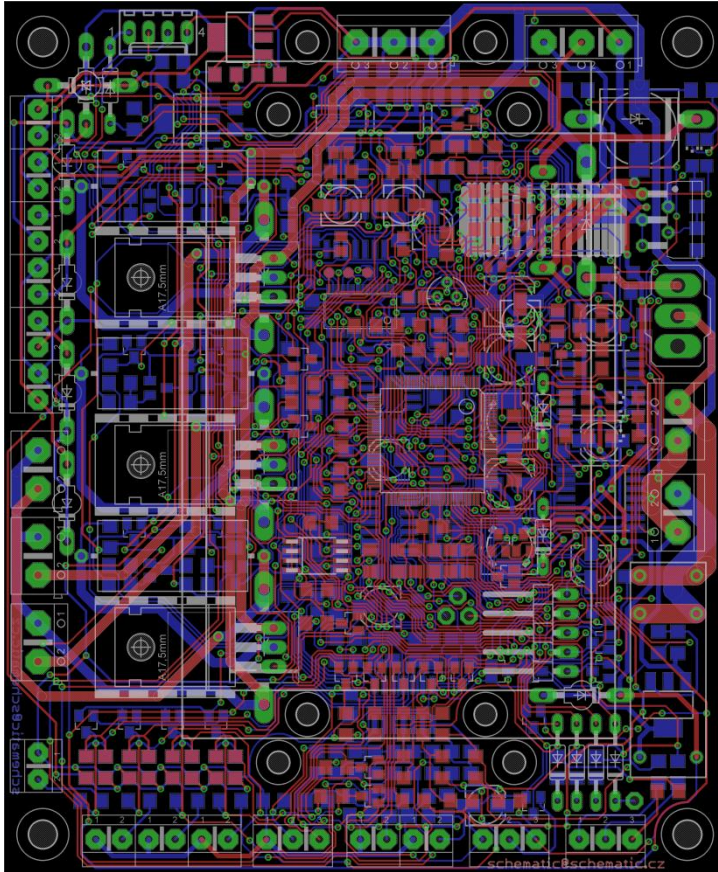
Obrázek 43 - zapojení pro připojení displeje

4.5 DPS

Návrh desky plošných spojů (DPS) i všech schémat byl realizován v programu Eagle verze 6.2.0. Data pro výrobu ve formátu Gerber byla následně předána firmě PragoBoard, kde došlo službou POOL servis k jeho výrobě. Jedná se o dvouvrstvou DPS s minimální šířkou signálové cesty/mezery mezi spoji 125 μm , odsazením spojů od okraje 0,2 mm a minimálním průměrem prokoveného otvoru 0,3 mm. Všechny prokovy (prokovené otvory) jsou maskovány (překryty nepájivou maskou).

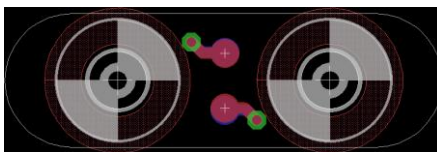
DPS byla vyráběna s následujícími vrstvami:

- „bottom“ vrstva spojů,
- „top“ vrstva spojů,
- „bottom“ nepájivá maska,
- „top“ nepájivá maska,
- „bottom“ maska s potiskem,
- „top“ maska s potiskem.

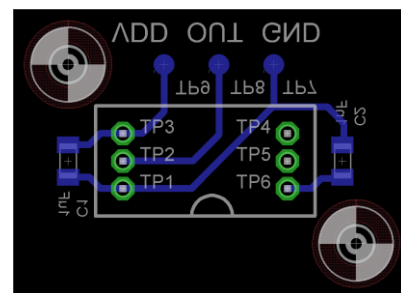


Obrázek 44 - návrh řídicí DPS

Mimo hlavní, řídicí, DPS popsané výše bylo zapotřebné vyrobit také DPS pro teplotní čidla PT100 (celkem 4 kusy) a tlakový senzor XFPM-001MPGR (1 kus). Z důvodu ušetření nákladů na výrobu DPS se vše nechalo panelizovat na jeden přířez.



Obrázek 45 – návrh DPS pro teplotní čidlo PT100



Obrázek 46 – návrh DPS pro tlakový senzor XFPM-001MPGR

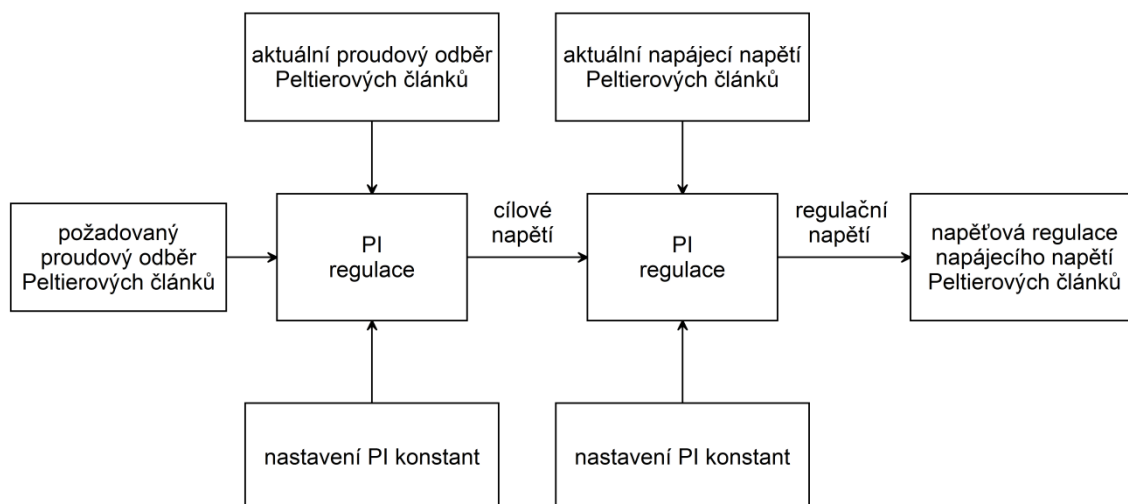
5 Programová část

5.1 Regulace

5.1.1 Regulace teploty „studeného“ tepelného výměníku

Výrobce Peltierova článku definuje parametry (22), resp. jejich maximální hodnoty, za kterých je možné Peltierův článek bezpečně (myšleno s ohledem na jeho poškození) provozovat. Jedná se o maximální příkon, napětí a proud. Odebíraný proud přímo souvisí s chladícím výkonem (dle účinnosti každého z článků). Za předpokladu, že účinnost každého z použitých článků je přibližně stejná (jedná se o tytéž typy ze stejné výrobní šarže), je pro regulaci článků nejvýhodnější použít jejich sériové zapojení a proudovou regulaci. Tak dosáhneme jejich maximálního možného výkonu bez nutnosti regulovat každý článek zvlášť. Sériové zapojení článků je vhodné i z toho důvodu, že překročení maximálního napětí článku je teoreticky možné za předpokladu, že nebude překročen maximální proud, resp. příkon.

Z důvodů popsaných výše je nominálního výkonu článků dosaženo pomocí regulace na maximální možný proud článků, který definuje výrobce (pro typ TEC1-12715 se jedná o 15 A).



Obrázek 47 – blokové schéma regulace Peltierových článků

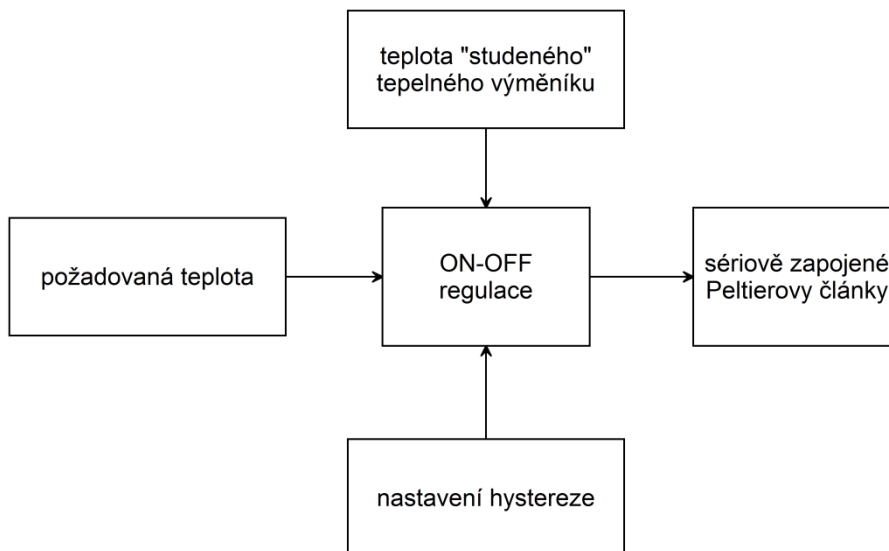
Požadovaného proudu dosáhneme pomocí správně nastaveného napájecího napětí sériově zapojených Peltierových článků. Regulace, jak ukazuje Obrázek 47, probíhá dvoustupňově. Správné napájecí napětí článků nalezne PI regulátor (23) na základě

požadovaného a měřeného proudového odběru. Cílové napětí pak druhý PI regulátor (23) nastaví na spínaném zdroji, který Peltierovy články napájí.

Základním předpokladem pro správné fungování kaskádově řazených PI regulátorů je to, že (v tomto případě) probíhá regulace napětí s vyšší rychlostí, než regulace proudu. Jinak řečeno, PI regulátor napětí musí být schopen ideálně během jednoho kroku regulátoru proudu, nastavit požadované napětí.

PI konstanty, tedy P (proporcionální) a I (integrační) složky, byly u obou regulátorů nastaveny pomocí empirických metod.

Vlastní regulace na cílovou teplotu pak není složitá. Jedná se o jednoduchý ON/OFF regulátor, jehož nastavení hystereze respektuje dynamiku soustavy a požadavky (rozsah teplot chlazení) na pasterizaci mléka metodou HTST.



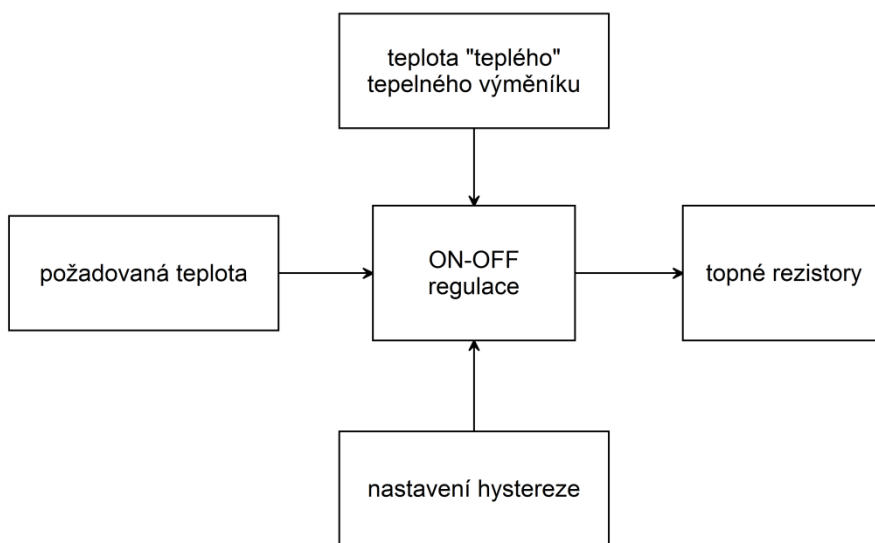
Obrázek 48 – blokové schéma regulace chlazení

5.1.2 Regulace teploty „teplého“ tepelného výměníku

Regulace teploty „teplého“ tepelného výměníku není v porovnání s regulací teploty „studeného“ tepelného výměníku nikterak složitá. Napájecí napětí topných rezistorů není potřeba regulovat, jen je potřeba zajistit, aby při daném napájecím napětí a odporu rezistorů byl topný výkon dostatečný.

Za předpokladu splnění podmínky dostatečného výkonu, lze regulaci provádět stejně jako tomu je u „studeného“ tepelného výměníku, tedy pomocí ON/OFF regulátoru, jehož

nastavení hystereze respektuje dynamiku soustavy a požadavky (rozsah teplot ohřevu) na pasterizaci mléka metodou HTST.



Obrázek 49 – blokové schéma regulace ohřevu

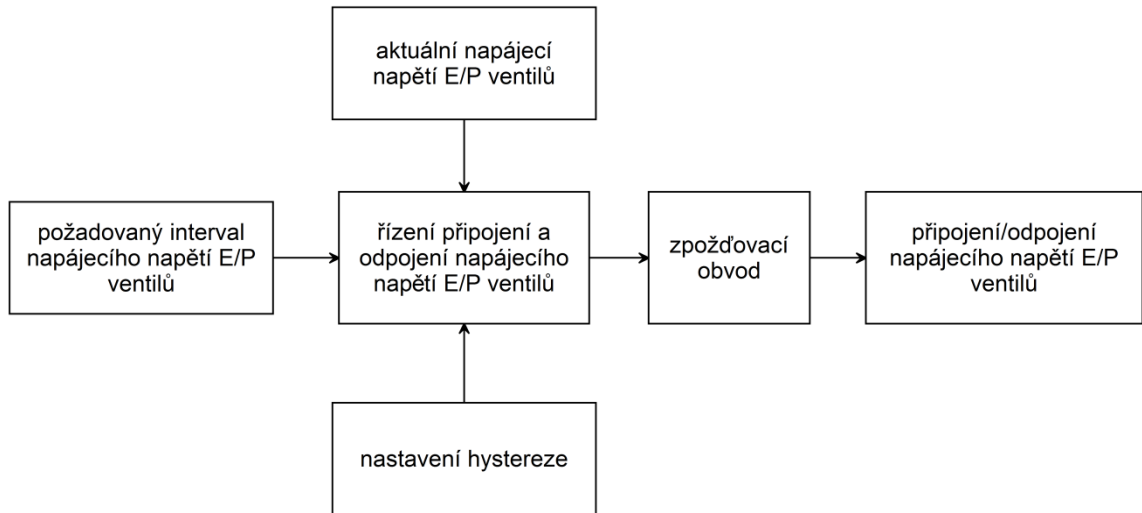
5.1.3 Tlaková regulace

Pro správnou funkci E/P ventilů (2), tedy pro to, aby byly ventily schopny udržovat na výstupech nastavený tlak, je potřeba zajistit na jejich vstupech dostatečně velkou tlakovou rezervu. Tlakovou rezervou se myslí takový tlak, který je vyšší, než tlak požadovaný na výstupech ventilů, a to při takovém objemu stlačeného vzduchu, aby při zásahu ventilů, dříve než dojde k zásahu regulace udržující tlakovou rezervu v nastavených mezích, nedošlo ke snížení tlaku na vstupech ventilů pod tlak, který požadujeme na jejich výstupech. Pro určení správné tlakové rezervy lze využít Boyleův-Mariottův zákon.

Jak již bylo uvedeno v odstavci výše, v systému existuje regulace pro udržování tlakové rezervy na vstupech E/P ventilů v nastavených mezích. Regulace je realizována ON/OFF regulátorem. Nastavení hystereze respektuje požadavky uvedené výše.

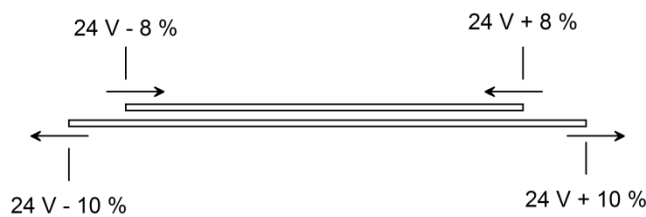
5.1.4 Napěťová ochrana E/P ventilů

Vzhledem ke společnému napájecímu napětí E/P ventilů a Peltierových článků, tedy ke skutečnosti, že se napájecí napětí E/P ventilů může měnit, je potřeba zajistit nezávislou kontrolu správného napájecího napětí s ohledem na požadavky E/P ventilů (2). Ty definují, že napájecí napětí musí být v rozsahu $24\text{ V} \pm 10\%$.



Obrázek 50 – blokové schéma napěťové ochrany E/P ventilů

Z toho důvodu je napájecí napětí kontrolováno, a ve chvíli, kdy není v požadovaném intervalu, jsou E/P ventily od napájecího napětí odpojeny. Obrázek 51 ukazuje princip hystereze odpojení a připojení napájecího napětí E/P ventilů.



Obrázek 51 – znázornění napěťových intervalů ochrany E/P ventilů

Pakliže je napětí v intervalu $24\text{ V} \pm 8\%$ dojde k připojení napájecího napětí. Naopak, pakliže je napájecí napětí mimo interval $24\text{ V} \pm 10\%$ dojde k jeho odpojení. Navíc, k připojení napájecího napětí dojde pouze ve chvíli, kdy je napětí nepřetržitě v intervalu $24\text{ V} \pm 8\%$ alespoň 1 s.

5.1.5 Orientační výpočet příkonů

Objem jedné dávky vychází z objemu tepelných výměníků a je roven:

$$V_{\text{dávka}} = 5\text{ ml}$$

Měrná tepelná kapacita mléka:

$$c_m = 3962 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 1,1 \frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Měrná hmotnost mléka:

$$m_m = 1,03 \frac{g}{cm^3}$$

Potřebný příkon pro změnu teploty ΔT (ohřátí nebo zchlazení) za dobu Δt při účinnosti η je:

$$P = \frac{V_{dávka} \cdot c_m \cdot m_m \cdot \Delta T \cdot \left(\frac{3600}{\Delta t}\right)}{\eta}$$

Účinnost Peltierových článků není v katalogovém listu výrobce (22) definovaná, proto pro orientační výpočet potřebného příkonu použijeme účinnost $\eta_{cool} = 10\%$. Účinnost topných rezistorů je $\eta_{heat} = 100\%$, tedy veškerá energie se promění na teplo.

Pro orientační výpočet je potřeba zvolit také teplotu mléka před pasterizací. Předpokládáme uskladnění mléka v lednici, proto teplota před pasterizací $T_l = 4\text{ }^\circ\text{C}$. Cílová teplota mléka pro pasterizaci metodou HTST $T_{HTST} = 72\text{ }^\circ\text{C}$. Rozdíl teplot činí $\Delta T_{heat} = T_{HTST} - T_l = 68\text{ }^\circ\text{C}$.

Delší působení teploty T_{HTST} na mléko způsobí denaturaci některých bílkovin, proto je potřeba po pasterizaci (vlastním ohřevu) mléko co nejrychleji zchladit na teplotu alespoň $T_c = 60\text{ }^\circ\text{C}$, tedy $\Delta T_{cool} = T_{HTST} - T_c = 12\text{ }^\circ\text{C}$.

Doba pasterizace jedné dávky se skládá z doby potřebné pro ohřev $\Delta t_{heat} = ?$ a doby vlastní pasterizace mléka $t_{HTST} = 15\text{ s}$. Mimo vlastního procesu pasterizace je do doby zpracování jedné dávky potřeba započítat také dobu potřebnou pro ochlazení $\Delta t_{cool} = ?$.

Začneme-li nyní uvažovat i způsob pasterizace mléka, tedy že nejprve dojde k ohřevu jedné dávky a následně jejímu zchlazení a až poté se začne zpracovávat dávka další, v rámci co nejvyššího urychlení pasterizace, s ohledem na vyšší počet dávek, by měly být časy $\Delta t_{heat} \leq 15\text{ s}$ a $\Delta t_{cool} \leq 15\text{ s}$.

Minimální ohřívací příkon:

$$P_{heat} = \frac{V_{dávka} \cdot c_m \cdot m_m \cdot \Delta T_{heat} \cdot \left(\frac{3600}{\Delta t_{heat}}\right)}{\eta_{heat}} = \frac{(1,03 \cdot 5) \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 68 \cdot \left(\frac{3600}{15}\right)}{1} \doteq 92\text{ W}$$

Minimální chladicí příkon:

$$P_{cool} = \frac{V_{dávka} \cdot c_m \cdot m_m \cdot \Delta T_{heat} \cdot \left(\frac{3600}{\Delta t_{heat}}\right)}{\eta_{heat}} = \frac{(1,03 \cdot 5) \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 12 \cdot \left(\frac{3600}{15}\right)}{0,1} \doteq 163 \text{ W}$$

Za předpokladu dostatečně velké (ideální) tepelné kapacity výměníků a zanedbání ostatní vlivů, bude doba potřebná pro zpracování jedné dávky $t_{dávka} = 30 \text{ s}$.

Rychlost pak lze vypočítat:

$$v = \frac{V_{dávka}}{t_{dávka}} = \frac{5 \text{ ml}}{30 \text{ s}} = 0,6 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

5.1.6 Předpoklady správné funkce systému

Peltierovy články, topné rezistory, E/P ventily, kompresor i řídicí jednotka jsou napájeny ze společného napájecího napětí, spínaného zdroje 500 W (pro jmenovité napětí zdroje 24 V se jedná asi o 21 A), jehož výstupní napětí lze regulovat v intervalu asi 21 V až 27 V. Tabulka 1 shrnuje požadavky jednotlivých komponent na napájecí napětí a dodávaný výkon.

	Minimální napájecí napětí	Maximální napájecí napětí	Maximální předpokládaný proudový odběr
Peltierovy články	-	30,8 V	15 A
Topné rezistory	23,5 V	-	4,5 A
E/P ventily	21,6 V	26,4 V	240 mA
Kompresor	-	-	4,6 A
Řídicí jednotka (řídicí DPS)	15 V	57 V	1 A

Tabulka 1 – požadavky na napájecí napětí a výkon

Maximální napětí na Peltierových člancích je pouze teoretické, jedná se o maximální napětí na jednom Peltierově článku (15,4 V dle výrobce (22)), které je vynásobeno počtem článků v sérii. Reálně se, s omezením na maximální napájecí napětí ostatních komponent a možnosti spínaného zdroje, reguluje napájecí napětí na maximální možný výkon článků (teoretický příkon článků je až 273,6 W). Z důvodu regulace na maximální možný výkon článků není zapotřebí uvádět minimální napájecí napětí. Maximální proudový odběr je opsán z katalogového listu výrobce Peltierových článků (22).

Minimální možné napájecí napětí topných rezistorů vychází z požadavků na minimální topný příkon, který dosahuje 92 W. Pokud bude napájecí napětí menší,

ovlivní to dobu potřebnou pro pasterizaci mléka (doba ohřevu se prodlouží). Vzhledem k připevnění topných rezistorů k tepelnému výměníku není relevantní uvádět maximální možné napájecí napětí (je zajištěn dostatečný odvod tepla). Maximální proudový odběr vychází z maximálního možného napájecího napětí spínaného zdroje 27 V ($I = \frac{27\text{ V}}{6\ \Omega}$, pozn.: jedná se o 4 sériově zapojené rezistory s odporem 1,5 Ω).

Všechny hodnoty E/P ventilů (2) vychází z katalogového listu výrobce (pozn.: pro 24 V variantu E/P ventilu definuje výrobce maximální proudový odběr 120 mA, 240 mA = dva ventily).

Minimální ani maximální napájecí napětí u kompresoru není uvedené, štítek definuje pouze jmenovité napájecí napětí 24 V a maximální proudový odběr 4,6 A. Dle provedených testů lze kompresor provozovat v celém intervalu, ve kterém lze regulovat napájecí napětí (tedy asi 21 V až 27 V).

Maximální proudový odběr řídicí jednotky (řídicí DPS) vychází z vlastní spotřeby řídicí jednotky a z komponent, které jsou řídicí jednotkou přímo napájeny. Jedná se o elektromagnetické ventily, ventilátory chladičů Peltierových článků a další drobné komponenty. Interval napájecího napětí vychází z katalogového listu (10) spínaného stabilizátoru LM2576HV-ADJ a jeho konfigurace, které nastavuje výstupní napětí na asi 12 V.

Pokud si shrneme informace, které uvádí Tabulka 1, interval, ve kterém můžeme regulovat napájecí napětí, se zúžil z asi 21 V až 27 V na 23,5 V až 26,4 V. Za důležité považuji také zjištění, že maximální proudový odběr všech komponent překračuje možnosti spínaného zdroje, tedy že příkon jednotlivých komponent je potřeba v průběhu regulace hlídat a regulaci tomu přizpůsobit.

5.2 Řídicí jednotka (PIC24FJ128GA010)

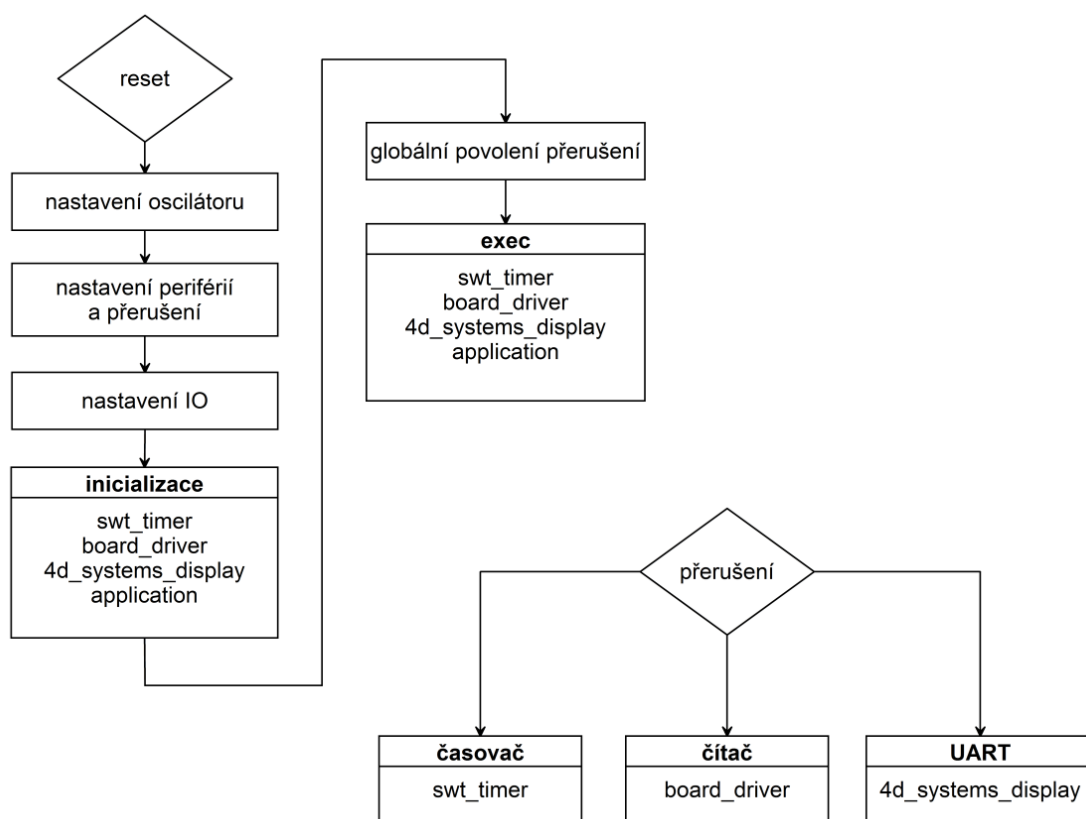
Řízení Domácí pasterizační jednotky NG je realizováno pomocí 16. bitového mikrokontroléru (MCU) PIC24FJ128GA010 od firmy Microchip (3). Mikrokontrolér byl vybrán především z důvodu dostatečného počtu vstupních a výstupních pinů a periférií za účelem minimalizování množství dalších externích integrovaných obvodů. Mikrokontrolér přímo zajišťuje digitální vstupy a výstupy, analogové vstupy, vstup pro čítání impulsů z průtokoměru a sériovou komunikaci s displejem μ LCD-32WPTU od firmy 4D Systems (6). Externími integrovanými obvody řízenými přes I²C linku z mikrokontroléru je realizovaná pouze EEPROM paměť a generování PWM,

resp. analogových výstupů. Mikrokontrolér využívá interního RC oscilátoru 8 MHz a PLL násobičky 4x (taktovací frekvence se pak rovná 32 MHz).

Po restartu mikrokontroléru dojde programově k nastavení oscilátoru na výslednou taktovací frekvenci 32 MHz, nastavení periférií a jejich přerušení (zapnuto/vypnuto a jejich priorita), nastavení vstupů a výstupů a inicializaci jednotlivých programových modulů.

Z důvodu bezpečnosti, pro případ zacyklení programu, obsahuje mikrokontrolér watch-dog timer (WDT) nastaven na asi 2 s. WDT v případě, že po nastavenou dobu nedojde ani jedenkrát k průchodu exec smyčkou (exec smyčka = hlavní programová smyčka událostí), restartuje mikrokontrolér.

V mikrokontroléru jsou využívány celkem pouze tři typy přerušení. Jedná se o přerušení od časovače, který vytváří pevnou časovou základnu 1 ms, o přerušení od externího vstupu čítajícího impulsy z průtokoměru, resp. o přerušení, ke kterému dojde ve chvíli, kdy se načítá určitý počet impulsů z průtokoměru, a o přerušení od sériové komunikace s displejem μ LCD-32WPTU (konkrétně se jedná o přerušení v důsledku odeslání bajtu, přijetí bajtu a o přerušení vyvolané v důsledku HW chyby komunikace).



Obrázek 52 - blokové schéma běhu programu

Časování různých operací zajišťuje modul „swt_timer“ s pevnou časovou základnou 1 ms (časová základna = rozlišení časování). Modul poskytuje ostatním programovým modulům možnost nastavit si callback funkce, které se mají s určitou nastavenou periodou vykonávat. Vykonávání nastavené callback funkce lze následně programově zapnout, vypnout, či změnit periodu, s jakou se má callback funkce vykonávat.

Rozhraní pro čtení vstupů a řízení výstupů a periférií mikrokontroléru i externích periférií poskytuje modul „board_driver“, který nabízí:

- získání měřeného tlaku (rozlišení 0,001 baru):
 - externího tlakového senzoru,
 - E/P ventil vstupního rezervoáru,
 - E/P ventil vstupního dávkovače,
- získání měřené teploty (rozlišení 0,1 °C):
 - „teplého“ tepelného výměníku:
 - na vstupu,
 - na výstupu,
 - „studeného“ tepelného výměníku:
 - na vstupu,
 - na výstupu,
- získání měřeného napětí (rozlišení 0,001 V):
 - napájecího,
 - kontrolního stabilizovaného,
 - výstupu pro regulaci napájecího zdroje,
 - výstupu pro regulaci E/P ventilu vstupního rezervoáru,
 - výstupu pro regulaci E/P ventilu vstupního dávkovače,
- získání měřeného proudu (rozlišení 0,001 A):
 - protékajícího Peltierovými články,
 - protékajícího topnými rezistory,
 - protékajícího kompresorem,
- získání stavu průtokoměru (rozlišení 0,1 ml),
- získání dat EEPROM,
- nastavení napětí:
 - výstupu pro regulaci napájecího zdroje,
 - výstupu pro regulaci E/P ventilu vstupního rezervoáru,
 - výstupu pro regulaci E/P ventilu vstupního dávkovače,

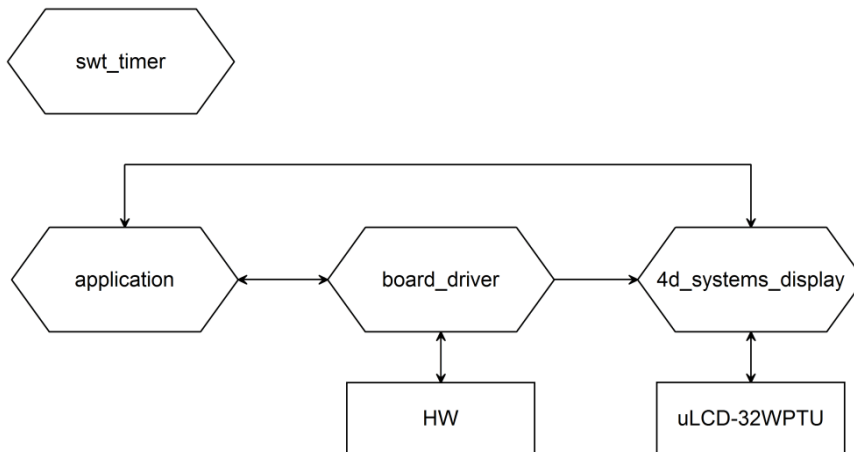
- nastavení stavu výstupu:
 - elektromagnetického ventilu:
 - před vstupním dávkovačem,
 - před „teplým“ tepelným výměníkem,
 - před „studeným“ tepelným výměníkem,
 - před výstupním rezervoárem,
 - výstupního (odpouštěcího),
 - ventilátoru,
 - relé,
 - výkonového:
 - spínání Peltierových článků,
 - spínání topných rezistorů,
 - spínání kompresoru,
- nastavení dat EEPROM.

Modul „4d_systems_display“ zajišťuje komunikaci s displejem μ LCD-32WPTU na úrovni odesílaných a přijímaných paketů (o interpretaci paketů se starají vyšší programové vrstvy). Odesílané i přijímané pakety jsou v modulu bufferovány systémem FIFO. Modul tedy vytváří vrstvu mezi displejem a aplikační vrstvou programu. Odesílané i přijímané pakety mohou mít různé velikosti, uvažujeme-li ovšem průměrnou velikost, odesílací i přijímací buffer pojme až 64 paketů. To dává, při nastavené komunikační rychlosti 9600 bitů/s, aplikační vrstvě programu až 500 ms na reakci beze ztráty dat přijatých z displeje.

Řízení GUI i samotného procesu pasterizace má na starosti aplikační vrstva, modul „application“. Aplikační vrstva provádí následující úkoly:

- zobrazuje aktuální stav na displeji,
- spouští akustickou signalizaci definovaných událostí,
- přijímá vstupy z displeje (stisk tlačítek) a interpretuje je (provádí akce na základě vstupu),
- řídí proces pasterizace.

Blokové schéma závislostí jednotlivých programových modulů ukazuje Obrázek 53:



Obrázek 53 - blokové schéma programových modulů

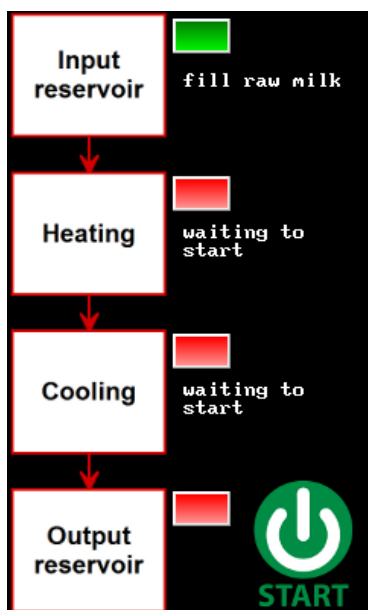
5.3 Displej (PICASO)

Při výběru displeje bylo dbáno především na jednoduchost jeho implementace a co nejjednodušší obsluhu touch panelu (TP). Z důvodu těchto požadavků byl vybrán „inteligentní“ displej od firmy 4D Systems s řídicím obvodem PICASO. Jedná se o displej, resp. modul, který lze plně řídit přes sériovou linku. Prostředí dodávané společně s displejem nabízí několik možností jeho programování (od řešení, kdy si vše lze naprogramovat, až po řešení, ve kterém se lze programování úplně vyhnout). Vzhledem k nenáročnosti požadavků Domácí pasterizační jednotky NG na GUI bylo zvoleno řešení, při kterém se kompletní grafické uspořádání i jeho funkčnost definuje graficky v prostředí dodávaném společně s displejem.

V tomto režimu si vytvoříme grafický návrh zobrazovaných obrazovek a definujeme, jak se mají grafické komponenty chovat. Veškeré řízení probíhá přes sériovou linku (signalizace stisku tlačítek, nastavování stavu grafických komponent ...).

GUI Domácí pasterizační jednotky NG obsahuje celkem dvě obrazovky. Uživatelskou obrazovku, přes kterou lze za pomoci pouze jednoho tlačítka (uživatelsky nenáročná) řídit proces pasterizace a na které jsou zobrazeny základní informace o procesu pasterizace a servisní obrazovku, která umožňuje přímé řízení a sledování stavu HW.

Rozložení uživatelské obrazovky ukazuje Obrázek 54:



Obrázek 54 – rozložení uživatelské obrazovky




Uživatelská obrazovka obsahuje grafické znázornění průběhu procesu pasterizace (obrázek umístěný v návrhu nalevo). Každý bod v grafickém znázornění je doplněn o signalizační prvek jeho stavu, který může nabývat celkem tří hodnot (červený, zelený a blikající) a textovou informací (vyjma posledního bodu, tedy výstupního rezervoáru). Tyto informace jsou návodné a měly by být obsluze přístroje nápomocné tak, že i bez znalosti jeho podrobné funkce, by měly vést k úspěšné pasterizaci mléka. Multifunkční (jeho funkce se v čase mění) tlačítko umístěné v návrhu vpravo dole je určeno pro spuštění a ukončení procesu pasterizace.

Tabulka 2 shrnuje všechny možné stavy signalizačních prvků, textových informací i multifunkčního tlačítka během celého procesu pasterizace. V prvním sloupci jsou uvedeny body grafického znázornění procesu pasterizace a v prvním řádku pak stavy Domácí pasterizační jednotky NG.

Možné stavy:

- „Plnění syrového mléka“ = přístroj je připraven k pasterizaci mléka, čeká na naplnění vstupního rezervoáru syrovým mlékem a spuštění procesu pasterizace.
- „Čekání na ohřev“ = proces pasterizace je spuštěn, čeká se na stabilizaci teploty „teplého“ tepelného výměníku.

- „Čekání na chlazení“ = proces pasterizace je spuštěn, čeká se na stabilizaci teploty „studeného“ tepelného výměníku.
- „Pasterizace probíhá“ = proces pasterizace je spuštěn, všechny sledované hodnoty jsou v tolerancích, pasterizace mléka právě probíhá.
- „Pasterizace dokončena“ = proces pasterizace je spuštěn, všechno syrové mléko ze vstupního rezervoáru již bylo pasterizováno, čeká se na vyprázdnění výstupního rezervoáru a ukončení procesu pasterizace.

	Plnění syrového mléka		Čekání na ohřev		Čekání na chlazení		Pasterizace probíhá		Pasterizace dokončena	
	text	indikace	text	indikace	text	indikace	text	indikace	text	indikace
Start/Stop tlačítko										
Vstupní rezervoár	1	 zeleně svítí	4/5	 bliká	4/5	 bliká	4/5	 bliká	6	 červeně svítí
Ohřev	2	 červeně svítí	3	 bliká	?	?	4/5	 zeleně svítí	7	 červeně svítí
Chlazení	2	 červeně svítí	?	?	3	 bliká	4/5	 zeleně svítí	7	 červeně svítí
Výstupní rezervoár	-	 červeně svítí	-	 bliká	-	 bliká	-	 bliká	-	 zeleně svítí

Tabulka 2 – stavy signalizačních prvků uživatelské obrazovky

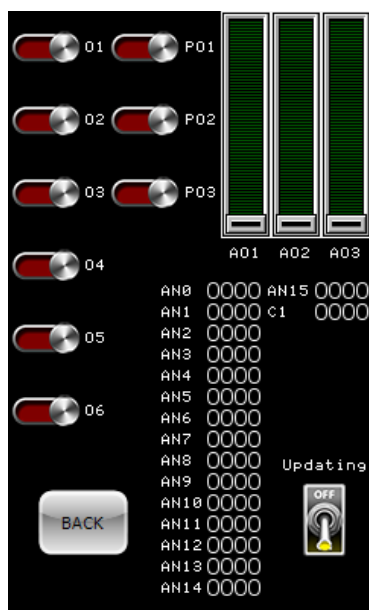
Texty, na které se odkazuje pomocí referencí Tabulka 2, uvádí Tabulka 3 (včetně podrobnějšího popisu jejich významu).

	Zobrazovaný text	Význam
1	„fill raw milk“	Vstupní zásobník je možné naplnit syrovým mlékem.
2	„waiting to start“	Čeká se na stisknutí tlačítka START.
3	„stabilizing the temperature“	Čeká se stabilizací teploty tepelného výměníku.
4	„in progress“	Značí, že cyklus pasterizace mléka je zrovna v daném bodě.
5	„waiting“	Značí, že cyklus pasterizace mléka zrovna není v daném bodě.
6	„done“	Pasterizace mléka dokončena, je možné vyprázdnit výstupní rezervoár.
7	„waiting to stop“	Čeká se na stisknutí tlačítka STOP.

Tabulka 3 – význam stavů signalizačních prvků uživatelské obrazovky












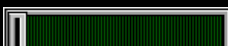
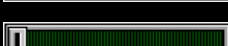
Druhou, pro uživatele nedůležitou obrazovkou, jak již bylo zmiňováno, je obrazovka servisní. Servisní obrazovka nabízí veškeré informace o stavu HW i možnost HW kompletně manuálně řídit. Režim obrazovky (sledování/nastavení) lze vybrat pomocí tlačítka umístěného vpravo dole (viz obrázek s rozložením servisní obrazovky). V režimu „Updating On“ nabízí obrazovka pouze informace o HW, kdežto v režimu „Updating Off“ lze přes obrazovku HW i kompletně řídit.

Rozložení servisní obrazovky ukazuje Obrázek 55:



Obrázek 55 – rozložení servisní obrazovky

Podrobný význam všech zobrazovaných informací i popis signalizačních prvků shrnuje Tabulka 4.

Symbol	Identifikace	Popis
	Updating	V případě, že je přepínač v poloze ON, jsou všechny hodnoty automaticky načítány a zobrazovány. V případě, že je přepínač v poloze OFF, lze hodnoty manuálně měnit .
	O1	Elektromagnetický ventil před vstupním dávkovačem
	O2	Elektromagnetický ventil před „teplým“ tepelným výměníkem
	O3	Elektromagnetický ventil před „studeným“ tepelným výměníkem
	O4	Elektromagnetický ventil před výstupním rezervoárem
	O5	Výstupní (odpouštěcí) elektromagnetický ventil
	O6	Ventilátory
	PO1	Peltierovy články
	PO2	Topné rezistory
	PO3	Kompresor
	AO1	Nastavení napětí napájecího zdroje
	AO2	Nastavení požadovaného tlaku E/P ventilu vstupního rezervoáru
	AO3	Nastavení požadovaného tlaku E/P ventilu vstupního dávkovače
0000	AN0	Napětí výstupu pro regulaci napájecího zdroje [mV]
0000	AN1	Napětí výstupu pro regulaci E/P ventilu vstupního rezervoáru [mV]
0000	AN2	Napětí výstupu pro regulaci E/P ventilu vstupního dávkovače [mV]
0000	AN3	Proud procházející Peltierovými články [10 mA]
0000	AN4	Proud procházející topnými rezistory [10 mA]
0000	AN5	Proud procházející kompresorem [10 mA]
0000	AN6	Tlak měřený E/P ventilem vstupního rezervoáru [mBar]
0000	AN7	Tlak měřený E/P ventilem vstupního dávkovače [mBar]
0000	AN8	Teplota na vstupu „teplého“ tepelného výměníku [0,1 °C]
0000	AN9	Teplota na výstupu „teplého“ tepelného výměníku [0,1 °C]
0000	AN10	Teplota na vstupu „studeného“ tepelného výměníku [0,1 °C]
0000	AN11	Teplota na výstupu „studeného“ tepelného výměníku [0,1 °C]
0000	AN12	Tlak měřený externím tlakovým senzorem [mBar]
0000	AN13	Vstupní napájecí napětí [10 mV]
0000	AN14	Kontrolní stabilizované napětí [mV]
0000	AN15	-
0000	C1	Stav průtokoměru [0,1 ml]

Tabulka 4 – význam jednotlivých prvků servisní obrazovky

6 Ekonomický pohled

6.1 Cena komponent

Komponenta	Počet	Ceny prototypu	Celková cena prototypu	Cena v sériové výrobě (odhad)	Celková cena v sériové výrobě (odhad)
Tepelné výměníky	1 sada	1 787,- CZK (pouze materiál)	1 787,- CZK (pouze materiál)	2 500,- CZK	2 500,- CZK
Vstupní dávkovač	1				
Peltierův článek	2	US \$ 11,- (266,- CZK)	US \$ 22,- (533,- CZK)	US \$ 11,- (266,- CZK)	US \$ 22,- (533,- CZK)
Chladič (LGA775)	2	US \$ 11,- (266,- CZK)	US \$ 22,- (533,- CZK)	US \$ 11,- (266,- CZK)	US \$ 22,- (533,- CZK)
Rezervoár pro obecné použití	3	28,- EUR (773,- CZK)	84,- EUR (2 319,- CZK)	28,- EUR (773,- CZK)	84,- EUR (2 319,- CZK)
Díly mechanické konstrukce	1 sada	1 500,- CZK	1 500,- CZK	500,- CZK	500,- CZK
4D Systems display	1	Vzorek (nebo vyřazený, ale použitelný kus)	Vzorek (nebo vyřazený, ale použitelný kus)	US \$ 79,- (1 915,- CZK)	US \$ 79,- (1 915,- CZK)
Součástky Farnell	1 sada	3 091,- CZK	3 091,- CZK	2 000,- CZK	2 000,- CZK
DPS (celkem 5 kusů)	1	1 200,- CZK	1 200,- CZK	500,- CZK	500,- CZK
Spínaný napájecí zdroj	1	US \$ 65,- (1 576,- CZK)	US \$ 65,- (1 576,- CZK)	US \$ 65,- (1 576,- CZK)	US \$ 65,- (1 576,- CZK)
E/P ventil	2	Vzorek (nebo vyřazený, ale použitelný kus)	Vzorek (nebo vyřazený, ale použitelný kus)	US \$ 100,- (2 424,- CZK)	US \$ 200,- (4 848,- CZK)
Kompresor	1	Vzorek (nebo vyřazený, ale použitelný kus)	Vzorek (nebo vyřazený, ale použitelný kus)	US \$ 50,- (1 212,- CZK)	US \$ 50,- (1 212,- CZK)
Průtokoměr	1	739,- CZK	739,- CZK	739,- CZK	739,- CZK
Elektromagnetický ventil	4	105,- CZK	420,- CZK	105,- CZK	420,- CZK
Ostatní komponenty	-	2 500,- CZK	2 500,- CZK	1 000,- CZK	1 000,- CZK
Celkem	-	-	16 198,- CZK	-	20 595,- CZK

Tabulka 5 – přehled cen jednotlivých komponent

Mezi ostatní komponenty patří:

- rychlospojky (tzv. fitinky),
- mechanické ventily,
- hadičky,
- těsnění (plošné a tzv. „o-kroužky“),
- šroubky, matičky, podložky ...,
- kabeláž,
- ostatní spojový materiál.

Odhadovaná celková cena materiálu při sériové výrobě se může zdát příliš vysoká. Nicméně při porovnání ceny podobného zařízení (z pohledu náročnosti konstrukce), plnoautomatického kávovaru, s prodejní cenou od asi 20 tisíc CZK, dojdeme k závěru, že s prodejní cenou Domácí pasterizační jednotky NG asi 30 tisíc CZK může být její prodej reálný.

V rámci výroby prototypu bylo použito několik komponent (4D Systems display, E/P ventily a kompresor), které nebylo nutné kupovat. Jednalo se buď o vzorky, nebo vyřazené, ale přesto použitelné kusy. Náklady se také výrazně snížily tím, že prototypy (kusová výroba) tepelných výměníků a vstupního dávkovače nebyla realizována externí firmou, jejíž odhad ceny výroby prototypu byl asi 6 000,- CZK, ale svépomocí.

Snížení nákladů při sériové výrobě spočívá hlavně ve snížení nákladů na výrobu mechanických dílů (tepelné výměníky, vstupní dávkovač a konstrukce), výrobu DPS a snížení celkové ceny elektronických součástek. Cena mechanických dílů a DPS se skládá především z ceny přípravy dat pro výrobu, z ceny vlastní výroby a z ceny materiálu. Při prototypové výrobě je cena přípravy dat v rámci celkové ceny výrobku nejvyšší, kdežto při sériové výrobě nejnižší (příprava dat pro výrobu se musí udělat vždy, ať už se jedná o výrobu jednoho kusu, nebo např. tisíce kusů). Při objednávání elektronických součástek pro výrobu prototypu bylo nutné u některých součástek objednat více kusů, nežli bylo vyžadováno. Některé součástky totiž nelze objednat v jednotkovém množství. Z toho důvodu odhaduji, že by se celková cena součástek při sériové výrobě mohla snížit, mimo množstevních slev, právě rozpočtením celkové ceny součástek do více kusů Domácích pasterizačních jednotek NG (u prototypu došlo k započítání ceny i nevyužitých součástek).

6.2 Možní dodavatelé komponent

Komponenta	Výrobce/Dodavatel	Lze objednat z
Tepelné výměníky	Kovoobrábění Pokorný	www.kovoobrabeni-pokorny.webmium.com
Vstupní dávkovač		
Peltierův článek	HB Brand Electronic Components	www.aliexpress.com
Chladič (LGA775)	Pc Cooler	www.aliexpress.com
Rezervoár pro obecné použití	WilTec Wildanger Technik GmbH	www.wiltec.info
Díly mechanické konstrukce	Melatar s.r.o.	www.melatar.cz
4D Systems display	4D Systems Pty Ltd	www.4dsystems.com
Součástky Farnell	-	www.farnell.com
DPS	PragoBoard	www.pragoboard.com
Spínaný napájecí zdroj	Yueqing Weihao Electronic Co., Ltd.	www.aliexpress.com
E/P ventil	SMC Corporation	www.smc-pneumatics.com
Kompresor	KNF	www.knf.com
Průtokoměr	B.I.O-TECH e.K.	www.conrad.cz
Elektromagnetický ventil	Lee Company	www.theleeco.com

Tabulka 6 – přehled možných dodavatelů komponent

7 Závěr

Proti práci „Domácí pasterizační jednotka“ (1) byly jednotlivé komponenty v rámci této práce navrhovány již méně univerzálně a především s ohledem na získané zkušenosti. Z toho důvodu bylo dosaženo lepšího výsledku v mechanické, elektronické i programové části a především i správné funkce (dodržení procesu pasterizace syrového mléka metodou HTST) celého přístroje.

Všechny mechanické díly (mimo vstupního a výstupního rezervoáru a vzdušníku), tedy různé nosníky i vlastní tepelné výměníky byly navrženy pro konkrétní aplikaci (v původní práci se využívalo běžně dostupných dílů a výsledek nebyl optimální), což má za následek snížení velikosti i hmotnosti přístroje. Důležitou změnou bylo také odstranění všech tekutin v podpůrných systémech. Namísto vodního okruhu pro odvádění tepla z Peltierova článku byly použity dva chladiče pro procesory s patičí LGA775 a tekutina v tepelných výměnících, jakožto médium pro tepelnou výměnu, byla úplně odstraněna (mléko protéká přímo meandrem v tepelných výměnících). Tekutina v tepelných výměnících v původním návrhu dělala největší problémy, s přístrojem se nelehko manipulovalo a docházelo i k jejímu úniku.

V rámci elektroniky došlo k odstranění nadbytečných periférií, a tím i k výraznému snížení velikosti řídicí DPS. Došlo také k výměně původního monochromatického grafického displeje a tlačítek za barevný grafický displej s dotykovým (touch) panelem. Tím se snížila náročnost ovládání. Na řídicí DPS byly přesunuty výkonové spínací prvky, které v původním návrhu byly mimo řídicí DPS. Mimo tyto hlavní změny došlo k mnoho dalším menším vylepšením, jako je použití spínaných stabilizátorů namísto lineárních, oddělení napájecích větví filtry nebo vylepšení zpracování signálů z teplotních čidel.

Všechna teplotní čidla i tlakový senzor jsou osazeny v samostatných DPS. To umožňuje především teplotní čidla lépe připevnit k měřenému objektu, a tím zvýšit i přesnost měření.

Také napájecí část byla výrazně vylepšena. Napájení všech komponent bylo sjednoceno na 24 V, a tím bylo možné použít pouze jeden spínaný zdroj (původně určený pro napájení LED osvětlení). Použitím pouze jednoho napájecí zdroje a hlavně odstraněním všech transformátorů došlo k dalšímu snížení celkové váhy přístroje.

Ovládání přístroje je rozděleno na dvě základní obrazovky. Obrazovku uživatelskou, která obsahuje pouze jedno tlačítko „start/stop“ a několik indikačních a textových polí

informujících o aktuální stavu, a obrazovku servisní, resp. vývojovou, která není při běžném používání vůbec dostupná. Mimo jiné právě jednoduchost ovládání přístroje, které se omezilo pouze na stisknutí „start/stop“ tlačítka, dělá z přístroje přístroj, který je určen pro domácí použití.

Všechny regulace, tedy regulace teploty tepelných výměníků, regulace napětí napájecího zdroje, tlaková regulace i samotné řízení procesu pasterizace, pracují dle předpokladů.

Ověření vlastní funkce procesu pasterizace syrového mléka proběhlo nepřímo sledováním procesu pasterizace a zaznamenáváním teplot a časů a následným vyhodnocením s tím výsledkem, že nebylo pozorováno nic, co je v rozporu s definicí pasterizace syrového mléka metodou HTST.

Následným krokem by měla být kontrola procesu pasterizace pomocí fosfatázového testu, tedy testu, při kterém se měří zbytkové množství alkalické fosfatázy v pasterizovaném mléce.

Dosažené výsledky shrnuje Tabulka 7.

	Domácí pasterizační jednotka	Domácí pasterizační jednotka NG	Závěr
Použitý způsob pasterizace mléka metodou HTST	Kontinuální pasterizace v celém objemu najednou	Pasterizace po dávkách	Pasterizace po dávkách umožňuje lépe dodržet proces pasterizace mléka metodou HTST → zlepšení
Konstrukce tepelných výměníků	Sestaveno z běžně dostupných dílů (médium pro předání tepla = kapalina)	Navrženo pro konkrétní aplikaci a na zakázku vyrobeno (médium pro předání tepla = samotný tepelný výměník)	Efektivnější předání tepla, zabránění proniknutí média pro předání tepla do pasterizované látky → zlepšení
Výkon tepelných výměníků	Nedostatečný vzhledem k použitému způsobu pasterizace mléka	Výkon pro ohřev i chlazení dopředu spočítán a nastaven dle zvoleného způsobu pasterizace mléka	Výkon ohřevu i chlazení je optimální pro vybranou metodu pasterizace mléka → zlepšení
Celkový mechanický koncept (kde je co umístěno apod.)	Neexistoval	Dopředu navržen a simulován	Snížení celkové velikosti přístroje a snížení nároků na sestavení zařízení → zlepšení
Propojení jednotlivých mechanických komponent	Spočívalo v improvizovaném řešení	Dopředu promyšleno	Zvýšení těsnosti systému a snížení nároků na sestavení zařízení → zlepšení
Celková velikost a váha přístroje	Hmotnost > 20 kg a velikost asi 40 x 60 x 30 cm (objem 72 litrů)	Hmotnost < 10 kg a velikost asi 30 x 55 x 25 cm (objem 42 litrů)	Snížení celkové váhy i velikosti přístroje → zlepšení
Výkonové spínací prvky	Umístěné mimo řídicí DPS	Umístěné na řídicí DPS	Snížení počtu propojovacích vodičů → zlepšení
Vyhodnocování signálů z teplotních čidel	Odporový napěťový dělič	Wheatstonův můstek a zesílení signálu pomocí napěťového diferenčního zesilovače	Zvýšení přesnosti měření teploty → zlepšení
Napájecí zdroj	Mnoho dílčích spínaných zdrojů i zdrojů s transformátorem	Jeden společný 500 W spínaný napájecí zdroj umístěný přímo v zařízení	Snížení váhy a ceny a zvýšení mobility zařízení → zlepšení

Tabulka 7 – shrnutí dosažených výsledků

8 Použitá literatura

Použitá citační norma ČSN ISO 690:2011.

1. **Kubín.** *Bakalářská práce, Domácí pasterizační jednotka.* Praha : ČVUT FEL, 2013.
2. **SMC.** *Electro-Pneumatic Regulator.* [Datasheet]
3. **Microchip.** *PIC24FJ128GA010 FAMILY.* [Datasheet] 2012.
4. **Atmel.** *2-Wire Serial EEPROM, AT24C32, AT24C64.* [Datasheet] 2003.
5. **NXP.** *PCA9685.* [Datasheet] 2010.
6. **4DSYSTEMS.** *3.2" Wide micro LCD PICASO Display μ LCD-32WPTU.* [Datasheet] 2014.
7. **Leinveber, Řasa, Vávra.** *Strojnické tabulky, Upravené a rozšířené vydání.* Praha : Scientia, spol. s r.o., pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
8. **Intel.** *LGA775 Socket, Mechanical Design Guide.* [Datasheet] 2006. 302666-003.
9. Oil Catch Tank Breather Oil Collector Type II Oil Reservoir Catch Can. *WilTec Wildanger Technik GmbH.* [Online] [Citace: 25. Březen 2015.] <http://www.wiltec.de/oil-catch-tank-type-ii.html>.
10. **TexasInstruments.** *LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER 3A Step-Down Voltage Regulator.* [Datasheet] 1999.
11. —. *LM2574/LM2574HV SIMPLE SWITCHER 0.5A Step-Down Voltage Regulator.* [Datasheet] 1999.
12. **FairchildSemiconductor.** *TL431/TL431A Programmable Shunt Regulator.* [Datasheet] 2011.
13. **Thermocouple.** *PT100 Resistance Table.* [Datasheet] 1999.
14. **TexasInstruments.** *LM124-N/LM224-N/LM324-N/LM2902-N Low Power Quad Operational Amplifiers.* [Datasheet] 2004.
15. **Fujikura.** *XFPM, XFHM Data sheet.* [Datasheet]
16. **Mulview.** *500W single output switching power supply.* [Datasheet]

17. **SDC.** *Voltage Mode PWM Controller SDC7500.* [Datasheet] 2010.
18. **TexasInstruments.** *TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits.* [Datasheet] 2015.
19. **Vishay.** *IRLL014, SiHLL014 Power MOSFET.* [Datasheet] 2014.
20. **FairchildSemiconductor.** *IRFZ44 Advanced Power MOSFET.* [Datasheet] 1999.
21. **BioTech.** *Serie: FCH-m-PP-LC.* [Datasheet] 2012.
22. **Hebei.** *TEC1-12715 Datasheet.* [Datasheet]
23. **VŠCHT.** *Spojité regulátory.* [Prezentace] Praha : Ústav počítačové a řídicí techniky, 2007.

9 Přílohy

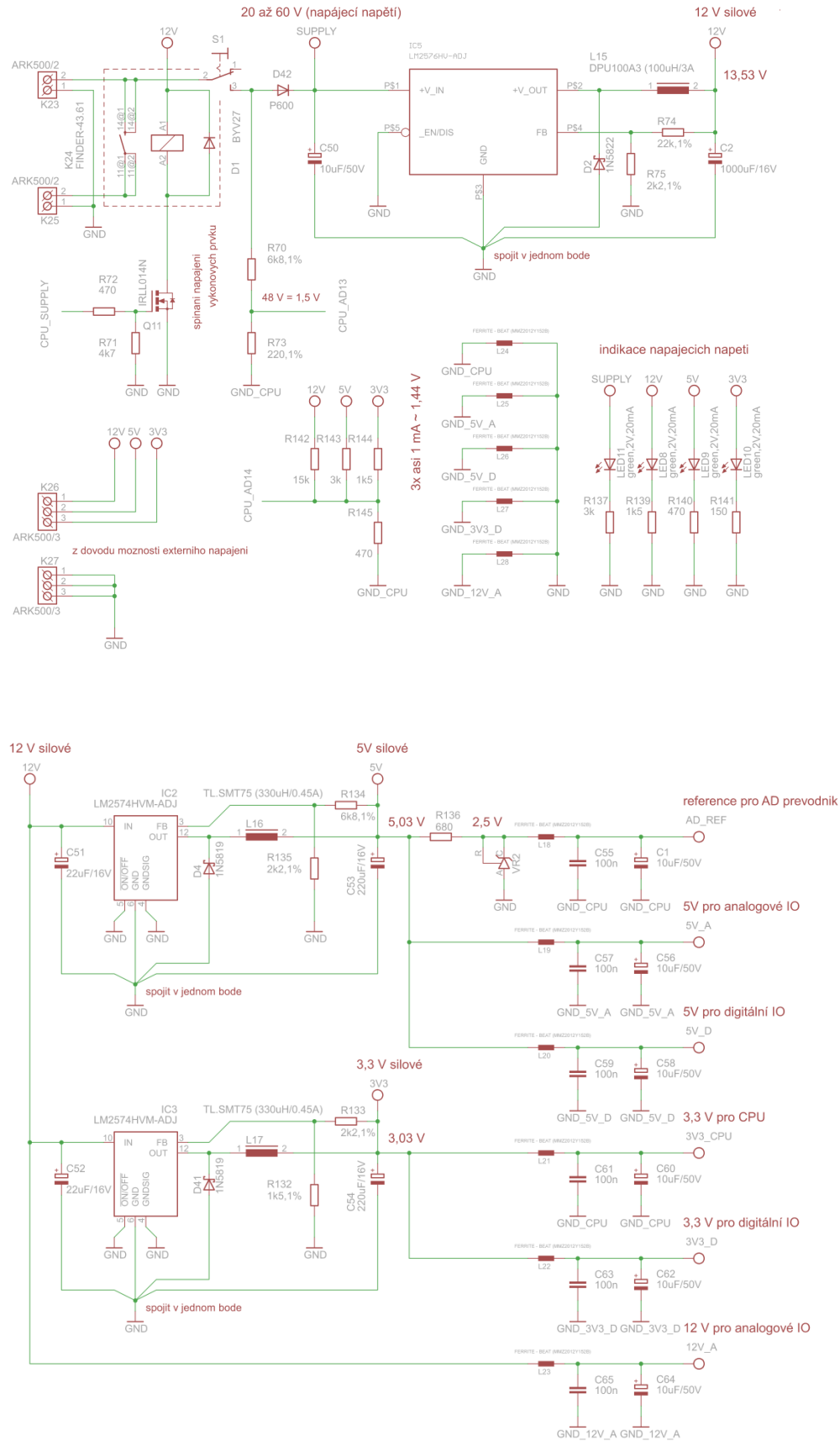
9.1 Seznam součástek

popis	hodnota	pouzdro	počet
SMD rezistor	10R	1206	30
SMD rezistor	22R	1206	5
SMD rezistor	150R	1206	3
SMD rezistor	220R,1%	1206	9
SMD rezistor	470R,1%	1206	15
SMD rezistor	680R,1%	1206	20
SMD rezistor	1K,1%	1206	30
SMD rezistor	1K5,1%	1206	11
SMD rezistor	2K2,1%	1206	25
SMD rezistor	3K	1206	5
SMD rezistor	4K7,1%	1206	25
SMD rezistor	6K8,1%	1206	5
SMD rezistor	10K,1%	1206	13
SMD rezistor	15K	1206	3
SMD rezistor	22K,1%	1206	3
SMD rezistor	100K	1206	5
rezistor (bočník)	0R01,5W,5%		3
topný rezistor	RESISTOR, 25W 5% 1R5		4
SMS elektrolytický kondenzátor	22uF/16V		5
SMS elektrolytický kondenzátor	220uF/16V		3
SMS elektrolytický kondenzátor	1000uF/16V		2
SMD keramický kondenzátor	100nF	1206	35
SMD keramický kondenzátor	1nF	1206	3
SMD keramický kondenzátor	1uF	1206	7
SMD keramický kondenzátor	10uF/50V	1206	8
dioda	1N4148		8
dioda	1N5819		3
dioda	1N5822		2
dioda	BYV27		9
dioda	BAT54S		40
dioda	P600		5
cívka	DPU100A3 (100uH/3A)		1
	FERRITE - BEAT		
cívka	(MMZ2012Y152B)		15
cívka	TL.SMT75 (330uH/0.45A)		3
2 polohy, přepínač	320-916		2
konektor, 5 pinů, zahnutý	1X05/90		2
konektor, 4 piny, zahnutý	1X04/90		2
konektor	ARK500/2		6
konektor	ARK500/3		3
konektor	ARK550/2		13

konektor	ARK550/3	4
relé	FINDER-43.61	1
EEPROM paměť	24C32ASM	2
hradla	74ACT08D	2
BJT tranzistor	BC848	6
BJT tranzistor	MPSA92	6
MOSFET tranzistor	IRFZ44	4
MOSFET tranzistor	IRLL014N	8
LED zelená	green,2V,20mA	9
spínaný stabilizátor	LM2574HVM-ADJ	2
spínaný stabilizátor	LM2576HV-ADJ	1
napěťová reference	TL1431IZ	2
operační zesilovač	LM324D	4
obvod pro externí generování		
PWM	PCA9685PW	1
PIC mikrokontrolér	PIC24FJ128GA010	1
kabeláž	9WAY, PER M	4
chladiče	HEAT SINK,TO-220,25.9C/W	3

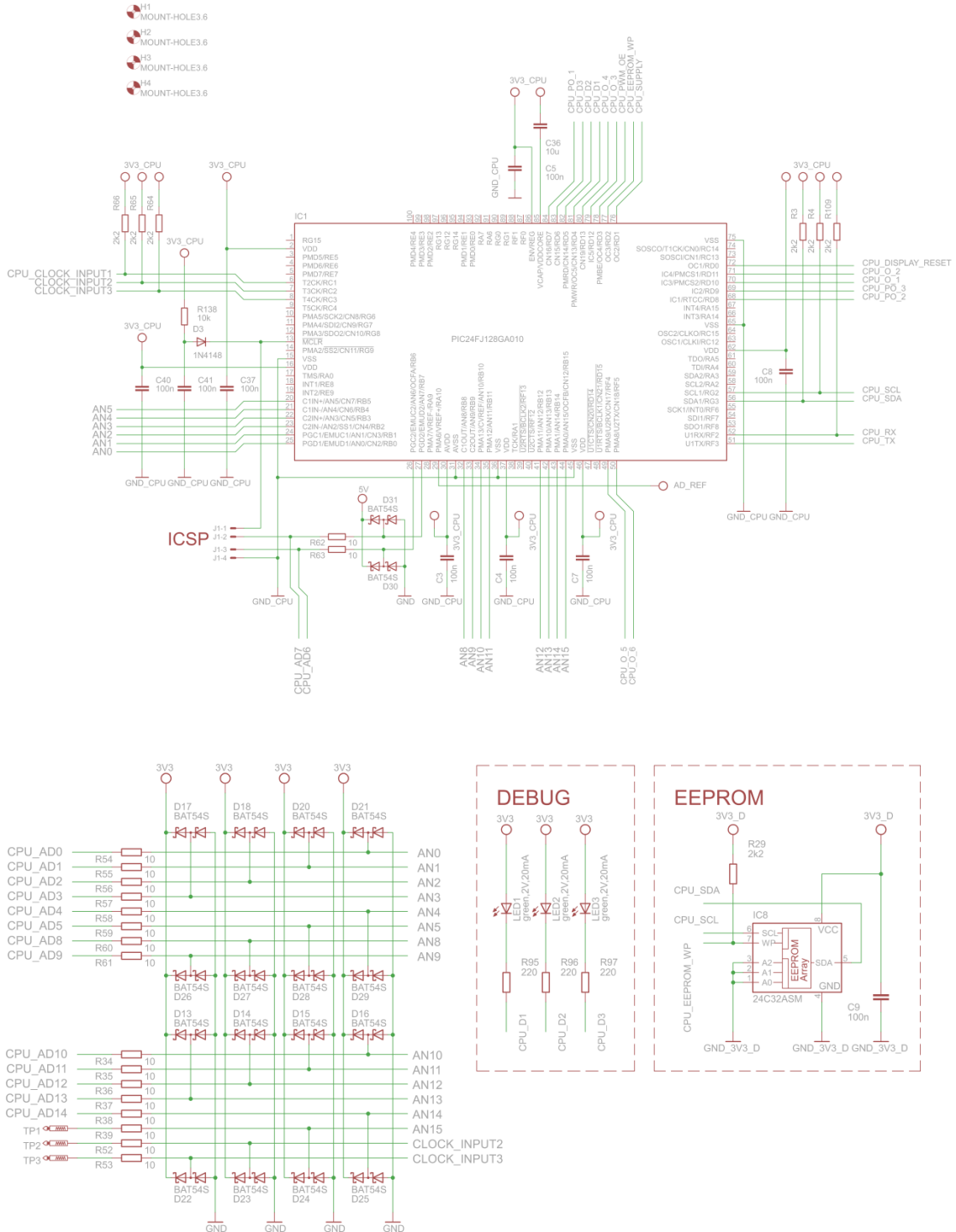
Tabulka 8 – seznam součástek

9.2 Schéma napájecí části



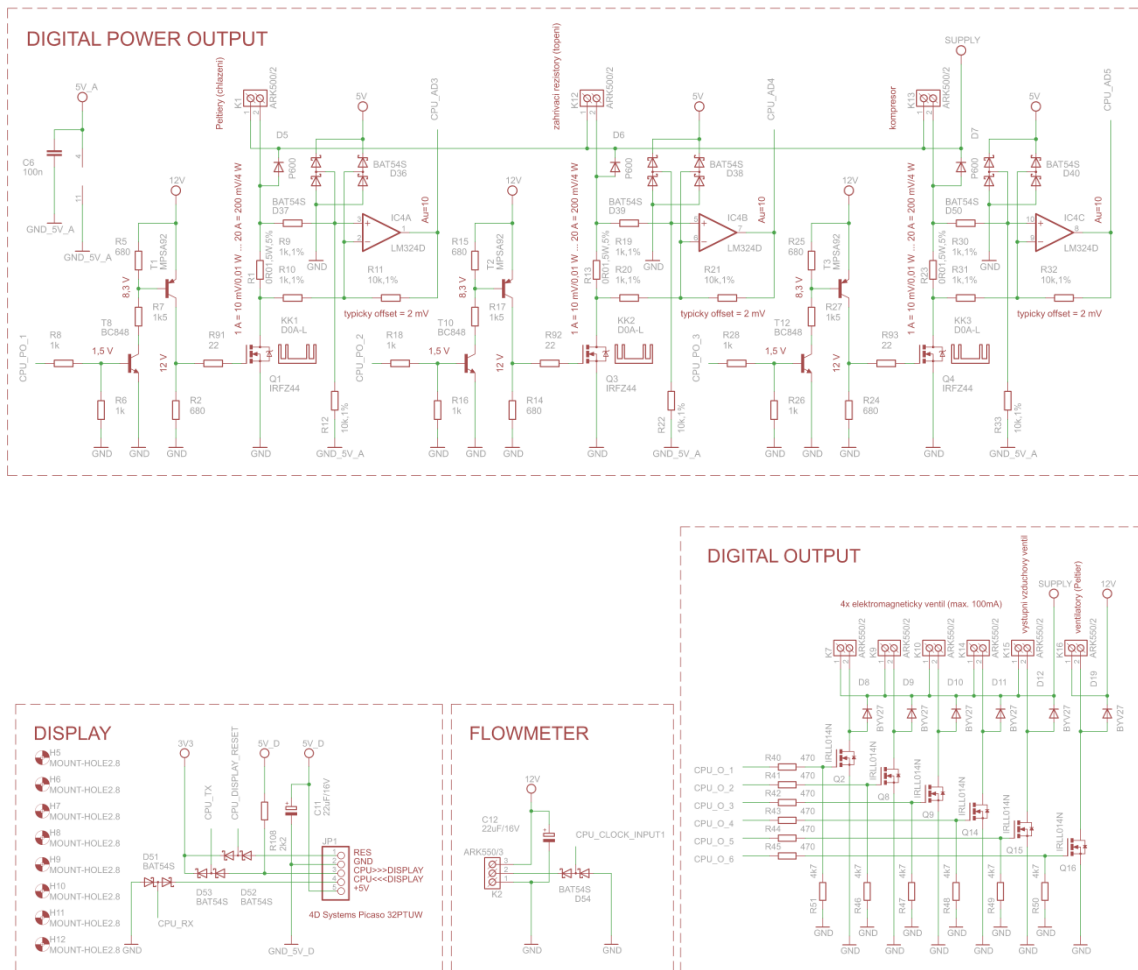
Obrázek 56 – schéma – napájecí část

9.3 Schéma části s mikrokontrolérem



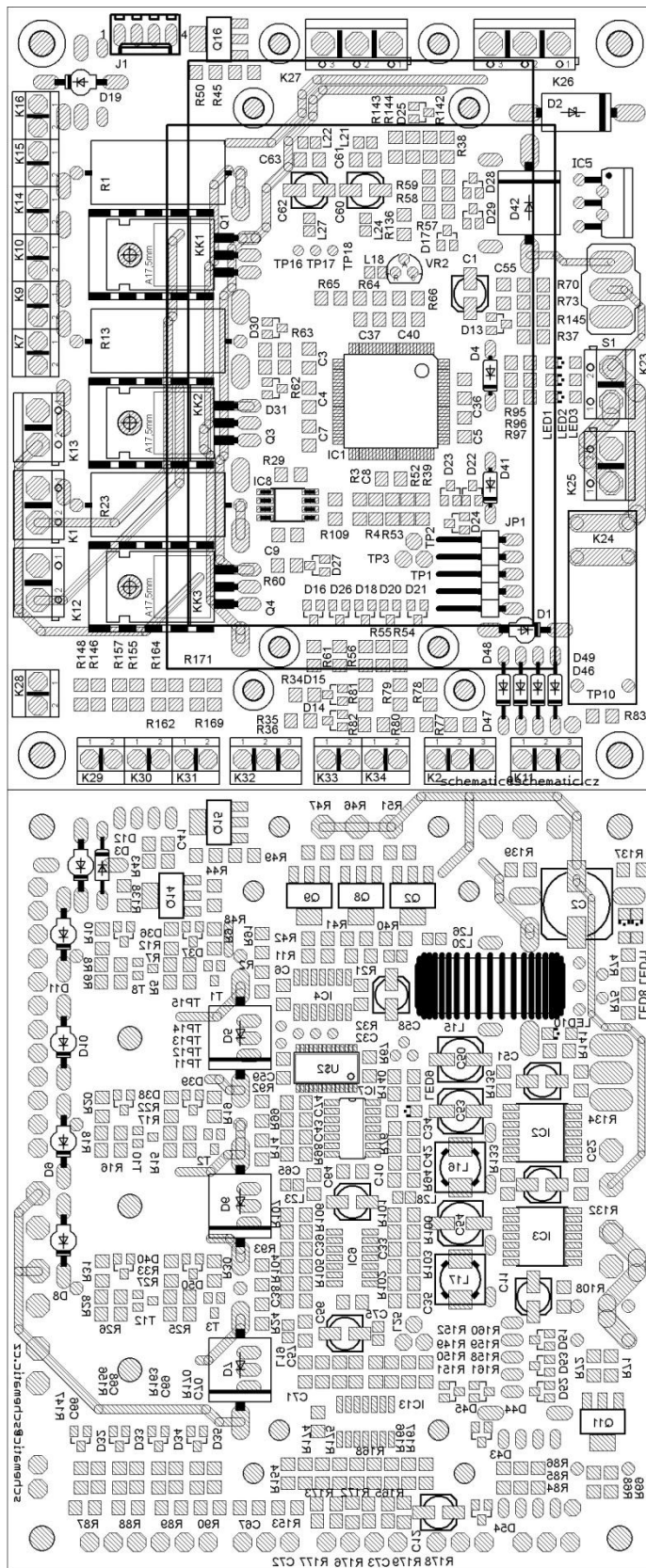
Obrázek 57 – schéma – část s mikrokontrolérem

9.5 Schéma digitální části



Obrázek 59 – schéma – digitální část

9.6 Řídicí DPS



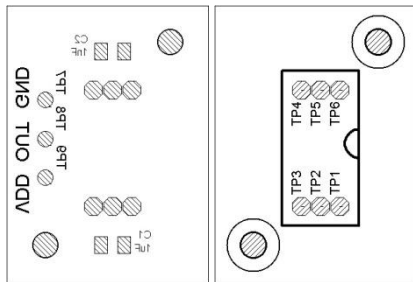
Obrázek 60 – řídicí DPS – osazovací předpis

9.7 DPS pro teplotní čidlo PT100



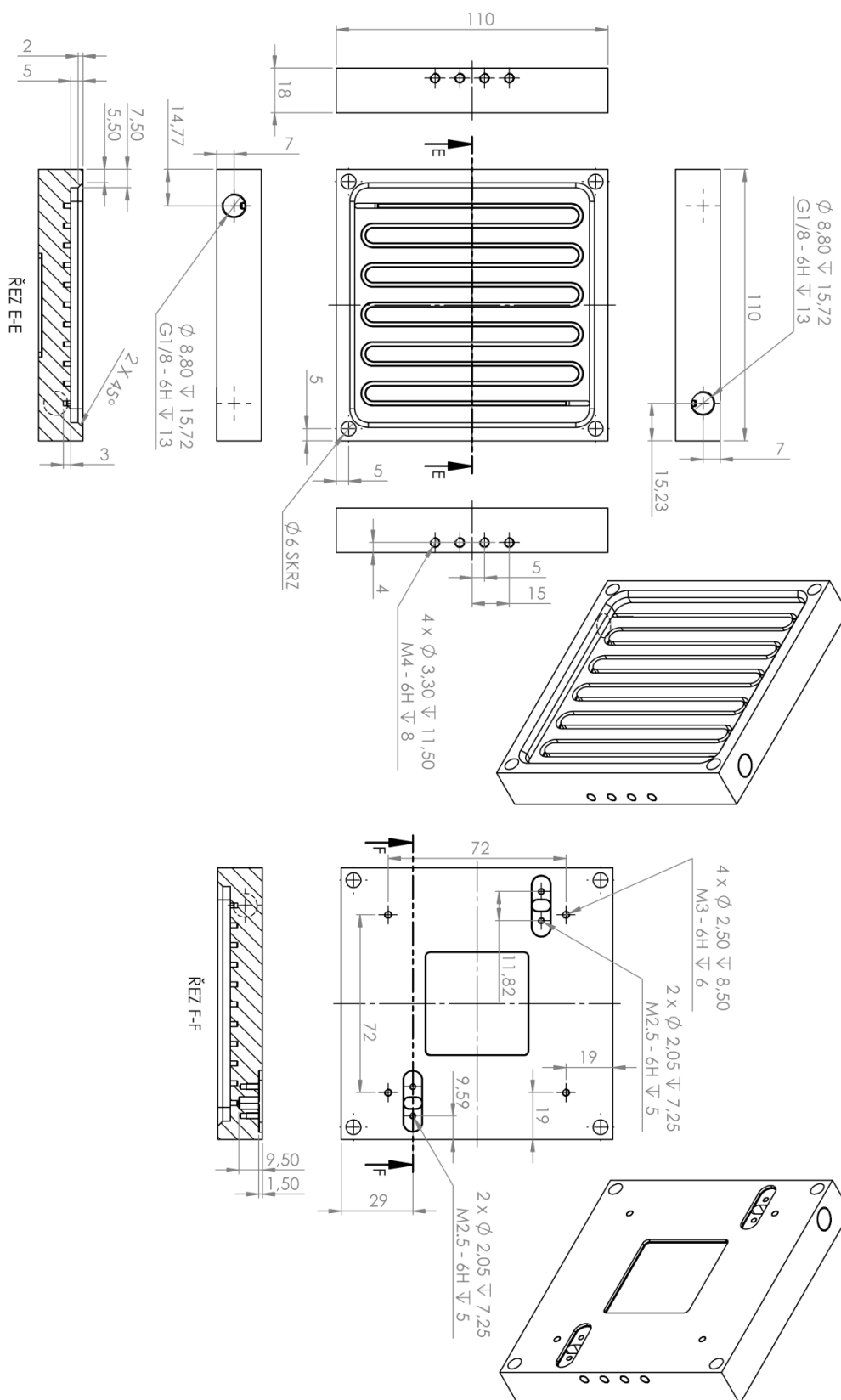
Obrázek 61 – DPS pro teplotní čidlo PT100 – osazovací předpis

9.8 DPS pro tlakový senzor XFPM-001MPGR

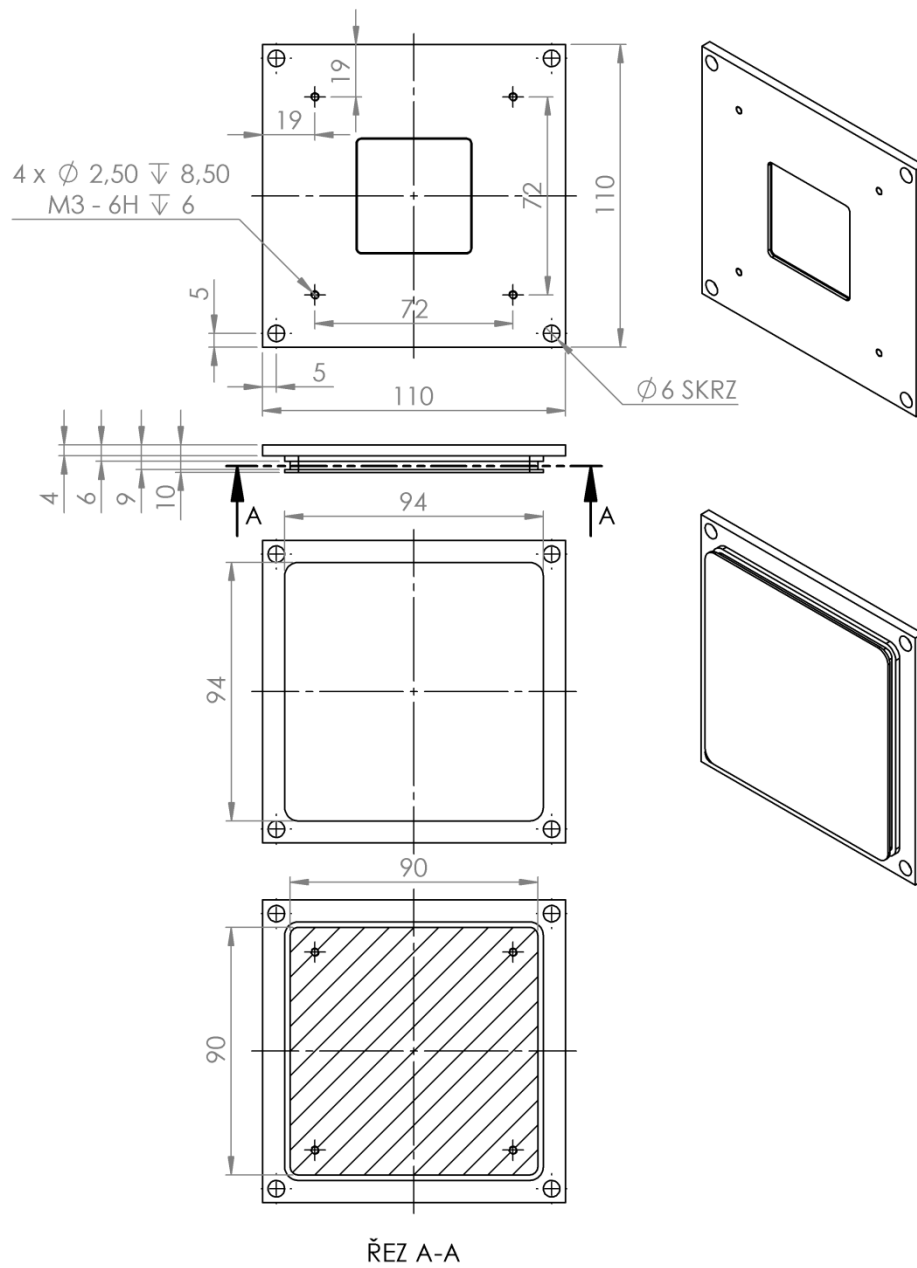


Obrázek 62 – DPS pro tlakový senzor XFPM-001MPGR – osazovací předpis

9.9 Výkres „studeného“ tepelného výměníku

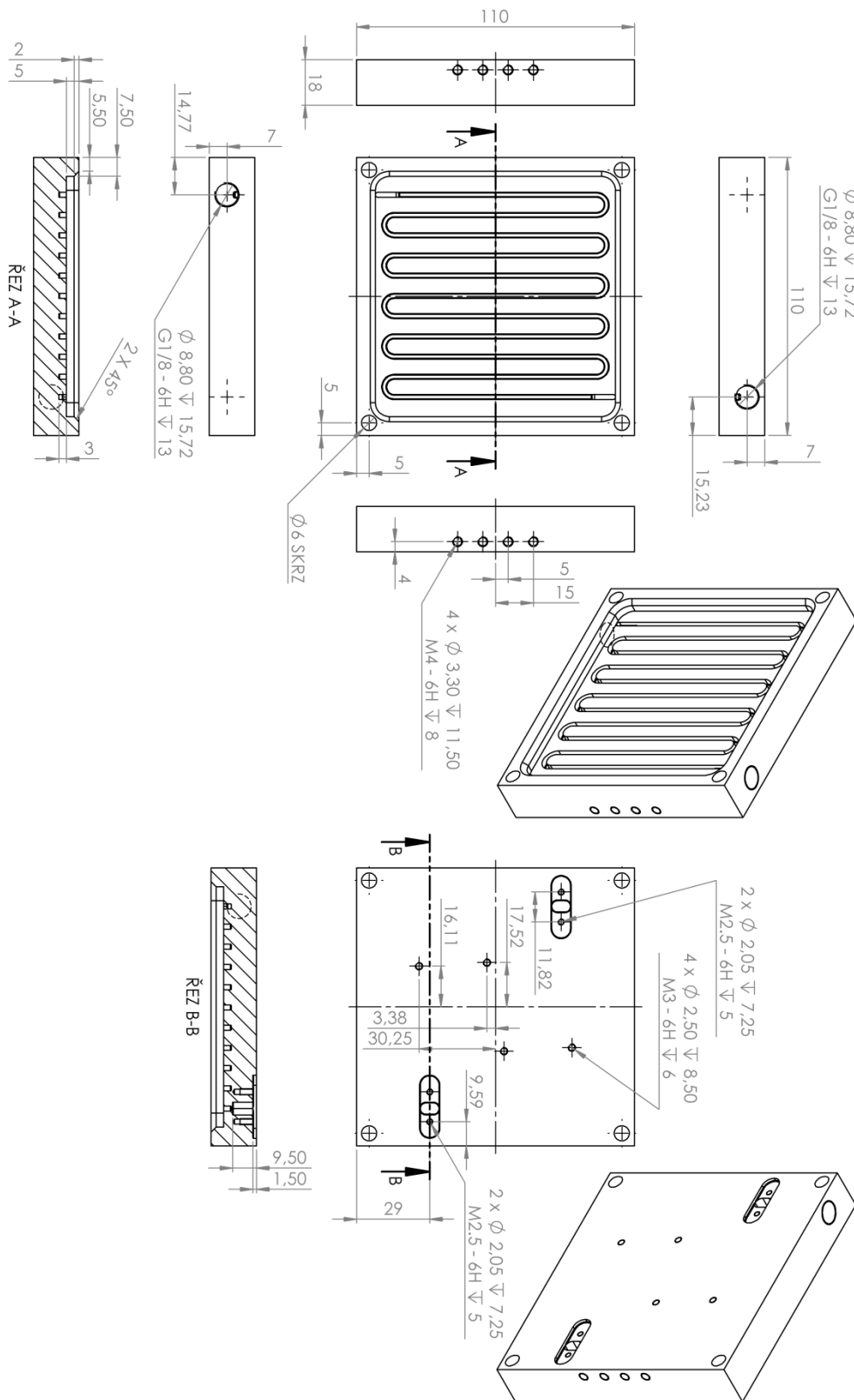


Obrázek 63 – výkres „studeného“ tepelného výměníku – meandr

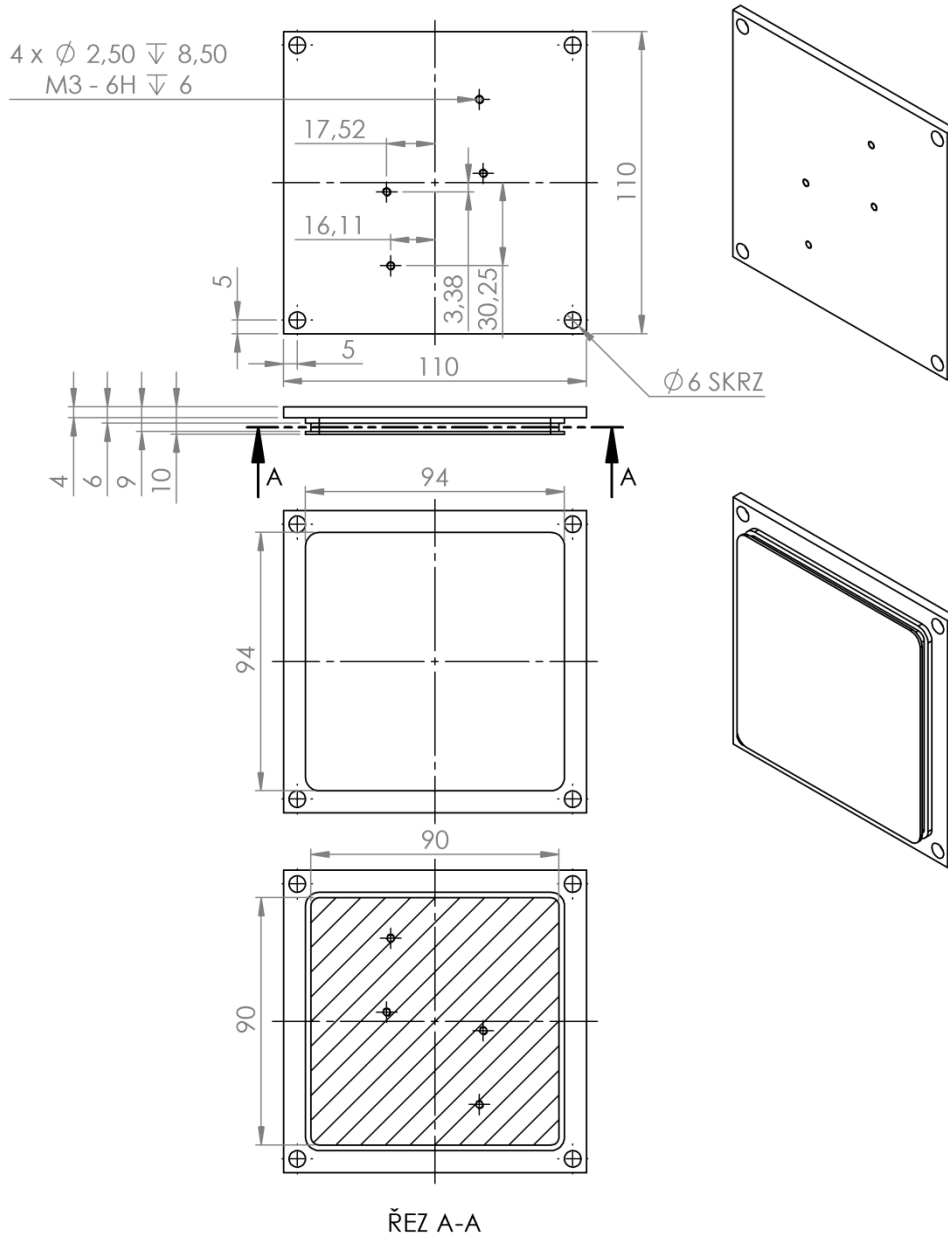


Obrázek 64 – výkres „studeného“ tepelného výměníku – protikus

9.10 Výkres „teplého“ tepelného výměníku

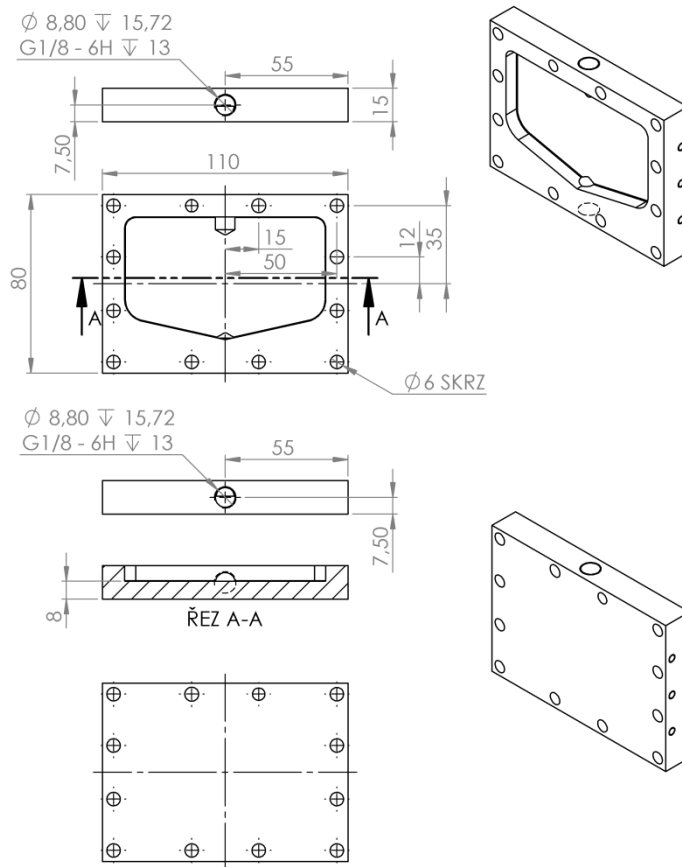


Obrázek 65 – výkres „teplého“ tepelného výměníku – meandr

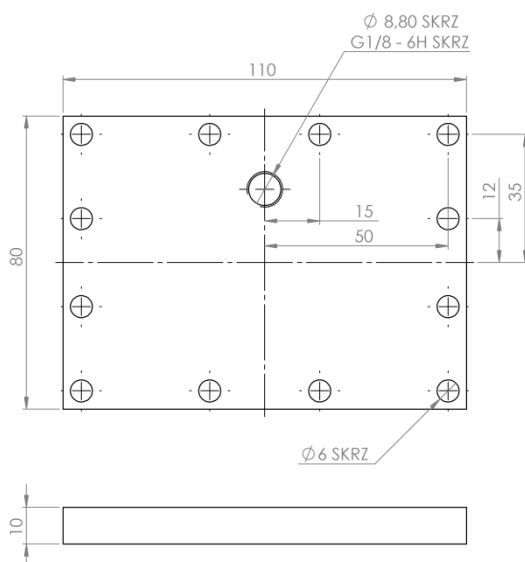


Obrázek 66 – výkres „teplého“ tepelného výměníku – protikus

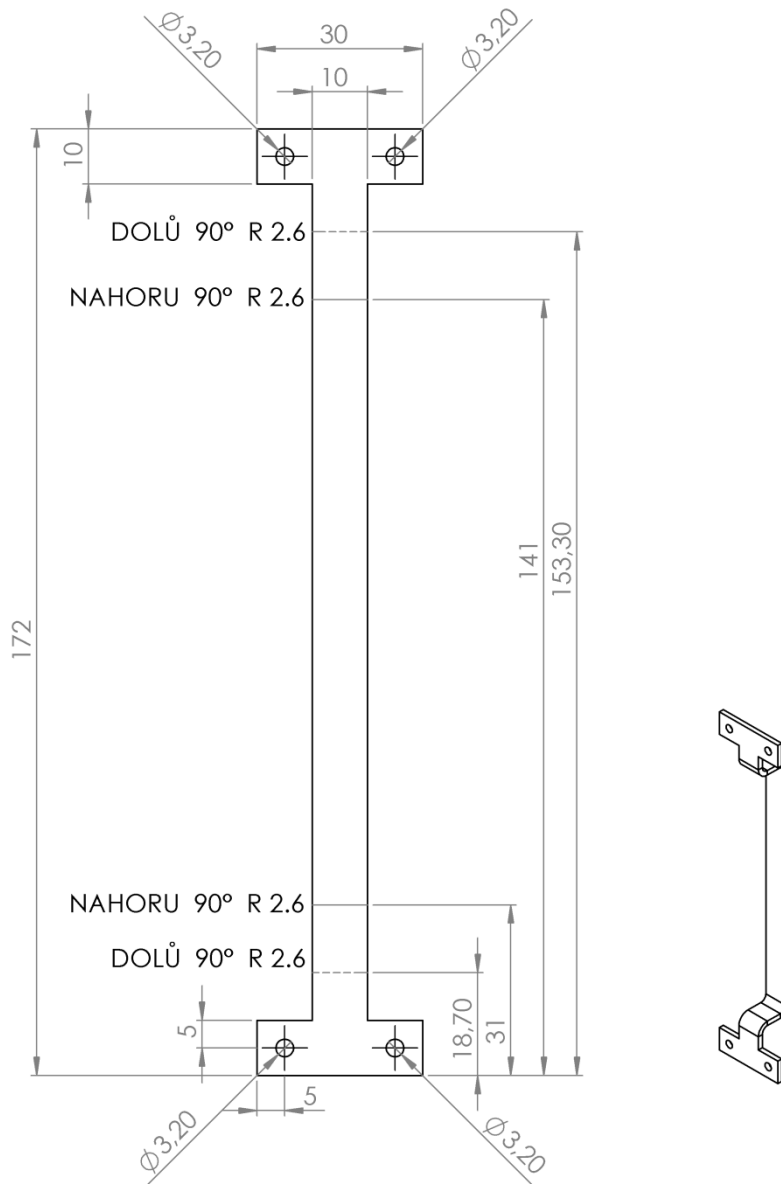
9.11 Výkres vstupního dávkovače



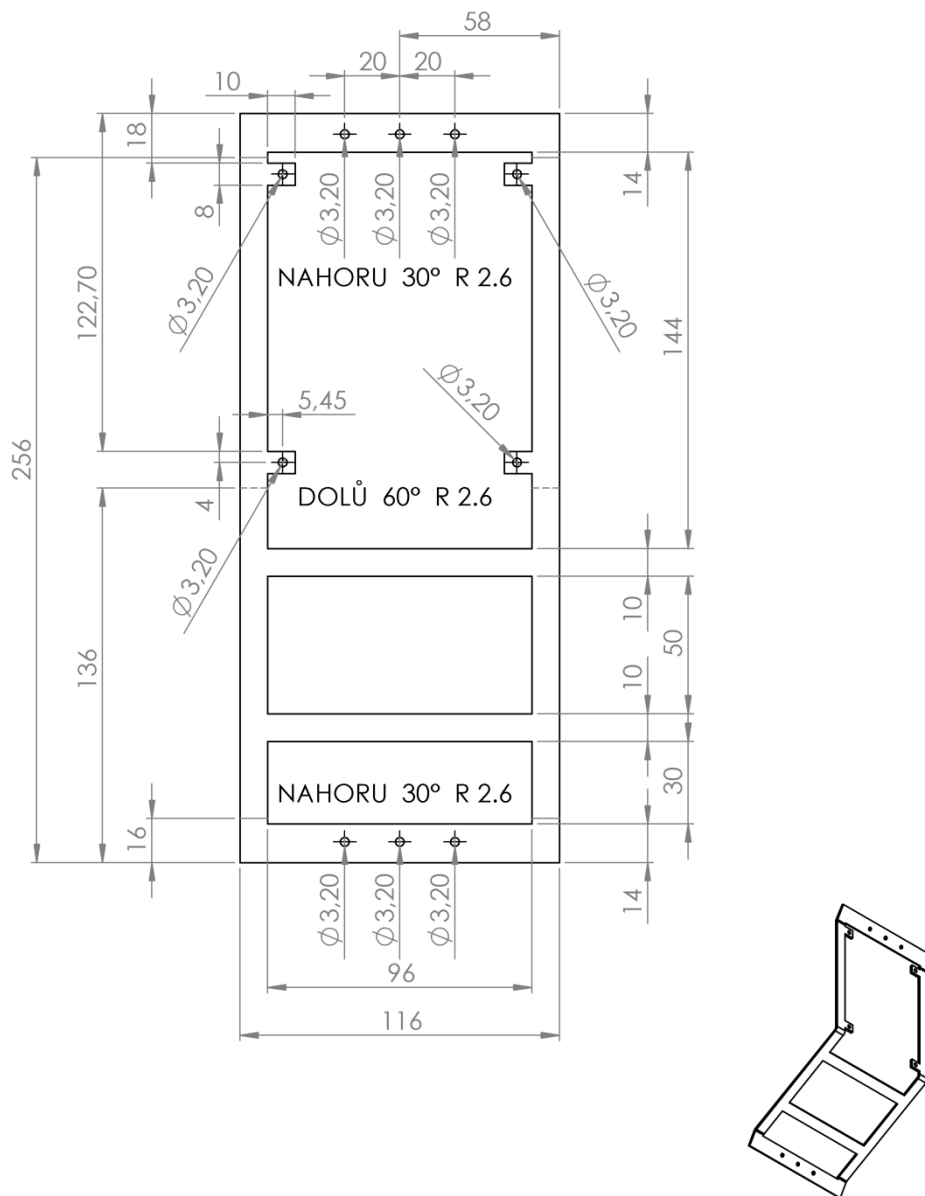
Obrázek 67 – výkres vstupního dávkovače



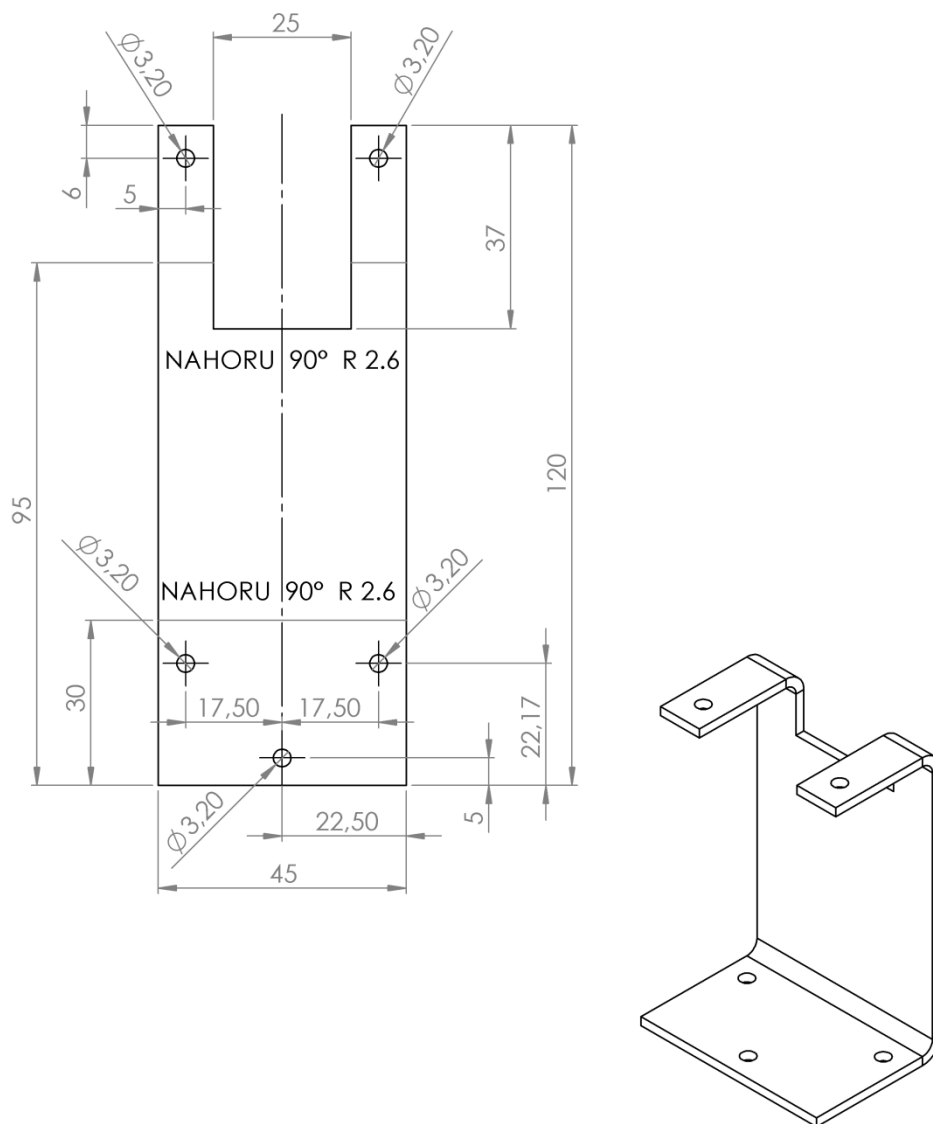
Obrázek 68 – výkres vstupního dávkovače - protikus

9.12 Výkres úchytu vstupního a výstupního rezervoáru ...

Obrázek 69 – výkres úchytu vstupního a výstupního rezervoáru ...

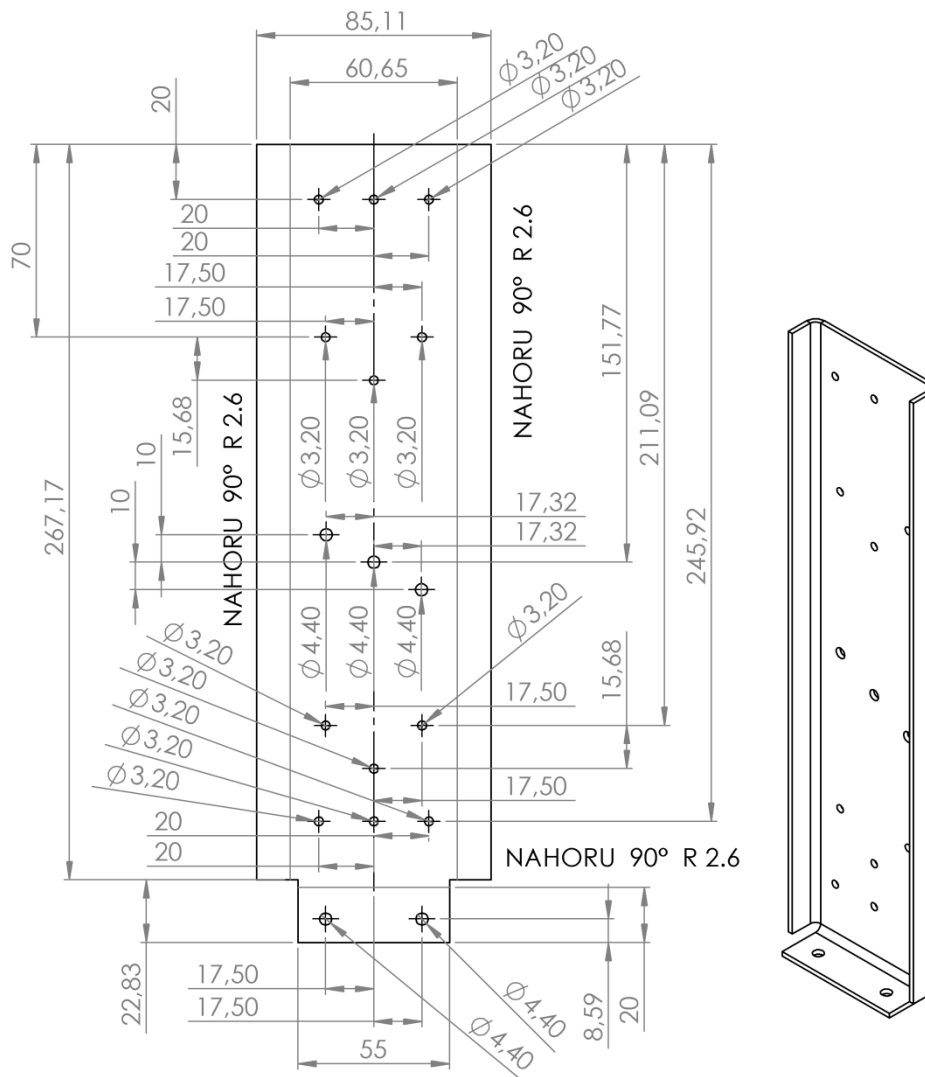
9.13 Výkres úchytu řídicí DPS

Obrázek 70 – výkres úchytu řídicí DPS

9.14 Výkres úchytu elektromagnetického ventilu

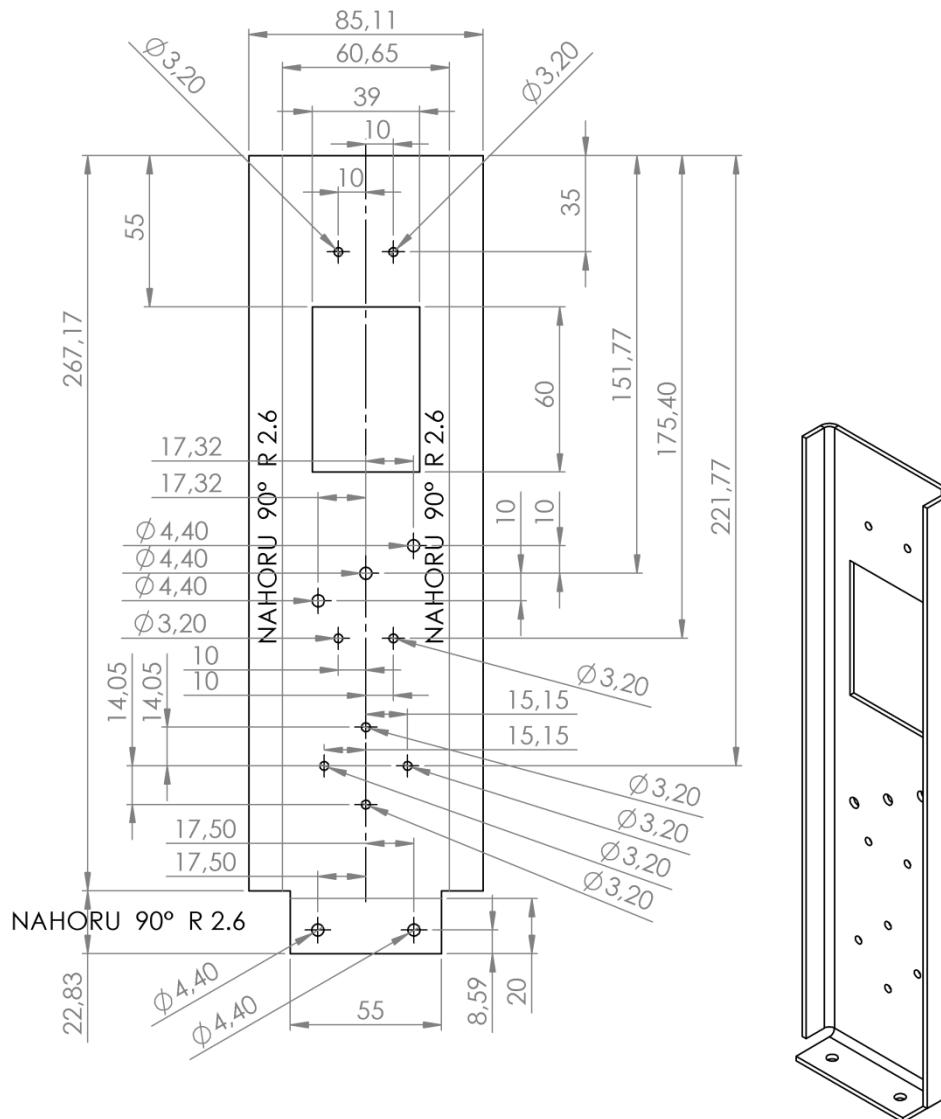
Obrázek 71 – výkres úchytu elektromagnetického ventilu

9.15 Výkres pravého nosníku vstupního rezervoáru ...



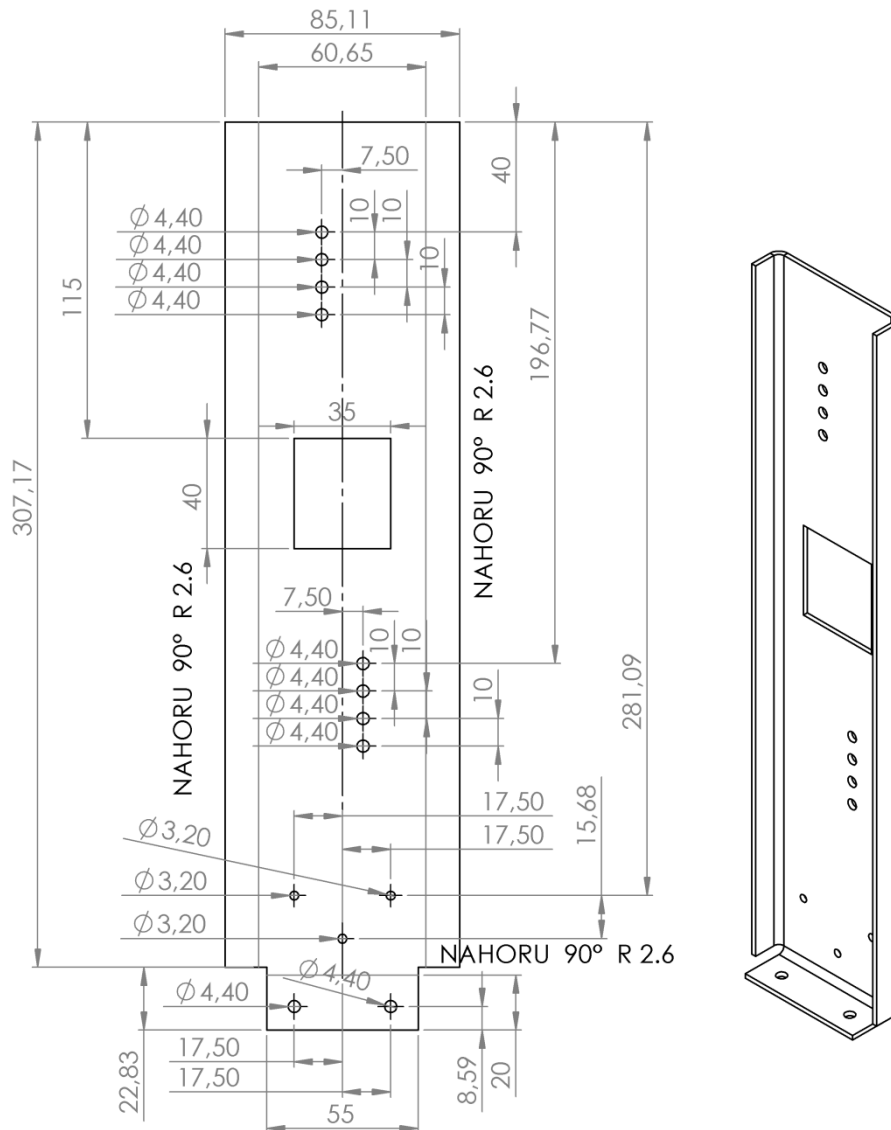
Obrázek 72 – výkres pravého nosníku vstupního rezervoáru ...

9.16 Výkres levého nosníku vstupního rezervoáru ...



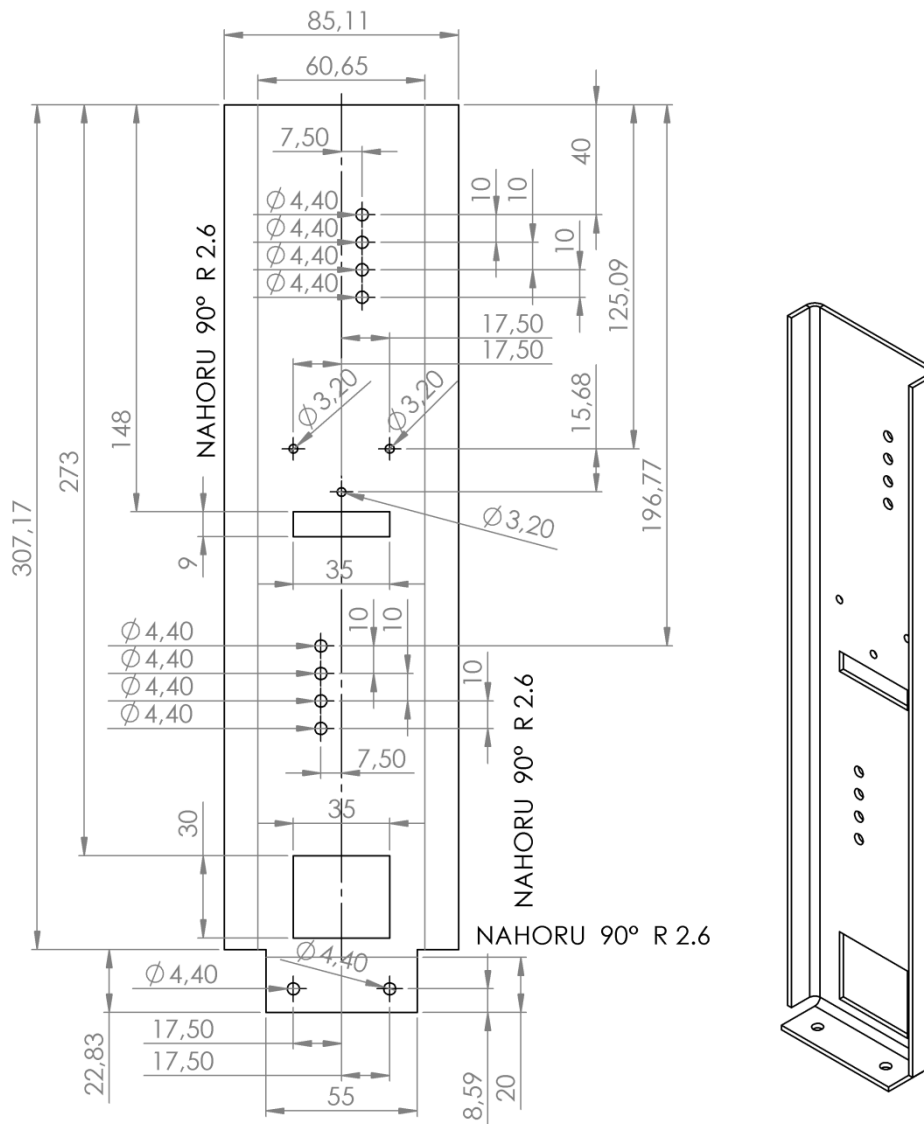
Obrázek 73 – výkres levého nosníku vstupního rezervoáru ...

9.17 Výkres pravého nosníku tepelných výměníků



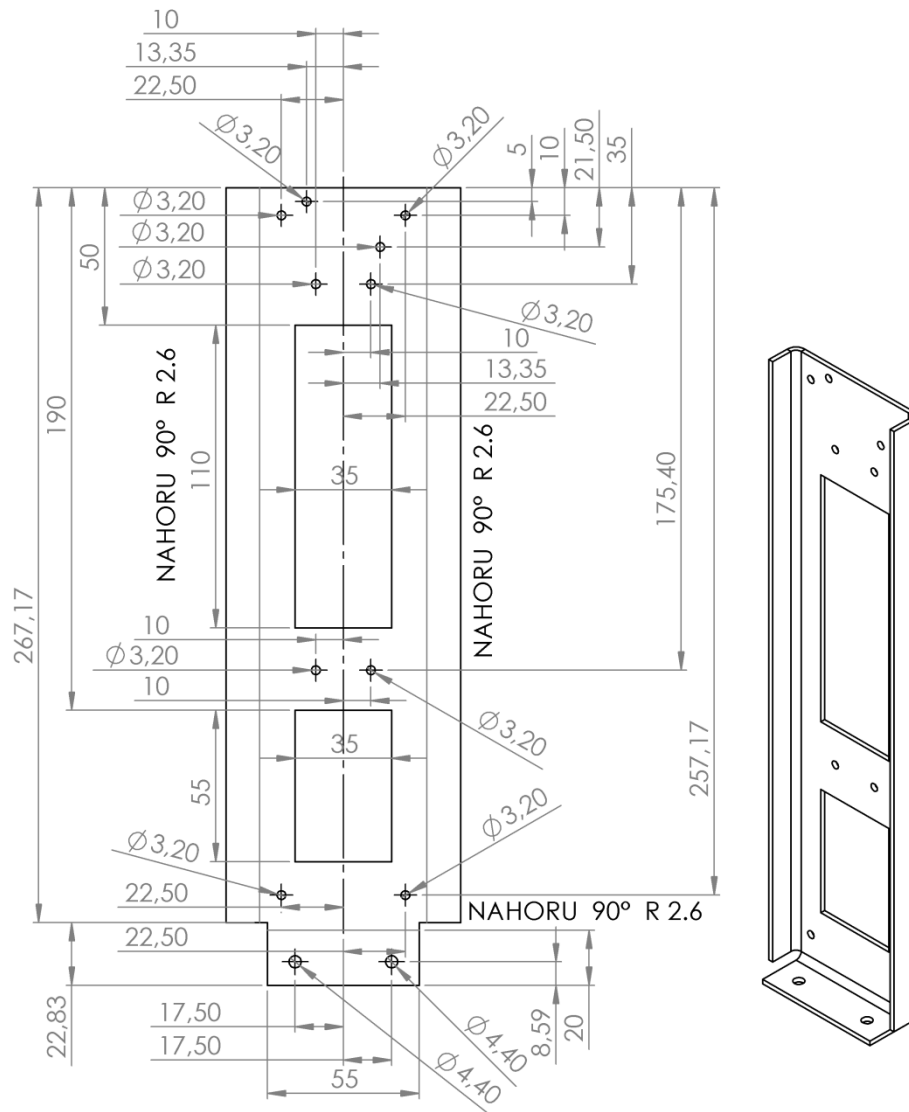
Obrázek 74 – výkres pravého nosníku tepelných výměníků

9.18 Výkres levého nosníku tepelných výměníků



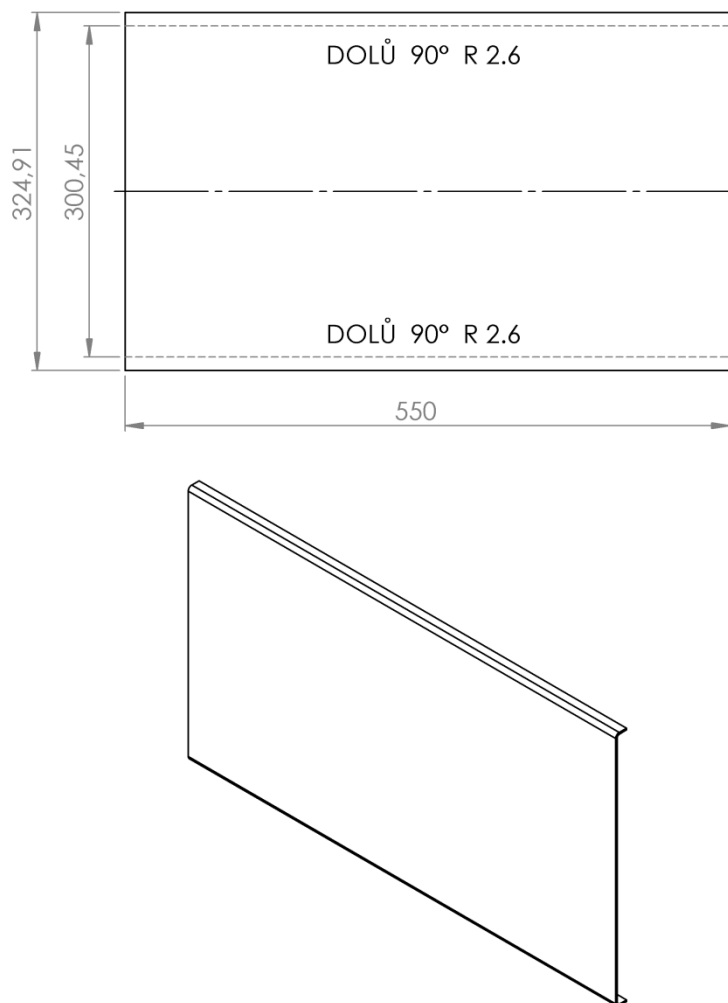
Obrázek 75 – výkres levého nosníku tepelných výměníků

9.19 Výkres nosníku výstupního rezervoáru ...



Obrázek 76 – výkres nosníku výstupního rezervoáru ...

9.20 Výkres nosné desky



Obrázek 77 – výkres nosné desky