

České vysoké učení technické v Praze
fakulta elektrotechnická
katedra mikroelektroniky



Bakalářská práce

Modul čištění domácí pasterizační jednotky

Autor: Martin Urban

Vedoucí práce: Ing. Lubor Jirásek, CSc.

2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Urban** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **457160**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektronika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Modul čištění domácí pasterizační jednotky

Název bakalářské práce anglicky:

The Cleaning Module of the Home Pasteuriser Unit

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte dostupnou literaturu týkající se problematiky pasterizace mléka.
2. Na základě 1) navrhnete a realizujete zařízení vhodné pro čištění domácí pasterizační jednotky mléka a využijte poznatky dosažené v diplomové práci Bc. Stanislava Kubína.
3. Navrhnete postup vhodný pro ověření funkce přístroje.
4. Proveďte ověřovací měření na zařízení a zhotovte vzorový protokol o měření.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené 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#druckvertustkv_en
- [4] Katalogové listy a aplikační poznámky součástek.
- [5] Kubín, S.: Diplomová práce, ČVUT FEL, Praha 2015.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Lubor Jirásek, CSc., katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.01.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Lubor Jirásek, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci „Modul čištění domácí pasterizační jednotky“ 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

Martin Urban

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Luboru Jiráskovi, CSc. za jeho rady a čas, který mi věnoval při konzultacích a odborném vedení při vytváření této bakalářské práce.

Anotace

Cíl bakalářské práce je na základě zkušeností a závěrů uvedených v práci „Domácí pasterizační jednotka NG“[2] vybrat vhodný způsob pro čištění celého zařízení, udělat teoretický návrh mechanické, elektronické i programové části a zařízení následně sestavit a otestovat.

Klíčová slova: pasterizace, čištění, mléko

Abstract

Based on the experiences and conclusions presented in the thesis “Home Pasteurizer NG”[2], the aim of this thesis is to choose the best way for cleaning device, devise mechanical, electrical and software parts and construct a cleaning modul.

Key words: pasteurization, cleaning, milk

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Seznam použitých značek a symbolů | 1 |
| Seznam obrázků | 2 |
| Seznam tabulek | 3 |
| 1. Úvod | 4 |
| 2. Koncept | 5 |
| 2.1 Koncept mechanické části | 6 |
| 2.2 Koncept elektronické části | 8 |
| 2.3 Koncept programové části | 9 |
| 3. Mechanická část | 10 |
| 3.1 Ohřívač čisticí vody | 10 |
| 3.2 Rezervoáry | 10 |
| 3.3 Konstrukce | 11 |
| 3.4 Propojení mechanických komponent | 11 |
| 3.5 Poznátky zjištěné z demontáže původního zařízení | 11 |
| 4. Elektrická část | 12 |
| 4.1 Řídicí část | 12 |
| 4.1.1 Výstupní obvody | 12 |
| 4.1.2 Výkonové výstupní obvody | 13 |
| 4.1.3 Obvod analogového vstupu | 14 |
| 4.2 Napájecí část | 15 |
| 4.3 Deska plošného spoje | 15 |
| 4.4 Oprava poškozených součástek | 16 |
| 4.5 Znovupoužití součástek z původní desky | 17 |
| 5. Programová část | 18 |
| 5.1 Regulace teploty ohřívače | 18 |
| 5.2 Řízení elektromagnetických ventilů | 18 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------|-----------|
| 5.3 | Předpoklady správné funkce systému | 19 |
| 5.4 | Vývojový diagram čistícího programu | 22 |
| 6. | Ekonomický rozbor | 23 |
| 7. | Závěr | 25 |
| 8. | Zdroje | 26 |
| 9. | Přílohy | 27 |
| 9.1 | Seznam součástí | 27 |
| 9.2 | Schéma napájecí části | 29 |
| 9.3 | Schéma řídicí části | 30 |
| 9.4 | Schéma analogové části | 31 |
| 9.5 | Schéma digitální části | 32 |
| 9.6 | Osazovací přepis pro horní stranu | 33 |
| 9.7 | Osazovací přepis pro dolní stranu | 34 |
| 9.8 | Jednotlivé vrstvy DPS | 35 |
| 9.9 | Fotodokumentace | 37 |

Seznam použitých značek a symbolů

| | |
|--------|---|
| A/D | Analog to Digital (převod analogového signálu na digitální) |
| CPU | Central Processing Unit (centrální procesorová jednotka) |
| DPS | Deska Plošných Spojů |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (elektricky mazatelná programovatelná paměť) |
| EM | ElektroMagnetický |
| HTST | High Temperature Short Time (vysoká teplota, krátká doba) |
| HW | HardWare (veškeré fyzické prvky elektronického zařízení) |
| IO | Input Output (vstup a výstup) |
| LED | Light-Emitting Diode (dioda vyzařující světlo) |
| MOSFET | Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (polem řízený tranzistor, struktura kov-oxid-polovodič) |
| SMD | Surface Mount Sevice (součástka určená pro povrchovou montáž) |

| | | |
|-------|--------------------|------------------|
| C | F | kapacita |
| C_t | J/K | tepelná kapacita |
| d, D | m | průměr |
| f | Hz | frekvence |
| I | A | proud |
| l | m | délka |
| L | H | indukčnost |
| P | W | výkon |
| Q | J | tepelná energie |
| r | m | poloměr |
| R | Ω | odpor |
| t | s | čas |
| T | $^{\circ}\text{C}$ | teplota |
| U | V | napětí |
| V | m^3 | objem |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 2.1 - propojení komponentů | 7 |
| Obrázek 2.2 - Koncept elektrické části | 8 |
| Obrázek 4.1 – Schéma výstupních obvodů | 13 |
| Obrázek 4.2 – Schéma výkonových výstupních obvodů | 14 |
| Obrázek 4.3 – Schéma analogového vstupu | 15 |
| Obrázek 4.4 – Návrh desky plošného spoje | 16 |
| Obrázek 4.4 – Deska po osazení z přední strany | 17 |
| Obrázek 4.5 – Deska po osazení z dolní strany | 17 |
| Obrázek 5.1 – Blokové schéma regulace | 18 |
| Obrázek 5.2 – vyznačení toků kapalin v systému | 11 |
| Obrázek 5.3 - Vývojový diagram čisticího programu | 22 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 6.1 – Ceny jednotlivých komponent | 26 |
| Tabulka 6.2 – přehled možných dodavatelů komponent(2) | 26 |
| Tabulka 9.1 Seznam součástí | 26 |

1. Úvod

Cíl této práce je rozšíření projektu „Domácí pasterizační jednotka NG“[2] kterou napsal a realizoval Ing. Stanislav Kubín v roce 2015 jako svojí diplomovou práci. Téma zabývající se pasterizačním procesem mléka jsem si vybral i proto, že několik let pracuji v jihlavské mlékárně MORAVIA LACTO, a. s..

Tato bakalářská práce má za cíl vytvoření čistícího modulu, který uvede pasterizační jednotku do použitelného stavu pro koncového uživatele. Práce si klade za cíl zamezit usazování mléka, jeho složek a nečistot v systému.

Pasterizační jednotka s čistícím modulem by měla:

- Pasterizovat mléko metodou HTST
- Splnit požadavky na nezávadnost výstupního produktu
- Nekontaminovat mléko závadnými látkami

Po dokončení pasterizační jednotky by měl být proveden test na potvrzení mikrobiologické kvality mléka a mělo by být dokázáno, že mléko splňuje vyhlášku 397 ze dne 2. prosince 2016[4] o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje.

2. Koncept

Základní koncept se skládá z několika částí a to části mechanické, části elektronické a části programové. Přičemž každá z nich bude později samostatně rozebrána.

Celkový koncept čištění je postaven na principu čištění čistícím roztokem a následně proplachem čistou vodou. A to po každé jednotlivé pasterizaci, aby nebyli zbytky mléka a jeho rezidua v systému déle než je nezbytně nutné, tím by měla být zaručena zdravotní nezávadnost celého systému pro běžné použití. Čistící roztok i voda budou mít při vstupu do systému definovanou teplotu tak, aby co nejlépe odstranili mléko i jeho složky.

Čistící modul tedy musí zabezpečit:

- Odstranění mléka samotného
- Odstranění tuků
- Zamezit denaturování bílkovin a jejich zatvrdnutí na povrchu
- Zamezení usazování mléčného kamene a usazenin z tvrdé vody
- Dezinfekce zařízení
- Zdravotní nezávadnost zařízení jako takového

Aby byly tyto body, co nejlépe splněny musí být dobře zvolena teplota čistících kapalin a také typ čistícího roztoku. Teplota čistících kapalin by se měla pohybovat v rozmezí 40°C až 70°C. Teplota roztoku pod 40°C je považována za nedostatečnou, protože se takto nedá odstranit usazený tuk ve volné formě. Naopak teploty přesahující 70°C již značně denaturují bílkoviny, které následně zatvrdnou na povrchu.

Z těchto důvodů jsem zvolil následující postup:

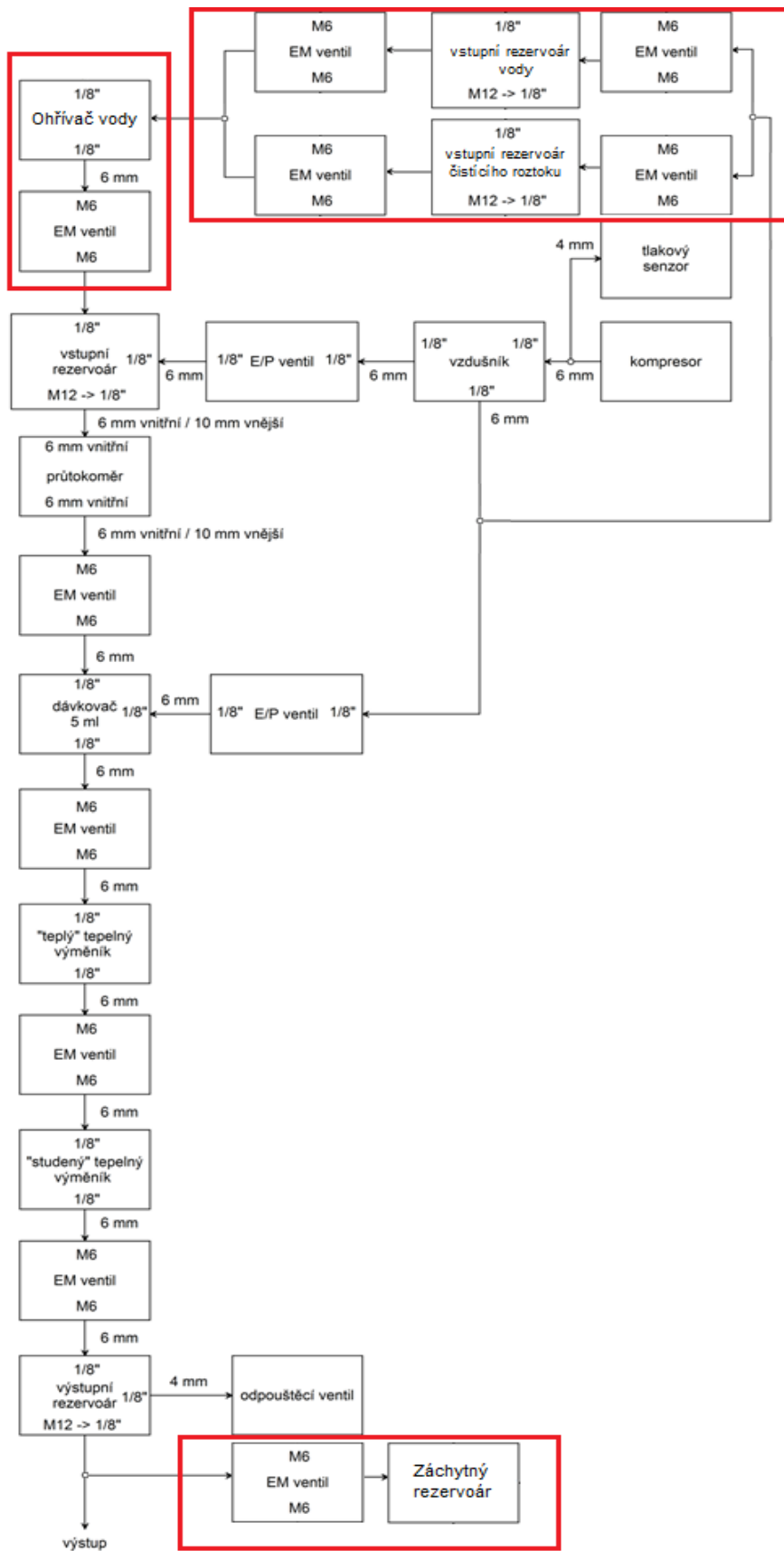
- 1) Proplach systému čistou vodou o teplotě 40°C až 50°C - tato operace zaručí odstranění mléka a mléčného tuku ze systému
- 2) Proplach systému čistícím roztokem o teplotě 50°C až 55°C – zvýšená teplota zlepšuje vlastnosti čistícího roztoku
- 3) Proplach čistou vodou – pouze z důvodu odstranění čistícího roztoku ze systému

Při čistícím procesu nabere čistící roztok i nečistoty v něm obsažené mechanickou energií, která jednak přispěje k uvolnění nečistot a také zabrání jejich opětovnému ulpívání. Všechny tři operace proto budou probíhat kontinuálně a nikoliv po dávkách, jako v případě pasterizace.

2.1 Koncept mechanické části

Mechanická část rozšíří stávající řešení o čistící sekci, jejímž úkolem je vyčistit celý systém nejdříve čistícím roztokem a poté vodou. Na obrázku 1 je vidět posloupnost mechanických částí a jejich napojení na stávající systém.

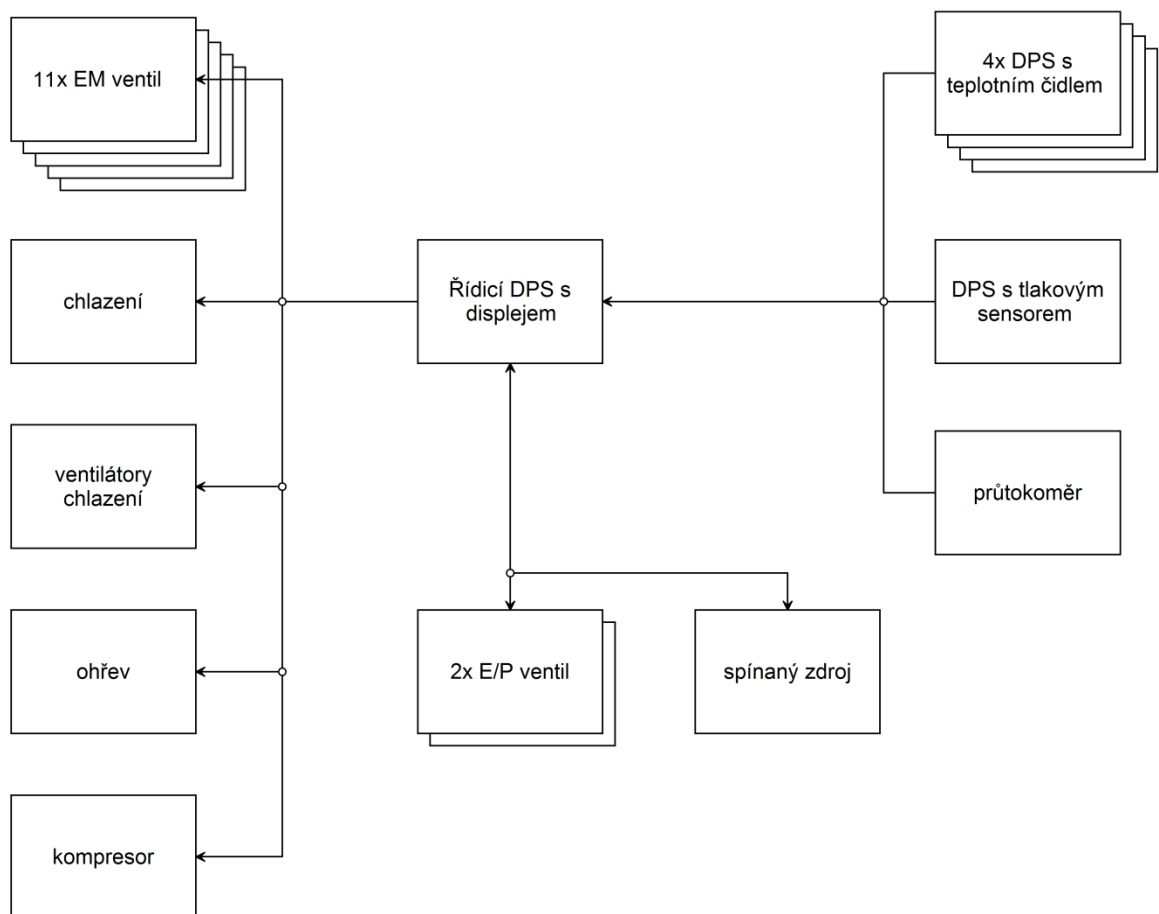
Oproti předešlému řešení jsou zde nově přidané bloky čistící sekce (zvýrazněny červeně). Jak je z obrázku, patrné je zde část před vstupem do vstupního rezervoáru pro přípravu čistícího roztoku, případně čistící vody. A dále část za výstupním rezervoárem pro sběr použité čistící tekutiny.



Obrázek 2.1 - propojení komponentů

2.2 Koncept elektronické části

Elektronická část opět vychází z předešlého systému, ve kterém ale bohužel nebyla žádná možnost přímého rozšíření, proto je třeba elektronickou část rozšířit o 7 výstupů a jeden analogový vstup. Použitý mikrokontroler zůstane zachován i s pomocnými obvody, ale bude třeba navrhnout a vyrobit novou desku plošného spoje. U řízení teploty ohřevu čisticí kapaliny bude použita dvoupólová regulace s hysterezí a nikoliv PID regulace, protože oproti mléku při pasterizaci není třeba znát teplotu čisticí kapaliny naprosto přesně. Obrázek 2 ukazuje vazbu mezi elektronickými komponentami.



Obrázek 2.2 - Koncept elektrické části

2.3 Koncept programové části

Programová část staví na předešlém programu, pouze ho rozšiřuje o část řídicí čištění. Úkolem čistící části programu bude řídit proces čištění, který se bude skládat z následujících úkonů.

- Připojení čistícího modulu do systému
- Natlakování rezervoáru s čistou vodou
- Vpuštění čisté vody do ohřívače
- Ohřev čisté vody na definovanou teplotu
- Propláchnutí systému čistou vodou
- Záchyt vody do záchytného rezervoáru
- Natlakování rezervoáru s čistícím roztokem
- Vpuštění čistícího roztoku do ohřívače
- Ohřev čistícího roztoku na definovanou teplotu
- Propláchnutí systému čistícím roztokem
- Záchyt čistícího roztoku do záchytného rezervoáru
- Odpojení rezervoáru s čistícím roztokem
- Natlakování rezervoáru s čistou vodou
- Propláchnutí systému čistou vodou
- Záchyt vody do záchytného rezervoáru
- Odpojení čistícího modulu od systému

2.4 Volba čistícího roztoku

V průmyslu se k čištění používá roztok hydroxidu sodného. Toto řešení není v našem případě možné použít z důvodu agresivity hydroxidu sodného vůči dříve použitým materiálům, zejména eloxovanému hliníku v tepelných výměnících. Proto bude k čištění použit roztok z čistících prostředků do automatických myček nádobí. Ten bude mít dostatečné čistící vlastnosti, ale zároveň nebude poškozovat zařízení.

3. Mechanická část

Mechanická část se skládá z tří rezervoárů, ohřívače a šesti EM ventilů. U všech částí je kladen důraz na potravinářskou nezávadnost, odolnost vůči provoznímu tlaku a časovou trvanlivost.

3.1 Ohřívač čisticí vody

Ohřívač čisticí vody má za úkol ohřát protékající vodu pro dosažení žádaných čisticích vlastností. K ohřevu budou použity výkonové rezistory připevněné na tělese ohřívače. Jako materiál jsem zvolil mosaz, která je vhodná z důvodu chemické nezávadnosti, tepelné vodivosti i případné odolnosti vůči čisticím prostředkům. Mezi hlavní požadavky na předání tepla kapalině řadíme tepelný odpor materiálu a plochu, kterou bude tepelná energie kapalině předávána. Proti řešení s pomocí hliníkových výměníků, které je použito v původní práci, má toto řešení sice vyšší měrný tepelný odpor materiálu, na druhou stranu má značně nižší tloušťku stěny, čímž se dá tento problém považovat za vyřízený. Výsledné řešení je zhotovené z mosazné trubky o průměru 10 mm a tloušťce stěny 1 mm, která je vytvarována do tvaru S a překryta plochou pro umístění výkonových rezistorů.

3.2 Rezervoáry

Rezervoár má za úkol uchování zásoby vody, čisticího roztoku a zachycené čisticí kapaliny. Pro snížení nákladů na celou pasterizační jednotku byl místo zakázkové výroby rezervoárů zvolen postup uzpůsobení běžně dostupné nádoby. V našem případě tlakové láhve sodastream. Jako základní materiál tlakové nádoby je použit polyethylentereftalát, známý pod zkratkou PET, který splňuje jak požadavky na chemickou nezávadnost, tak požadavky na odolnost vůči provoznímu tlaku. Nasávání ze dna rezervoáru bude zaručeno pomocí úpravy víčka originální tlakové lahve. Do víčka bude přidána utěsněná nerezová vložka, přes kterou bude procházet trubka z nerezové oceli. Obsah láhve bude možné vytlačovat přivedením stlačeného vzduchu. Vstup a výstup z nádoby je realizován pomocí nástrčných spojek.

3.3 Konstrukce

Konstrukce vychází z původního zařízení. Tři přídavné rezervoáry budou připevněny pomocí úchytů z nerez oceli. Dva vstupní rezervoáry využijí k uchycení konstrukci dávkovače. Kdežto záchytný rezervoár využije stávajícího výstupního rezervoáru. Ukotvení rezervoárů nebude pevné, ale rozebíratelné, což je nutné vzhledem k doplňování vody, čisticího roztoku a vylévání vody ze záchytného rezervoáru.

3.4 Propojení mechanických komponent

K propojení mechanických komponent bude použito polyuretanových hadiček spolu s nástrčnými spojkami, stejně jako v původním řešení.

3.5 Poznatky zjištěné z demontáže původního zařízení

Jedním z prvních kroků v mojí práci bylo rozebrání původní práce, tak aby bylo možno hliníkové díly, přicházející do styku s mlékem ošetřit eloxováním. Během rozdělování bylo zjištěno, že se v původním návrhu nepočítalo s možností opětovné demontáže. Jedním z problémů bylo použití příliš pevného těsnícího tmelu k utěsnění obou tepelných výměníků. Po demontáži výměníků bylo nutné je rozdělat za použití hrubé síly. Další problém byl použití teplovodivé pasty, která znemožnila demontáž některých elektrických součástí, k tomuto problému se vrátím níže v kapitole Elektrická část. Tyto poznatky jsem využil a při návrhu se snažil počítat s možností případné demontáže.

4. Elektrická část

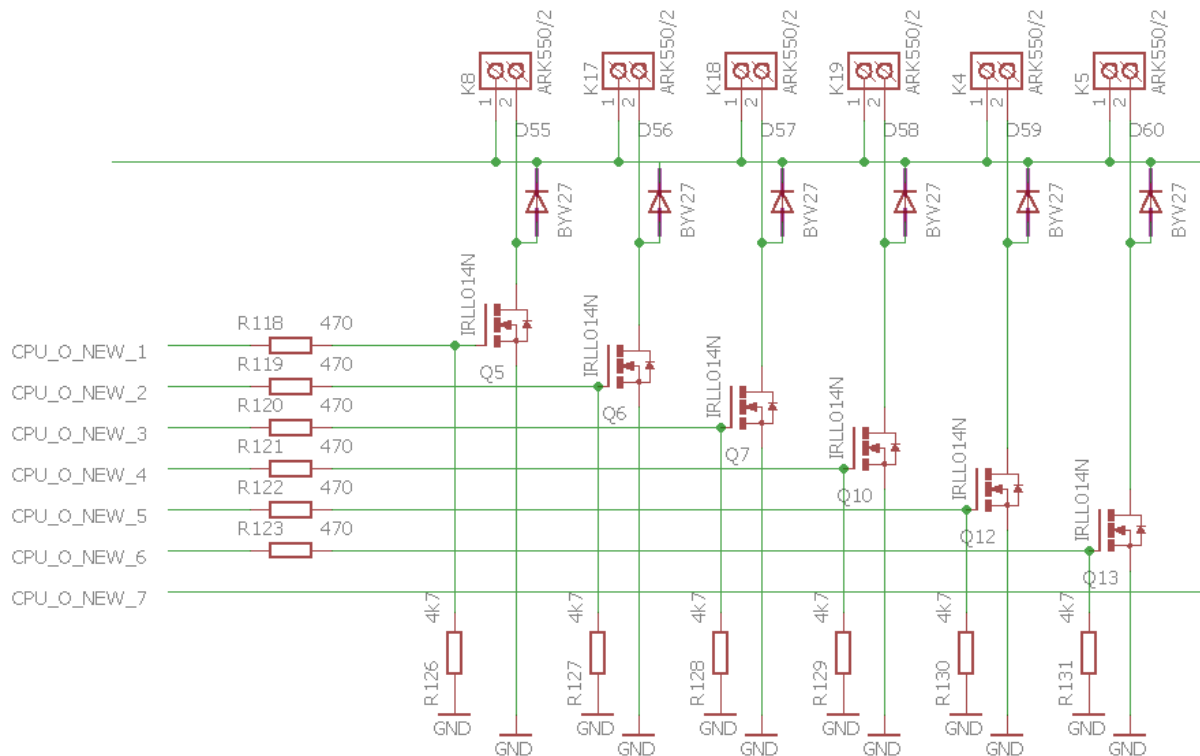
Z důvodu rozšíření původního návrhu bylo nutné elektrickou část přizpůsobit, a to jak po stránce schématu, desky plošného spoje, tak použitých součástek. Obecně jde návrh elektrické části rozdělit na řídicí část, analogovou část, výkonovou část, návrh desky plošného spoje a opravy původních obvodů způsobené poničením při rozdělávání původního zapojení.

4.1 Řídicí část

Použitý mikrokontrolér PIC24FJ128GA010 s EEPROM pamětí byl definován již původní prací a pro moje rozšíření je taktéž vhodný. Mikrokontrolér vyhovuje jak dostatkem výstupů i vstupů. Paměť EEPROM je dostatečně velká i pro rozšíření. Z tohoto důvodu se mnou provedené úpravy nezabývají mikrokontrolérem samotným.

4.1.1 Výstupní obvody

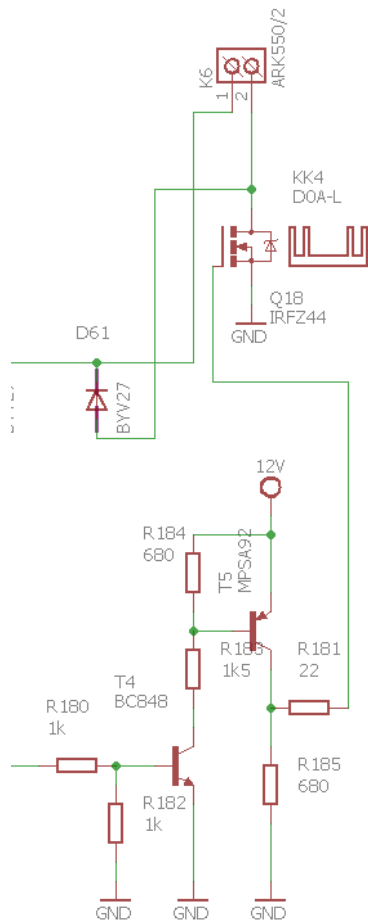
Tyto výstupy slouží k otevírání elektromagnetických ventilů, které mají podle výrobce proudový odběr 250 mA. Pro jejich spínání jsem zvolil tranzistory IRL014. Ty mají udávaný maximální protékající proud $I_D = 2,7 \text{ A}$ [6], což bohatě postačí pro spínání elektromagnetických ventilů. Odpor plně otevřeného tranzistoru výrobce udává maximálně $R_{DS(ON)} = 0,2 \Omega$ [6], z toho vyplývá, že tepelný výkon tranzistoru bude $P = I^2 \cdot R = 0,25^2 \cdot 0,2 = 12,5 \text{ mW}$. Při takto nízkém tepelném výkonu nebude zapotřebí chladič a pro odvod tepla postačí pouzdro tranzistoru. Každý výstup je navíc opatřen diodou v závěrném směru, ta je zde z důvodu vybití energie z indukčnosti na výstupu (v tomto případě cívky elektromagnetického ventilu) při uzavření tranzistoru.



Obrázek 4.1 – Schéma výstupních obvodů

4.1.2 Výkonové výstupní obvody

Výkonové výstupní obvody se v mém rozšíření používají k spínání výkonových odporů, které ohřívají čisticí vodu. Vzhledem k tomu, že má jeden výkonový rezistor $R = 1 \Omega$ a celkově budou použity čtyři odpory v sériovém zapojení, bude řídicím obvodem protékat značný proud až $I = 6 \text{ A}$. Jako spínací tranzistor byl vybrán tranzistor IRFZ44, který má dle výrobce maximální protékající proud $I_{Dmax} = 49 \text{ A}$ [6]. Odpor tranzistoru v sepnutém stavu je maximálně $R_{DS(on)} = 24 \text{ m}\Omega$ [6], z čehož vyplývá, že ztrátový tepelný výkon tranzistoru bude $P = I^2 \cdot R = 8^2 \cdot 0,024 = 1,54 \text{ W}$. To si vyžádá instalaci tranzistoru na chladič. Vzhledem k tomu, že tranzistor má maximální dovolené hradlové napětí $U_{GS} = 20 \text{ V}$, je pro jeho řízení použito napájení z 12 V napájecí větve. Tranzistor není řízen přímo z mikrokontroléru z důvodu nedostatečného napětí, ale za pomoci zapojení s bipolárními tranzistory, konkrétně jedním PNP a jedním NPN. Toto napojení navíc umožňuje daleko rychlejší zaplavení hradla výkonového tranzistoru nábojem.

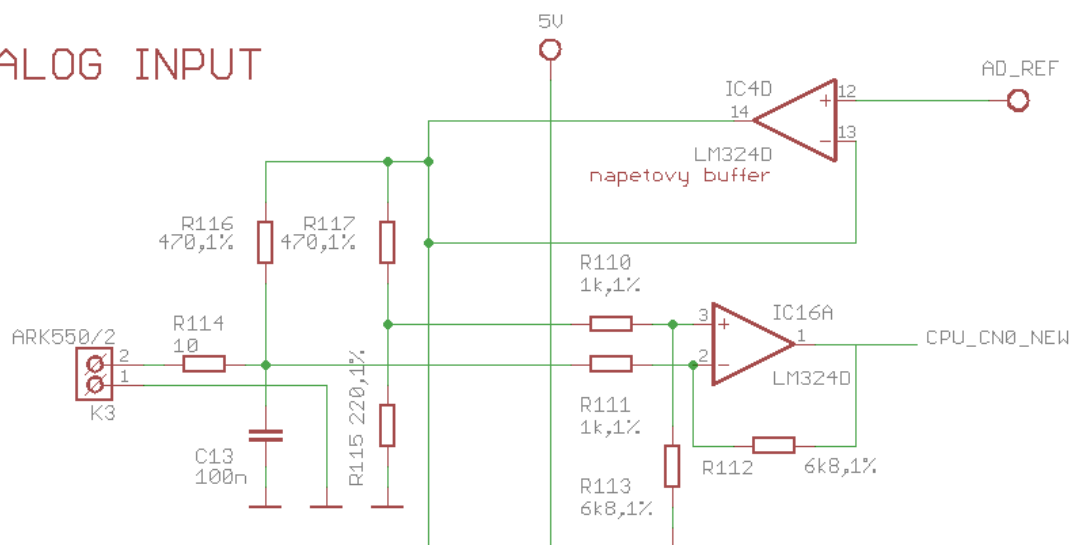


Obrázek 4.2 – Schéma výkonových výstupních obvodů

4.1.3 Obvod analogového vstupu

Obvod analogového vstupu slouží ke zpracování signálu z teplotního čidla PT100, které slouží jako senzor teploty čisticí vody. Pro vyhodnocení je použito Wheatstonova můstku, tvořeného odpory R115, R116, R117 a čidlem PT100. Wheatstonův můstek je napájen z napěťové reference 2,5 V. K vyhodnocení signálu z Wheatstonova můstku je použit diferenční zesilovač se zesílením 6,8, který značně zpřesní měření. Pro čidlo PT100 udává výrobce převodní tabulku[6], z níž lze vyčíst, že při pokojové teplotě má odpor $R_{20^{\circ}\text{C}} = 107,8 \Omega$ a při pracovní teplotě $R_{55^{\circ}\text{C}} = 121,3 \Omega$. Výstupní napětí na Wheatstonově můstku bude $U_{WM20^{\circ}\text{C}} = 0,296 \text{ V}$ pro 20°C a $U_{WM55^{\circ}\text{C}} = 0,251 \text{ V}$ pro 55°C . Toto napětí bude dále v diferenciálním zesilovači zesíleno na hodnoty $U_{20^{\circ}\text{C}} = 2,013 \text{ V}$ a $U_{55^{\circ}\text{C}} = 1,707 \text{ V}$. Analogově digitální převodník v mikrokontroléru má rozlišovací schopnost 10 bitů, což poskytne dostatečnou přesnost.

ANALOG INPUT



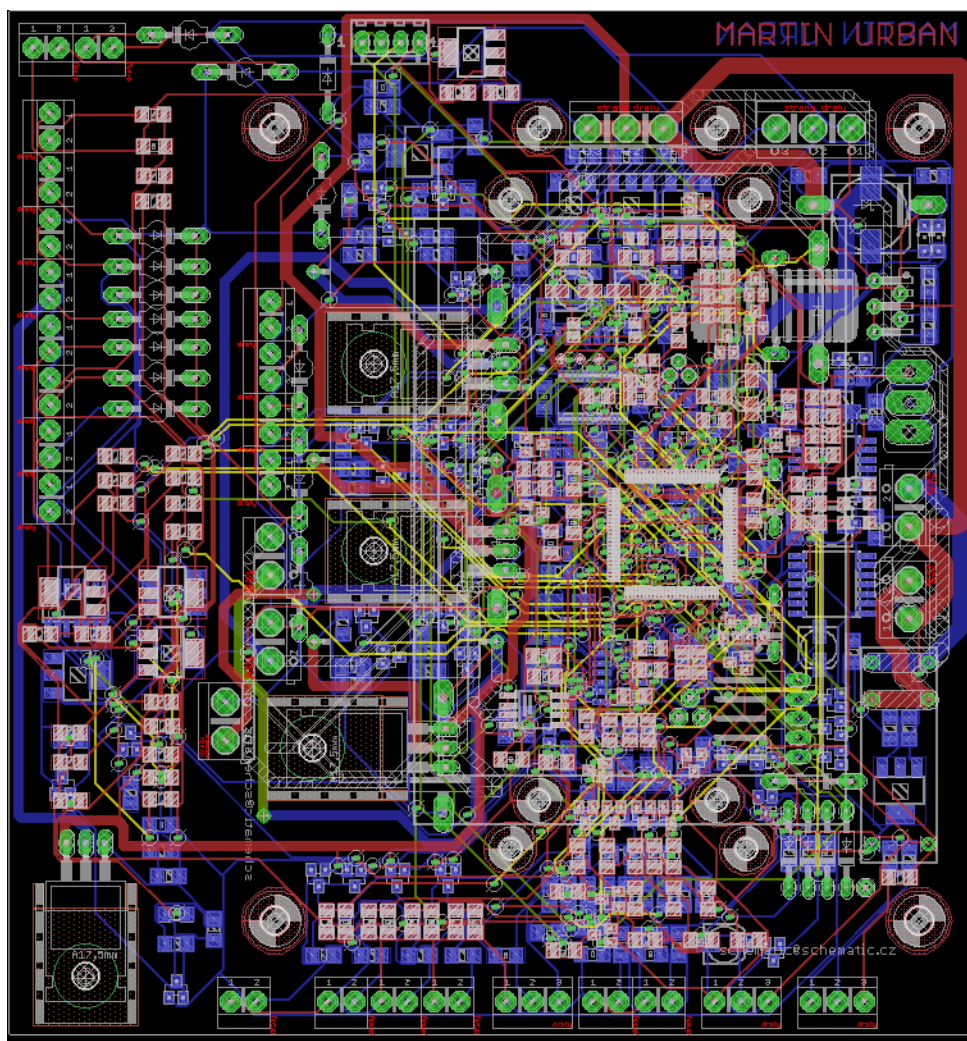
Obrázek 4.3 – Schéma analogového vstupu

4.2 Napájecí část

Napájecí část je bez úprav převzata z původní práce. Při návrhu rozšíření byly brány v potaz parametry napětí, tak aby nebylo třeba žádných úprav. Příkon celého systému nebude zvýšen a to z důvodu, že pasterizační část a čistící část nebudou nikdy provozovány společně.

4.3 Deska plošného spoje

Návrh schématu i desky plošného spoje byl realizován v programu EAGLE 7.6.0. Data pro zhotovení desky byla předána firmě PragoBoadr. Technologicky se jedná o čtyřvrstvou DPS s minimální šířkou mezera/cesta 100 μ m ve vnějších vrstvách, 125 μ m ve vnitřních vrstvách a minimálním průměrem prokoveného otvoru 300 μ m. Všechny prokovené otvory jsou maskované.



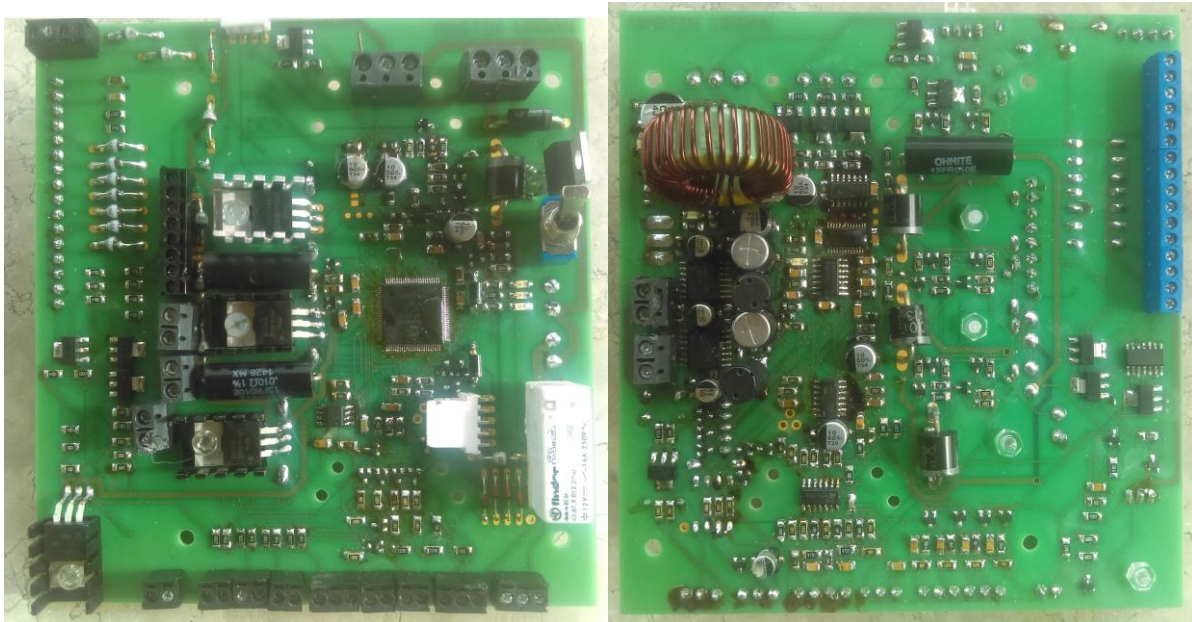
Obrázek 4.4 – Návrh desky plošného spoje

4.4 Oprava poškozených součástek

Jak bylo již zmíněno výše, celé zařízení bylo třeba rozebrat z důvodu eloxace tepelných výměníků. Při této operaci došlo k poškození několika součástek, konkrétně obou Peltierových článků a dvou čidel PT100. K poškození došlo v obou případech z důvodu použití příliš tuhé teplovodivé pasty, která znemožnila demontáž normálním způsobem. Demontáž byla tedy provedena hrubou silou, což způsobilo poškození součástek. V případě čidel PT100 nebude s náhradou problém. V případě Peltierových článků je nutné zaručit, vzhledem k sériovému zapojení, stejné vlastnosti páru, proto budou objednány díly ze stejné výrobní série.

4.5 Znovupoužití součástek z původní desky

Z důvodu snížení celkových nákladů budou pro osazení desky plošného spoje použity součástky, jimiž byla osazena původní deska plošného spoje. K demontáži připájených součástek bylo použito horkovzdušné stanice s teplotou horkého vzduchu okolo 380°C. Po demontáži byly součástky podrobeny kontrole, aby bylo vyloučeno jejich poškození demontáží.



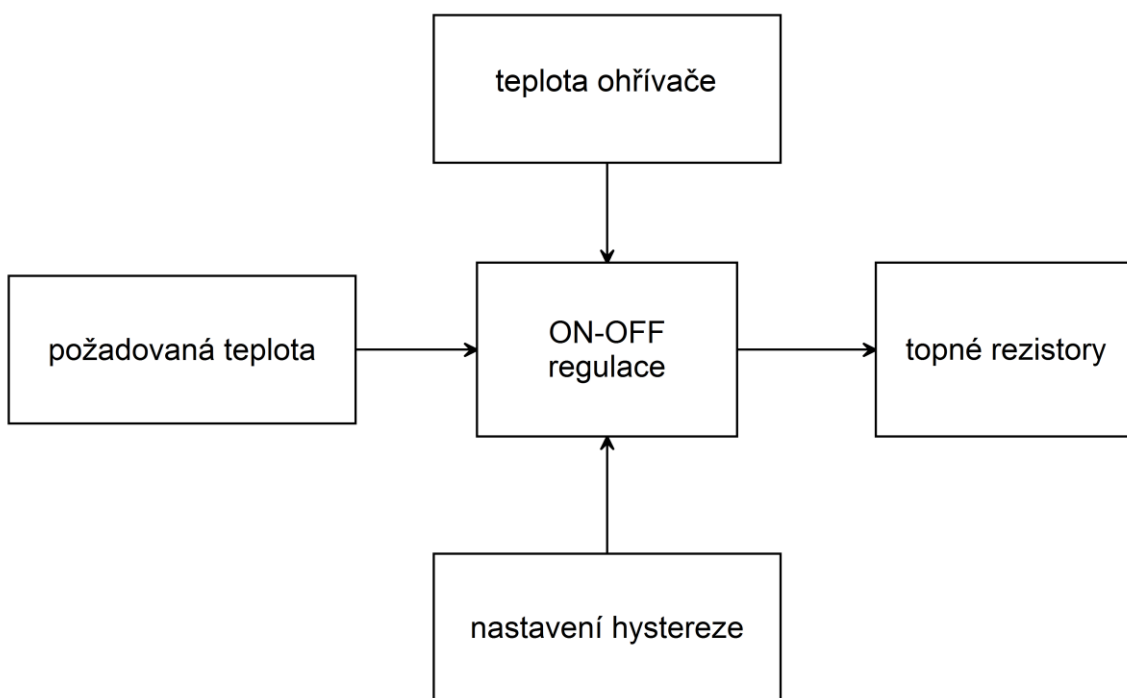
Obrázek 4.4 – Deska po osazení z přední strany

Obrázek 4.5 – Deska po osazení z dolní strany

5. Programová část

5.1 Regulace teploty ohřivače

Regulace teploty ohřivače je realizována pomocí dvoupólové regulace s hysterezí. Přičemž pomocí spínání topných rezistorů bude teplota ohřivače a tím i protékající kapaliny držena v žádaném rozsahu. V našem případě se bude jednat o rozsahy 40 °C až 50 °C a 50 °C až 55 °C. Tyto rozsahy zároveň definují i nastavenou hysterezi.



Obrázek 5.1 – Blokové schéma regulace

5.2 Řízení elektromagnetických ventilů

Elektromagnetickými ventily je řízen tok čisticí kapaliny a vody v systému. Proti pasterizaci, kdy je použito dávkování kapaliny, bude v čistícím modulu využito kontinuálního průtoku, to zajistí lepší odvod nečistot a zabrání znovu usazování již uvolněných nečistot. Pro popsání posloupností otevření elektromagnetických ventilů jsou na obrázku 5.2 barevně a číselně rozlišeny elektromagnetické ventily, konkrétně ventily

v původním přístroji jsou označeny fialovou číslicí a v čisticím rozšíření červenou číslicí. Dále jsou barevně naznačeny toky kapalin.

Při čištění dojde nejdříve k proplachu čisticí vodou, je tedy nutné otevřít ventil 3, pro přivedení hnacího vzduchu a ventil 1 pro vpuštění vody k ohřivači. Dále je nutné otevřít ventil 5 pro zprůchodnění cesty do pasterizační části systému a ventil 6 pro výstup kapaliny z pasterizační části systému. V pasterizační části je nutno otevřít ventily 7,8,9 a 10. To zaručí, že voda projde celým systémem. Na obrázku je tento tok označen zelenou barvou.

Další část čisticího procesu je proplach systému čisticím roztokem, to proběhne stejně v případě ventilů 5,6,7,8,9 a 10. Rozdíl bude v uzavření ventilů 1 a 3 a otevření ventilů 2 a 4. Na obrázku je tento tok vyznačen oranžovou barvou.

Na závěr čisticího procesu dojde k opětovnému propláchnutí čistou vodou stejně jako v prvním případě, z důvodu vypláchnutí čisticího roztoku ze systému.

5.3 Předpoklady správné funkce systému

Pro správnou funkci systému je nutné zajistit napětí v žádaném rozsahu. Řídící DPS potřebuje pro správnou funkci napětí minimálně 15 V. Elektromagnetické ventily potřebují dle výrobce napětí v intervalu 20,4 V až 27,6 V. Napětí na topných rezistorech je omezeno minimálním výkonem potřebným k ohřátí čisticí kapaliny. Tento výkon můžeme vypočítat z měrné tepelné kapacity vody:

$$c_{voda} = 4180 \frac{J}{kg \cdot K} = 1,16 \frac{W \cdot h}{kg \cdot K}$$

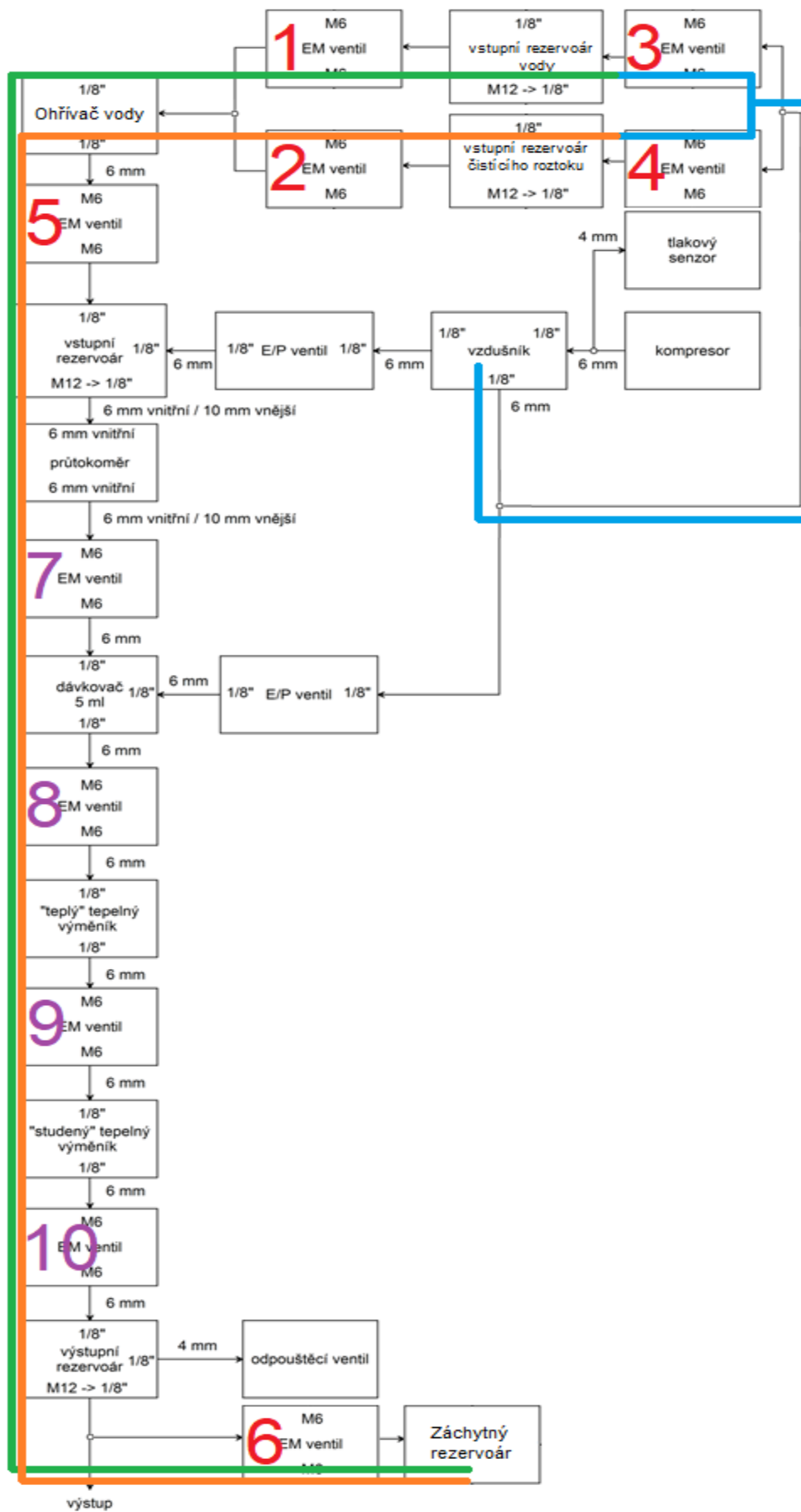
Ohřivaného množství, měrné hustoty vody, času potřebného k ohřátí a rozdílu teplot.

$$P = V \cdot c_{voda} \cdot m_{voda} \cdot \Delta T \cdot \left(\frac{3600}{\Delta t} \right) = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1,16 \cdot 30 \cdot \left(\frac{3600}{5} \right) = 125,3 W$$

Z toho to minimálního výkonu můžeme vypočítat minimální provozní napětí, které je rovno:

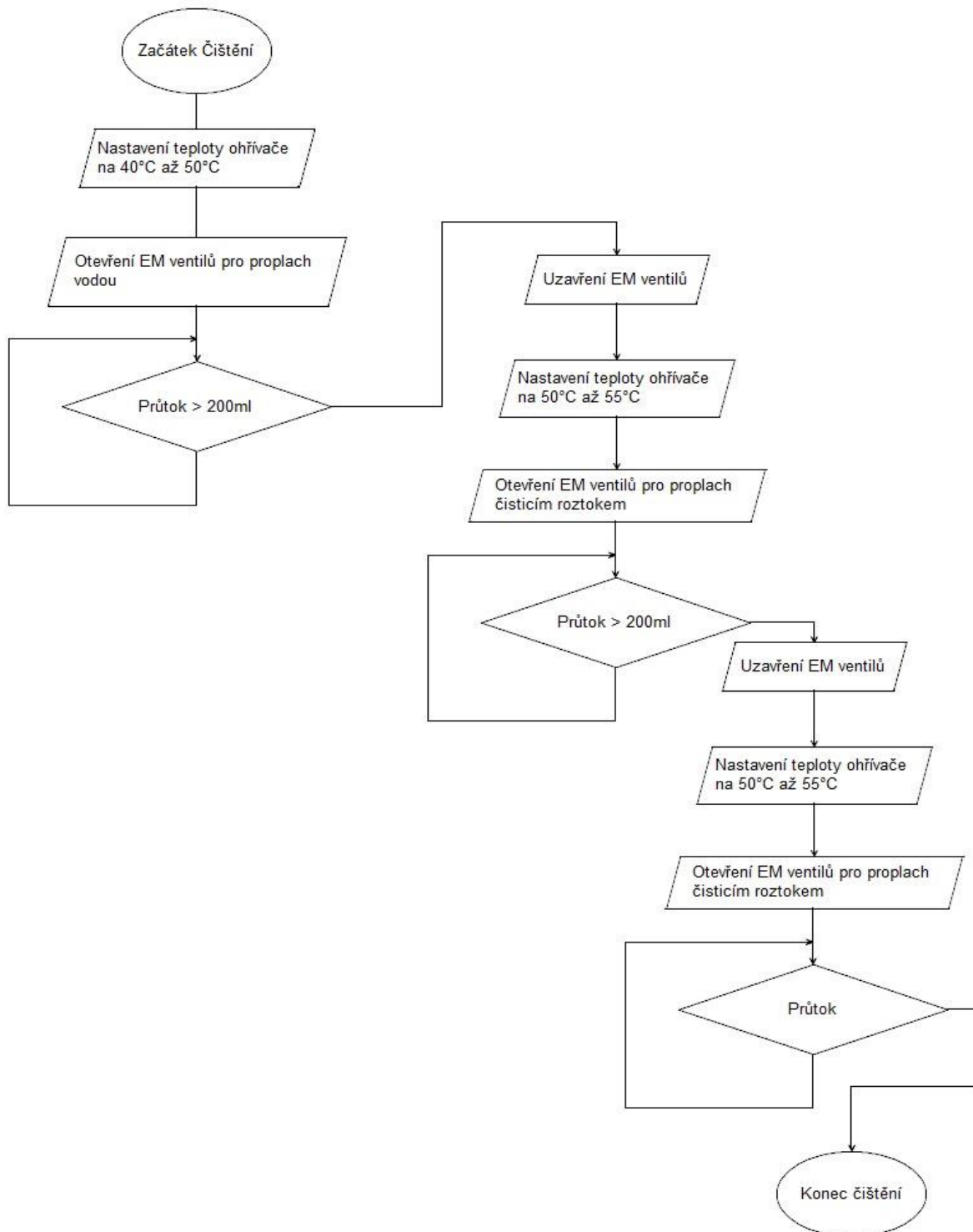
$$U_{min} = \sqrt{P_{min} \cdot R} = \sqrt{125,3 \cdot 4} = 22,39 V$$

Vzhledem k faktu, že napájení je realizováno spínaným zdrojem s regulací napětí v rozsahu 21 V až 27 V, neměl by s dodržáním těchto podmínek vzniknout žádný problém.



Obrázek 5.2 – vyznačení toků kapalin v systému

5.4 Vývojový diagram čisticího programu



Obrázek 5.3 - Vývojový diagram čisticího programu

6. Ekonomický rozbor

Celková cena zařízení pro sériovou výrobu byla v předchozí práci vyčíslena na 20 595 Kč. Tuto částkou budu brát jako neměnnou a ve svém ekonomickém rozboru se již budu zabývat pouze cenou rozšíření.

| Komponent | Počet | Cena za kus | Cena celkem |
|-------------------------------|--------------|--------------------|---|
| Deska plošného spoje | 1 | 2700,- | 2700,- |
| Elektromateriál | - | - | 1000,- |
| Elektromagnetické ventily | 6 | 299,- | 1794,- |
| Výměna poškozených součástek | - | - | 950,- |
| Mechanické díly | - | - | Zdarma – odhadovaná cena při nákupu 500,- |
| Rezervoáry | 3 | 100 | 300,- |
| Ostatní materiál | - | - | Zdarma – odhadovaná cena při nákupu 300,- |
| Celková cena rozšíření | | | 7544,- |
| Cena zařízení před rozšířením | | | 20595,- |
| Celková cena včetně rozšíření | | | 28139,- |

Tabulka 6.1 – Ceny jednotlivých komponent

Celková cena zařízení se zdá vysoká, ale je nutno zdůraznit, že se jedná o prototyp a cena by se dala snížit použitím průmyslových postupů výroby. Pokud cenu srovnáme s cenou podobně komplexního zařízení, jako například poloautomatického kávovaru s cenou kolem dvaceti až padesáti tisíc korun, a vezmeme v úvahu snížení ceny při průmyslové výrobě, můžeme označit možný prodej za reálný.

Dále uvádím tabulku s možnými dodavateli součástek a materiálu, který je nutný k zhotovení přístroje.

| Komponenta | Výrobce/Dodavatel | Lze objednat z |
|------------------------------|-------------------------------------|--|
| Tepelné výměníky | Kovoobrábění | www.kovoobrabeni-pokorny.webmium.com |
| Vstupní dávkovač | Pokorný | |
| 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 |
| Eloxace hliníkových dílů | BOMEX - CZ s.r.o. | www.bomex.cz |
| Láhve sodastream | FAST ČR, a.s | www.sodastream.cz |

Tabulka 6.2 – přehled možných dodavatelů komponent[2] (tabulka doplněna o poslední dvě položky)

7. Závěr

U návrhu modulu čištění domácí pasterizační jednotky byla jedním z hlavních cílů dobrá kompatibilita s původním zařízením. To do určité míry omezilo možnosti čištění systému, neboť původní zařízení je vyrobeno z materiálů, které nemohou přijít do kontaktu s hydroxidem sodným. Z konzultace s Martinem Kuchaříkem, vedoucím údržby v mlékárně MORAVIA LACTO, a. s., vyplynulo, že čištění za pomoci enzymů, které bylo také doporučeno, má nižší účinnost než čištění hydroxidem sodným, který se používá v průmyslových aplikacích.

V mechanické části návrhu byl kladen důraz na použití levnějších řešení než v původní práci, což se povedlo. Místo zakázkově vyráběných dílů v původní práci bylo použito levnějších řešení, která poskytnou srovnatelné vlastnosti. Přidané mechanické díly čistícího rozšíření se povedlo zařadit do původní konstrukce, aniž by se výrazně zvětšila její velikost.

Při návrhu elektrické části jsem se snažil držet vlastností stanovených původní prací, čili použití jednotného napájecího napětí a řízení pouze jedním mikrokontrolerem na místo dalších řídicích obvodů. Tyto požadavky byly splněny, zařízení je tak napájeno jedním spínaným zdrojem a všechny akční členy pracují na napětí 24 V. Celé zařízení je řízeno jedním mikrokontrolerem, který ovládá jak proces pasterizace, tak proces čištění. Deska plošného spoje obsahuje všechny výkonové součástky, a tím přispívá ke kompaktnosti výsledného řešení.

Při navrhování řízení celého procesu čištění, bylo dbáno na nepřekročení limitujících vlastností pasterizační a čistící části, ale zároveň na dosažení co nejlepšího čistícího efektu. Regulace teploty čistící kapaliny, posloupnost otevírání elektromagnetických ventilů i změna druhu čistící kapaliny je řízena za pomoci mikrokontroleru.

8. Zdroje

1. **Kubín.** *Bakalářská práce, Domácí pasterizační jednotka.* Praha : ČVUT FEL, 2013.
2. **Kubín.** *Diplomová práce, Domácí pasterizační jednotka NG.* Praha : ČVUT FEL, 2015.
3. **Microchip.** *PIC24FJ128GA010 FAMILY.* [Datasheet] 2012.
4. **Sbírka zákonů č. 397 / 2016.** *VYHLÁŠKA ze dne 2. prosince 2016 o požadavcích na mléko a mléčné výrobky, mražené krémy a jedlé tuky a oleje.*
5. **Klouda.** *Bakalářská práce, Čištění a sanitace v prvovýrobě mléka.* Brno : MENDELU, 2006.
6. **Alldatasheet.com [online].** [cit.2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/>

9. Přílohy

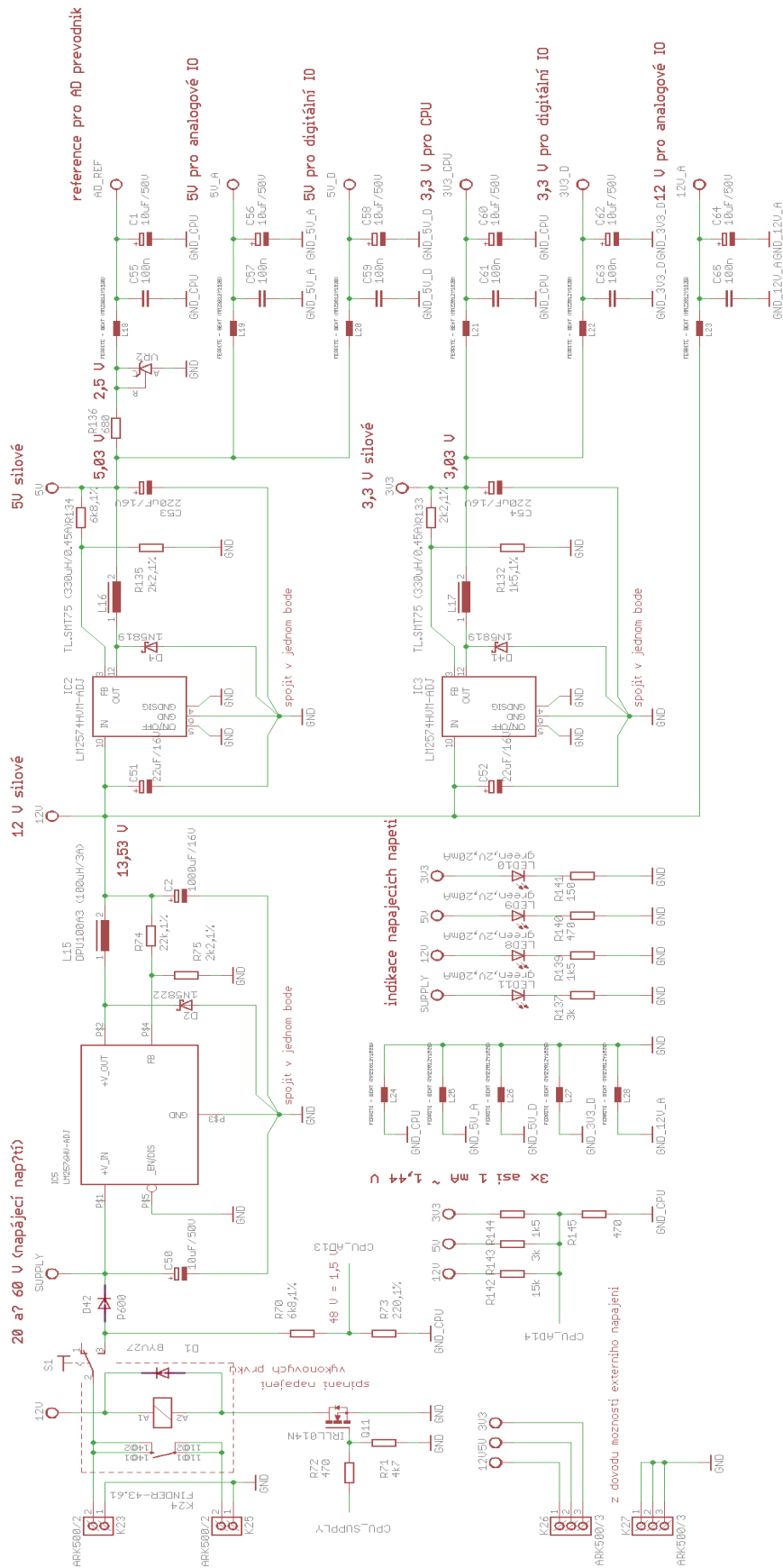
9.1 Seznam součástek

| popis | hodnota | pouzdro | počet |
|--------------------------------|------------------------|---------|-------|
| SMD rezistor | 10R | 1206 | 30 |
| SMD rezistor | 22R | 1206 | 4 |
| SMD rezistor | 150R | 1206 | 1 |
| SMD rezistor | 220R,1% | 1206 | 11 |
| SMD rezistor | 470R,1% | 1206 | 27 |
| SMD rezistor | 680R,1% | 1206 | 9 |
| SMD rezistor | 1K,1% | 1206 | 28 |
| SMD rezistor | 1K5,1% | 1206 | 7 |
| SMD rezistor | 2K2,1% | 1206 | 20 |
| SMD rezistor | 3K | 1206 | 2 |
| SMD rezistor | 4K7,1% | 1206 | 15 |
| SMD rezistor | 6K8,1% | 1206 | 12 |
| SMD rezistor | 10K,1% | 1206 | 9 |
| SMD rezistor | 15K | 1206 | 1 |
| SMD rezistor | 22K,1% | 1206 | 1 |
| SMD rezistor | 100K | 1206 | 4 |
| rezistor (bočník) | 0R01,5W,5% | | 3 |
| topný rezistor | RESISTOR, 50W 5% 1R0 | | 4 |
| SMS elektrolytický kondenzátor | 22uF/16V | | 4 |
| SMS elektrolytický kondenzátor | 220uF/16V | | 2 |
| SMS elektrolytický kondenzátor | 1000uF/16V | | 1 |
| SMD keramický kondenzátor | 100nF | 1206 | 33 |
| SMD keramický kondenzátor | 1uF | 1206 | 4 |
| SMD keramický kondenzátor | 10uF/50V | 1206 | 1 |
| dioda | 1N4148 | | 5 |
| dioda | 1N5819 | | 2 |
| dioda | 1N5822 | | 1 |
| dioda | BYV27 | | 14 |
| dioda | BAT54S | | 36 |
| dioda | P600 | | 4 |
| cívka | DPU100A3 (100uH/3A) | | 1 |
| cívka | FERRITE - BEAT | | |
| cívka | (MMZ2012Y152B) | | 15 |
| cívka | TL.SMT75 (330uH/0.45A) | | 3 |
| 2 polohy, přepínač | 320-916 | | 1 |
| konektor, 5 pinů, zahnutý | 1X05/90 | | 1 |
| konektor, 4 piny, zahnutý | 1X04/90 | | 1 |
| konektor | ARK500/2 | | 5 |
| konektor | ARK500/3 | | 2 |
| konektor | ARK550/2 | | 20 |
| konektor | ARK550/3 | | 3 |

| | | |
|------------------------------|--------------------------|----|
| relé | FINDER-43.61 | 1 |
| EEPROM paměť | 24C32ASM | 1 |
| hradla | 74ACT08D | 1 |
| BJT tranzistor | BC848 | 4 |
| BJT tranzistor | MPSA92 | 4 |
| MOSFET tranzistor | IRFZ44 | 4 |
| MOSFET tranzistor | IRLL014N | 13 |
| LED zelená | green,2V,20mA | 7 |
| 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 | 4 |

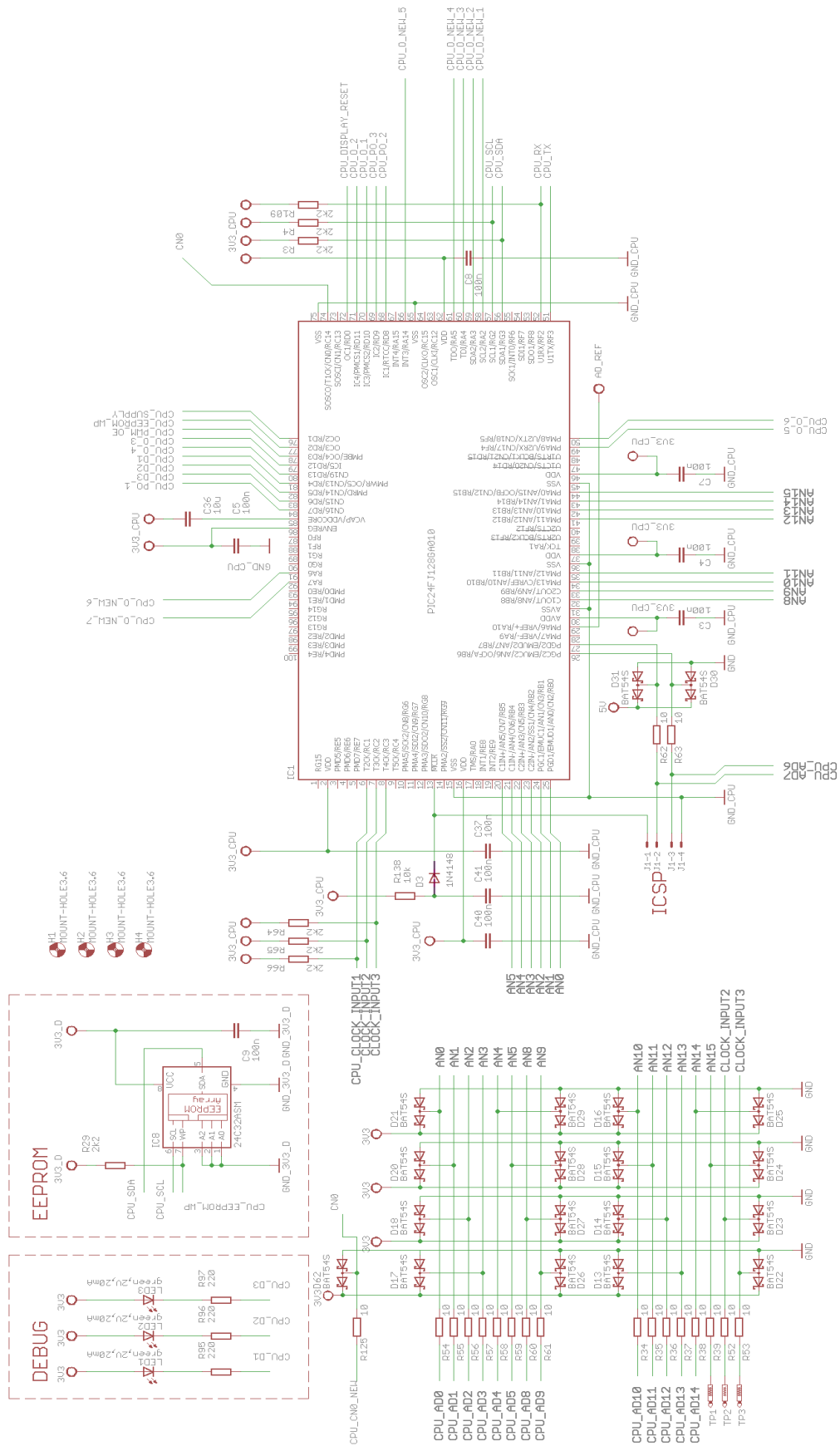
Tabulka 9.1 Seznam součástek

9.2 Schéma napájecí části



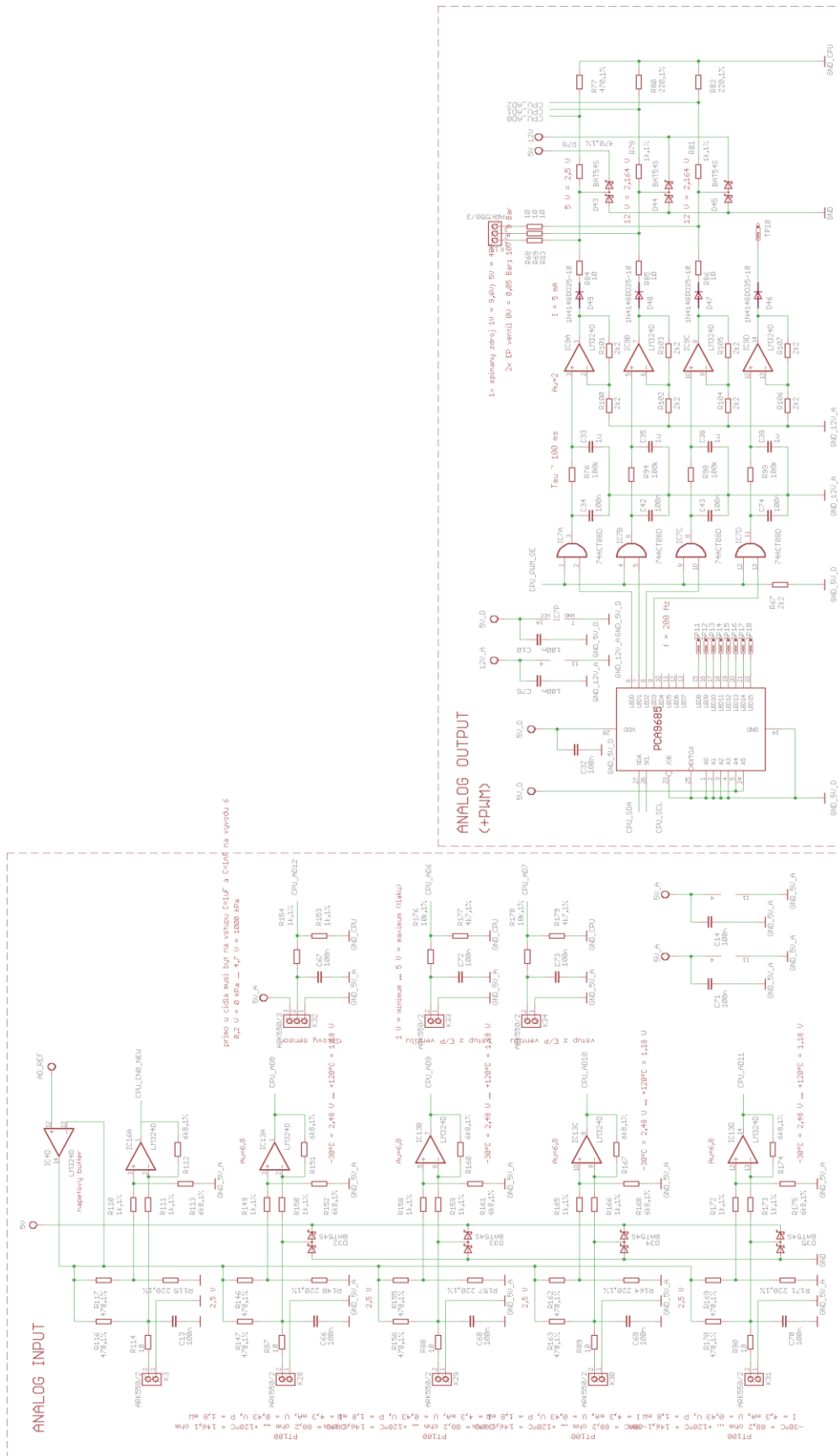
Obrazek 9.1 Schéma napájecí části

9.3 Schéma řídicí části



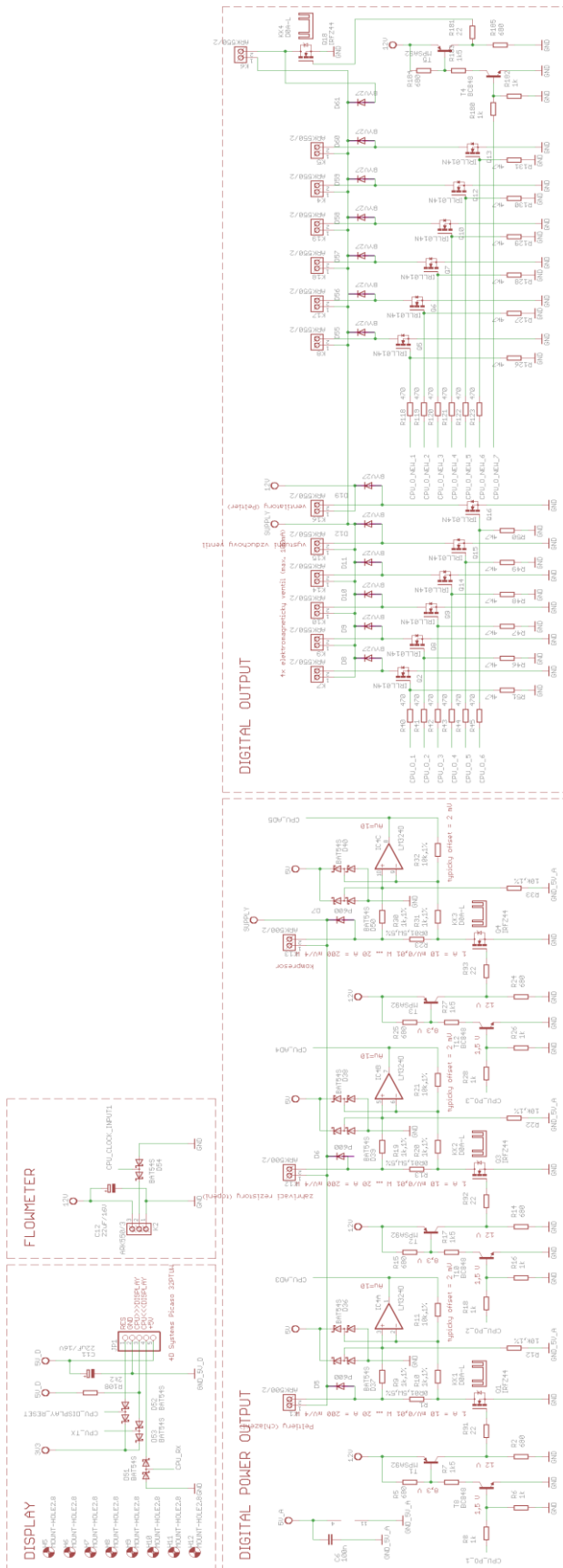
Obrázek 9.2 – Schéma řídicí části

9.4 Schéma analogové části



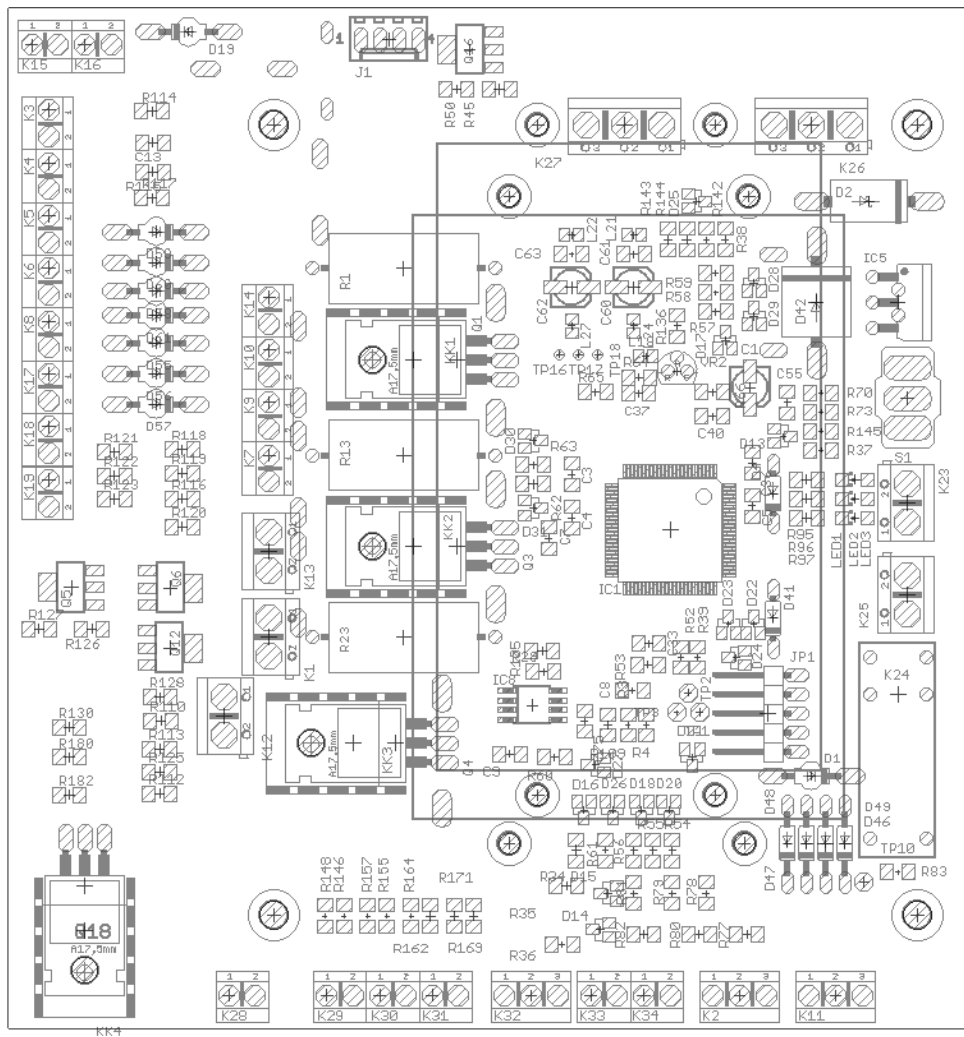
Obrázek 9.3 – Schéma analogové části

9.5 Schéma digitální části



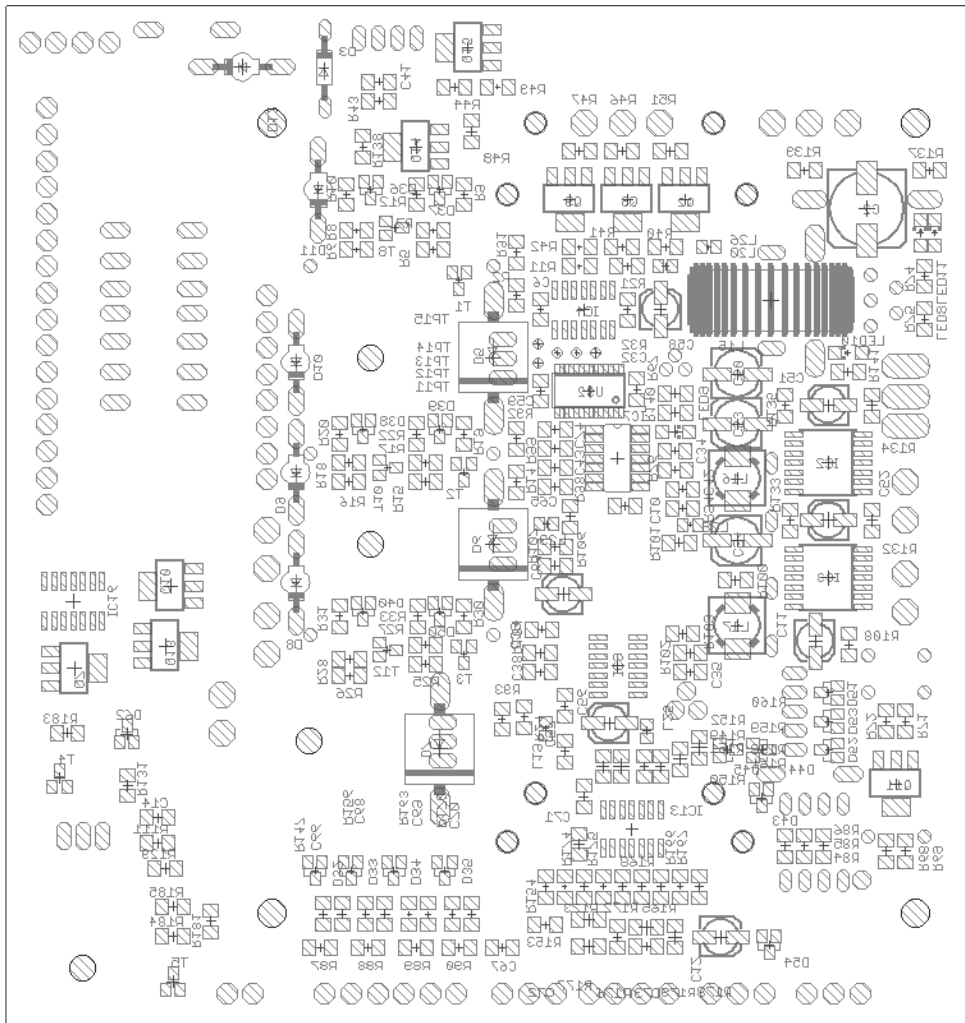
Obrázek 9.4 – Schéma digitální části

9.6 Osazovací přepis pro horní stranu



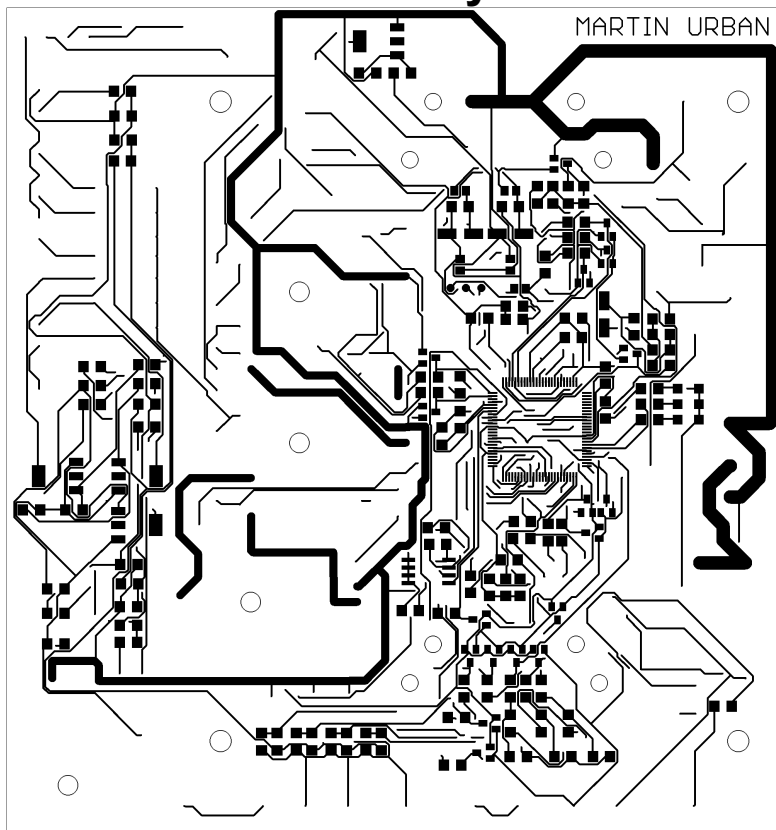
Obrázek 9.5 – 1.1 Osazovací přepis pro horní stranu

9.7 Osazovací přepis pro dolní stranu

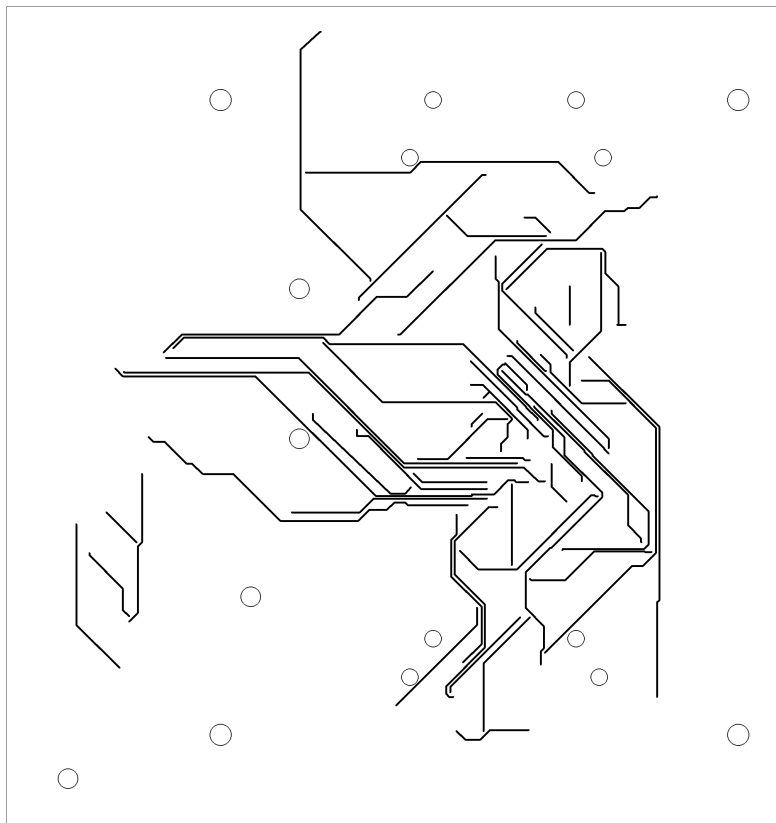


Obrázek 9.6 - Osazovací přepis pro dolní stranu

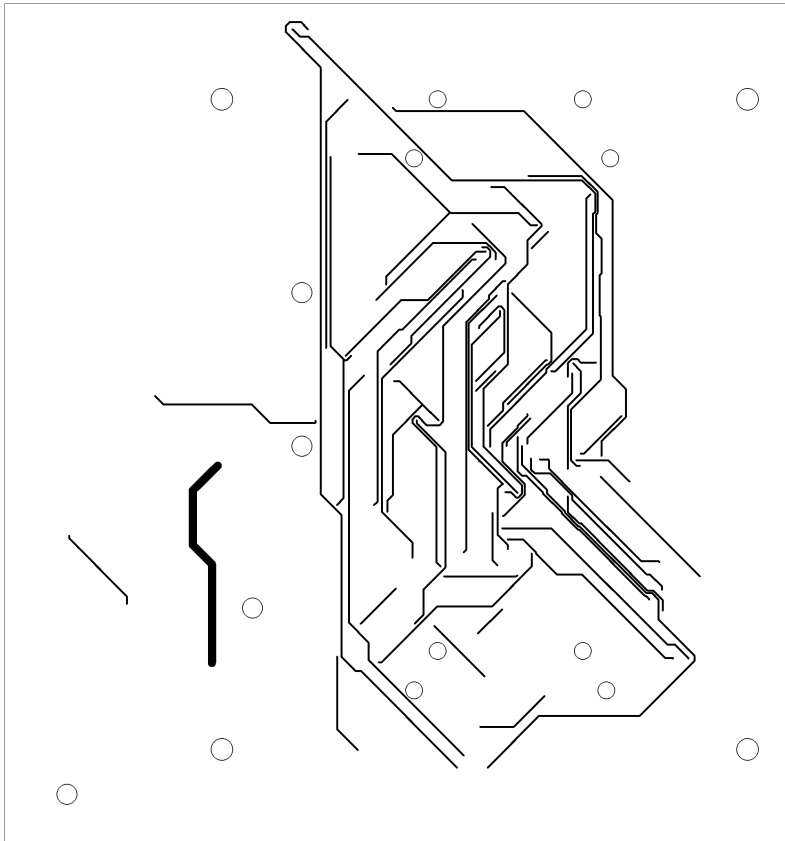
9.8 Jednotlivé vrstvy DPS



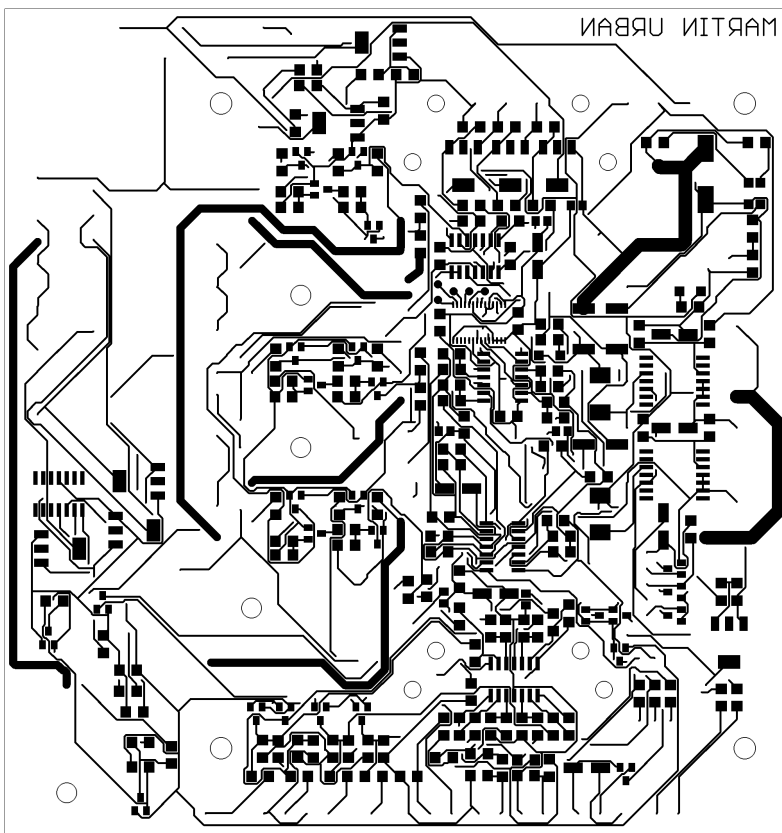
Obrázek 9.7 – Horní vnější strana DPS



Obrázek 9.8 – Horní vnitřní strana DPS



Obrázek 9.9 – Dolní vnitřní strana DPS



Obrázek 9.10 – Dolní vnější strana DPS

9.9 Fotodokumentace



Obrázek 9.11 – Nasávací vložka

Obrázek 9.12 – Rezervoár osazený nasávací vložkou



Obrázek 9.13 – Detail nasávací vložky



Obrázek 9.14 – Ohříváč čisticí vody