

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Řídící systém lisu BrikStarEk.  
Control Unit for BrikStarEk Press.**

**vedoucí práce: Ing. Jaroslav Fiřt, Ph.D.  
autor: Bc. Milan Kratochvíl**

**2013**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Milan KRATOCHVÍL**  
Osobní číslo: **E11N0024K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Řídicí systém lisu BrikStarEk**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište princip řízení lisu BrikStarEk.
2. Navrhněte vlastní řídicí systém - pro modifikovatelnost vlastností řízení použijte vhodný mikroprocesor.
3. Navrhněte DPS, proveďte prototypové odzkoušení funkčnosti.
4. Vytvořte řídicí sw pro vybraný mikroprocesor a ověřte funkčnost celého zařízení.
5. Zhodnoťte dosažené vlastnosti nové ovládací jednotky. Doporučte možné změny.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Jaroslav Fiřt, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na řešení vlastního řídicího systému pro lis BrikStarEk. Cílem je vyvinout jednoduché levné jednoúčelové zařízení, které nahradí několik dražších součástí stávajících lisů. Tento cíl je dán požadavkem na co nejlevnější finální lis, který zůstane plně automatický. V práci jsou postupně popsána řešení jednotlivých dílčích problémů jako výběr mikroprocesoru, zapojení analogových a digitálních vstupů a výstupů, zapojení zdrojové části, řešení jednotlivých částí programu v mikroprocesoru a nakonec zkušenosti se zkušebním provozem prvního prototypového lisu.

## **Klíčová slova**

Řídicí systém, automatický hydraulický lis, řízení práce lisu.

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is to design control system for BrikStarEk press. Requirements for the new design were to be still fully automatic and cheap as possible. The finally designed device is simple, low-cost and substitutes several expensive parts of existing press control system.

In this thesis are also described solved issues such as selection of the microprocessor, connection of analogue and digital inputs and outputs, power source design, ideas of program code for microprocessor and finally results of first press prototype tests.

## **Key words**

Control unit, automatic hydraulic press, press control operation.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 26.4.2013

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Fiřtovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Bc. Tomáši Köhlerovi.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 SEZNÁMENÍ SE STÁVAJÍCÍM LISEM BRIKSTAR</b> .....	<b>10</b>
1.1 PRINCIP ČINNOSTI LISU .....	12
1.2 POUŽITÉ ELEKTRICKÉ KOMPONENTY A ZAŘÍZENÍ.....	12
1.3 PŘEDSTAVENÍ LISU BRIKSTARĚK .....	12
1.4 PRINCIP LISU BRIKSTARĚK.....	14
<b>2 ŘEŠENÍ HARDWAROVÉ ČÁSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBECNÝ POPIS DESKY A MOŽNOSTÍ.....	15
2.2 ZDROJOVÁ ČÁST .....	15
2.3 DIGITÁLNÍ VÝSTUPY .....	17
2.4 DIGITÁLNÍ VSTUPY .....	18
2.5 ANALOGOVÝ VSTUP.....	19
2.6 INFORMAČNÍ VSTUP PRO SLEDOVÁNÍ STAVU NAPÁJENÍ .....	20
2.7 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ .....	21
2.8 MIKROPROCESOR.....	22
<b>3 ŘEŠENÍ SOFTWAREVÉ ČÁSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU</b> .....	<b>24</b>
3.1 VÝBĚR PROGRAMOVACÍHO PROSTŘEDÍ.....	24
3.2 SOFTWARE V MIKROPROCESORU.....	24
3.3 ČASOVAČE.....	25
3.4 ARITMETIKA – CELOČÍSELNÉ NÁSOBENÍ A DĚLENÍ .....	28
3.5 MĚŘENÍ PROUDU A VÝPOČET TLAKU .....	32
3.6 MĚŘENÍ DÉLKY BRIKETY A VÝPOČET DÁVKY.....	33
3.7 KOMUNIKACE, BOOTLOADER.....	34
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>35</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>36</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>36</b>



## Seznam symbolů

PLC – programovatelný logický automat.

$T$  – čas jedné periody

$t$  – hledaný čas nabíjení a vybíjení kondenzátoru

$t_{90^\circ}$  – doba průběhu sin funkce od  $0^\circ$  do  $90^\circ$  při 50Hz

## Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na vytvoření a užití jednoduchého jednoúčelového řídicího systému pro automatický lis BrikStarEk. Tento řídicí systém má sloužit jako náhrada drahých komponent od profesionálních výrobců PLC a napájecích zdrojů. Důvodem takového vývoje je snížení finální ceny nově vyvíjeného lisu a také zvýšení nezávislosti výrobce lisů na některých méně spolehlivých dodavatelích.

Práce je rozdělena do čtyř částí. První se zabývá představením lisů BrikStar, popisem lisovacího cyklu a popisem použitých elektrických komponent u stávajících lisů. Druhá část popisuje řešení hardwarové části řídicí jednotky při jejím vývoji. Ve třetí části je popsán postup vývoje software a řešení různých částí programu pro mikroprocesor. Čtvrtá část zhodnocuje první prototypový výrobek lisu BrikStarEk a také zkušenosti s vývojem a prvním provozem lisu.

Cílem vývoje celého řídicího systému je navrhnout vyrobít a odzkoušet jednoduchou jednoúčelovou levnou „černou krabičku“, která zastane více funkcí a tím nahradí několik dražších komponent a zároveň zmenší rozměry výsledného elektrického rozváděče. Tím se také sníží výsledná cena lisu.

## 1 Seznámení se stávajícím lisem BrikStar

BrikStar je briketovací lis (obrázek 1.2) pro zpracování spalitelných odpadů stlačením materiálu jako například pilin, hoblin, drceného papíru, drcené slámy, textilních vláken a dalších materiálů. Stroj je koncipován jako plně automatický hydraulický lis, kde pohyb válců, hlídání stavů materiálu, oleje a dalších veličin detekuje a řídí PLC Twido od firmy Schneider-Electric. Tento lis je používán například jako samostatně stojící, kdy obsluha ručně plní násypku materiálem a lis automaticky produkuje brikety, nebo jako součást odvětrávacího či dopravního systému například v truhlářských, papírenských nebo textilních závodech, kde je materiál dopravován pomocí vzduchotechnického zařízení od obráběcích strojů do násypky lisu. [2]

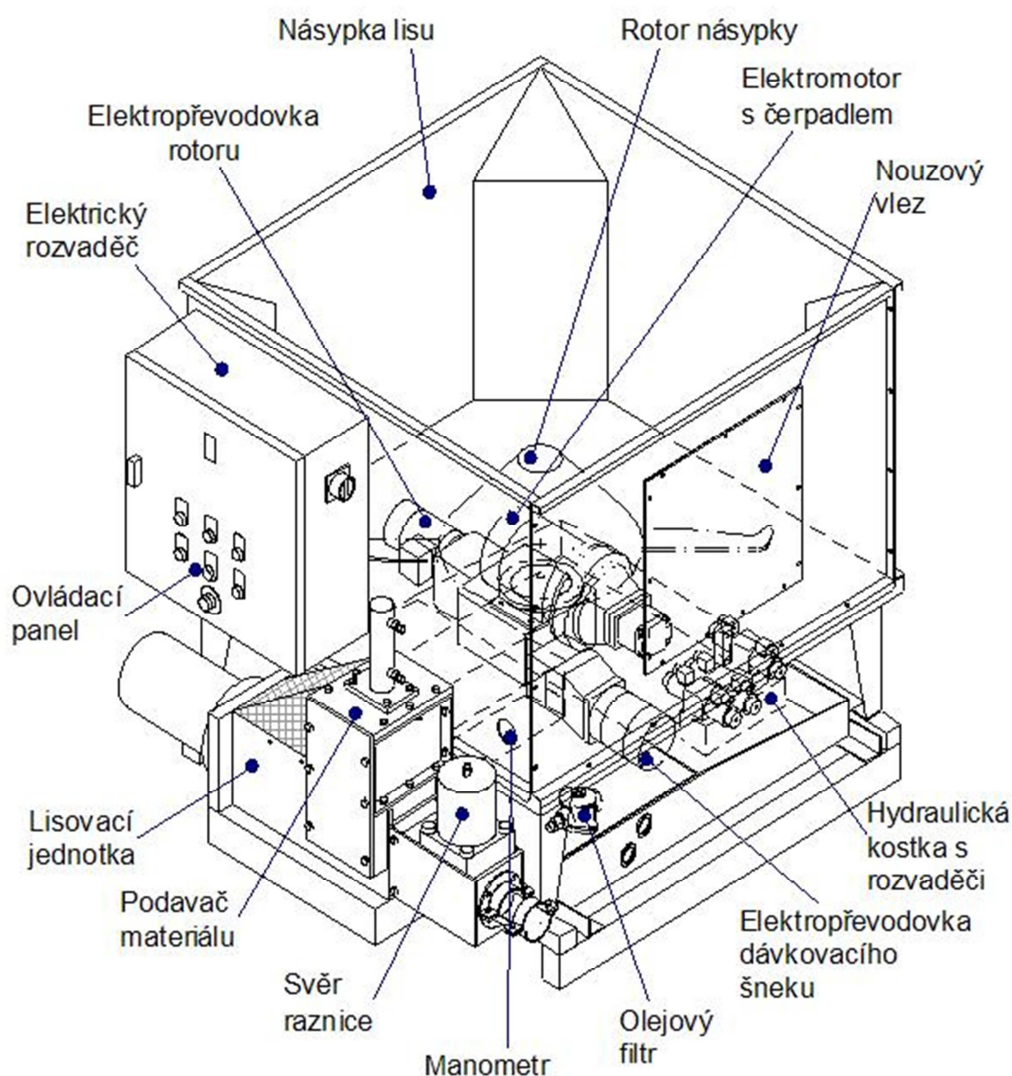
Lisování se provádí jednak kvůli snazší manipulaci s briketami než s neslisovaným materiálem, dále kvůli zmenšení objemu výsledných briket oproti neslisovanému materiálu. Také se materiály lisují kvůli možnosti snazšího spalování briket než neslisovaného materiálu a dále proto, že brikety mají vyšší výhřevnost nežli neslisovaný materiál. Některé materiály, které není vhodné spalovat, se lépe skladují, lépe přepravují a následně lépe zpracovávají nežli v neslisovaném stavu. Příklad materiálu se snazší manipulací a úsporou nákladů na přepravu je polystyren, který je známý jako lehký, avšak brikety z něj vyprodukované, ze kterých je při lisování vytlačen i vzduch, mají výslednou hustotu i několik kilogramů na  $\text{dm}^3$  a objemové zmenšení je téměř čtyřicetinásobné (Obrázek 1.1). Tímto slisováním se ušetří právě na nákladech při skladování a dopravě odřezků polystyrenu ke druhotnému zpracování.

**Poznámka:** Standartní brikety mají délku cca 6cm. Brikety z polystyrenu na obrázku 1.1 mají pouze 0,5cm a 1cm.



Obrázek 1.1: 6 briket slisovaného polystyrenu

Vyrábí se také lisy na železné nebo hliníkové piliny. Důvodem lisování kovových pilin je následné zpracování, protože většina kovových pilin vhozených do tavných pecí pouze shoří, avšak brikety jsou přetaveny na odlitky pro následné opětovné zpracování. Dalším závažným důvodem lisování kovů je vytlačení drahých chladicích kapalin a olejů, které se po vyčištění nebo filtraci vrací zpět do obráběcích strojů. Takto vytlačené chladivo dále neznečišťuje proces tavení.



Obrázek 1.2: Náhled lisu s popisem jednotlivých částí [2]

## 1.1 Princip činnosti lisu

Na stroji (obrázek 1.2) je osazen lisovací rám, na kterém se nachází lisovací válec, podavač a svěr. Tyto hydraulické válce jsou ovládány spolu s dávkovacím šnekem v určitém pořadí a určitých časech. Materiál je šnekem nadávkován pod podavač. Následuje sevření svěru a podavač udělá první přesun a jakési malé předlisování materiálu. Dále je odstartován pohyb lisovacího válce vpřed, který provede vlastní slisování materiálu do výsledné brikety. Při dosažení příslušného tlaku se předpokládá, že je briketa slisována a proto je otevřen svěr, aby mohl lisovací válec briketu vysunout ven z lisovací komory. Materiál je pouze stlačen a není do něj přidávána žádná příměs. Kovové piliny drží tvar brikety zaklesnutím tvarů pilin vzájemně do sebe. Dřevěné materiály při vyšším tlaku jednak mění tvar a jednak vylučují lignit, který způsobí, že brikety drží pohromadě. Většina dalších materiálů drží díky změně struktury způsobené jednak vlastním lisováním a také teplem, které při tomto lisování vzniká[2].

## 1.2 Použité elektrické komponenty a zařízení

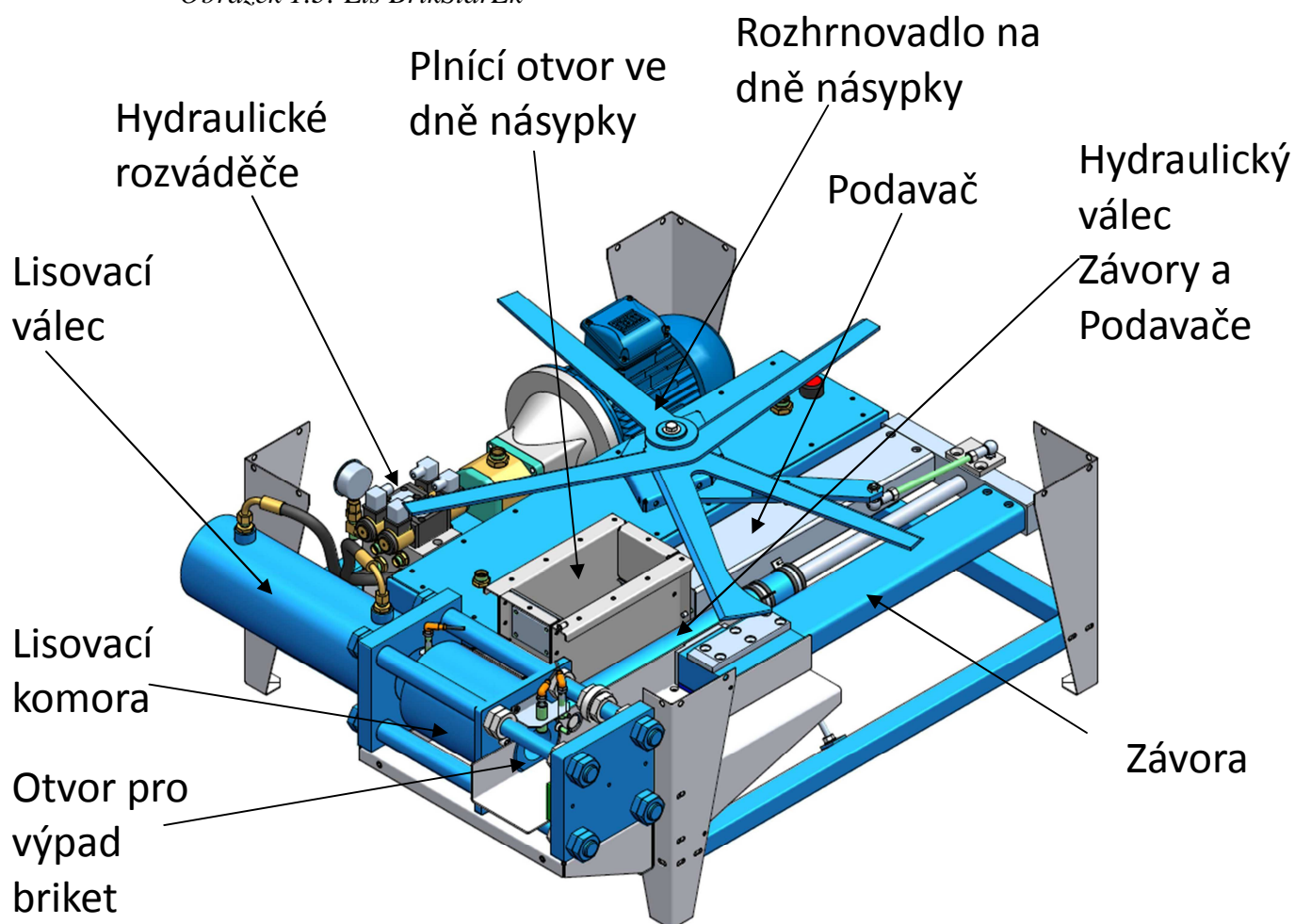
Aby byly montáž a servis lisu co nejjednodušší a cena lisu nepřekročila zákaznický neakceptovatelnou mez, využívají se kompletní balíčky sestavené firmou Schenider-Electric, které obsahují vlastní rozvaděč, jističe, PLC, svorky a montážní materiál. Použité PLC je řady Twido. Dále se v rozvaděči nachází snímač velikosti odebíraného proudu hydraulického motoru. Tento snímač nahrazuje drahý hydraulický snímač tlaku v hydraulickém systému. Proudový snímač obsahuje dva výstupní kontakty, které spínají při překročení příslušného proudu neboli při překročení odpovídajícího tlaku v hydraulickém systému. Ve větších lisech a na speciálních materiálech se používá přímé měření hydraulického tlaku pomocí senzoru s výstupní proudovou smyčkou 4–20mA. V PLC je jednoduchý přepočítání tohoto proudu na tlak v hydraulickém systému.

## 1.3 Představení lisu BrikStarEk

Lis BrikStarEk byl vyvinut kvůli požadavkům trhu na co nejlevnější, avšak automatický lisovací stroj. Kvůli ceně byly přepracovány některé části a to dokonce tak, že plní dvě různé funkce při zachování principů lisování. Oproti standardnímu lisu není lis BrikStarEk (Obrázek 1.3) osazen elektricky poháněným dávkovacím šnekem, svěrem a podavačem ve svislé poloze. Na stroji (obrázek 1.4) je osazen lisovací rám, na kterém se nachází lisovací válec, podavač/závora, lisovací komora, hydraulické rozváděče a další prvky.



Obrázek 1.3: Lis BrikStarEk



Obrázek 1.4: Lis BrikStarEk – detail vnitřního uspořádání

## 1.4 Princip lisu BrikStarEk

Hydraulické válce tohoto lisu jsou ovládány v určitém pořadí a určitých časech, čímž se dosahuje automatické funkce lisu. Podavač se nachází ve dně násypky a jeho otevřením se do něj přesouvá materiál ke slisování. Následuje zavření podavače, který zároveň udělá přesun a jakési první velmi malé předlisování materiálu. Protože podavač a závora jsou na jednom hydraulickém válci, způsobí zavření podavače, zavření lisovací komory pomocí závory. Dále je odstartován pohyb lisovacího válce vpřed, který provede vlastní slisování materiálu do výsledné brikety. Při dosažení příslušného tlaku se předpokládá, že je briketa slisována, lisovací válec uvolní tlak a podavač/závora udělá krátký pohyb vzad, aby otevřel lisovací komoru a aby mohl lisovací válec vysunout briketu ven z lisovací komory. Pohyb podavače/závory je natolik krátký aby ještě neotevřel místo kde padá materiál do plnicího otvoru, ale dostatečně dlouhý aby šla vysunout briketa ven z lisovací komory. Po vysunutí brikety lisovacím válcem následuje jeho návrat do zadní polohy a otevření dna násypky pomocí podavače/závory. Takto se cyklus opakuje stále dokola, dokud není lis odstaven. [2].

## 2 Řešení hardwarové části řídicího systému

### 2.1 Obecný popis desky a možností

Stávající rozváděče obsahují několik zařízení, a sice zdroj, řídicí systém, spínací jednotku, snímač proudu nebo tlaku, stykače, jištění, tlačítko nouzového zastavení, vypínač a vlastní rozváděč. Každá z těchto částí je potřebná pro chod automatického lisu. Jističe, stykače, tlačítko nouzového zastavení, vypínač a rozváděč v zařízení zůstat musí. Možností jak snížit náklady je menší rozváděč a jednoúčelová deska slučující zdroj, řídicí systém, spínací jednotku a snímač proudu. Na trhu nikdo nevyrábí takovou desku a tak bylo nutné ji navrhnout vyrobit a odladit.

### 2.2 Zdrojová část

Ve většině lisů, které firma Briklis vyrábí, je používán oddělovací transformátor 400V/19V/200W. Aby nebyly uměle zvyšovány náklady na vývoj či na montáž, bylo vedením firmy rozhodnuto, že ve stroji BrikStarEk bude užit tento transformátor. Pro svou činnost potřebuje lis napájení 24VDC pro hydraulické magnety, stykač a indukční senzory. Dále je potřeba napájet mikroprocesor a vstupně-výstupní obvody řídicího systému. Díky předchozímu rozhodnutí jsem musel navrhnout zdroj tak, aby se tato napájecí napětí vzájemně co nejméně rušila a proto jsem rozhodl o užití dvou čtyřcestných usměrňovacích můstků. Za prvním můstkem jsou osazeny pouze filtrační kondenzátory a toto napětí se používá k napájení magnetů hydraulických rozváděčů, stykače a kontrolky provozu lisu. Předpokládaný maximální odběr, z této části zdroje, je 2A. Zjednodušeným výpočtem jsem zjistil, že zvlnění napětí při tomto proudu bude přibližně 3,7V a špičkový proud tekoucí přes usměrňovací můstek bude přibližně 9,5A. Abych nezvyšoval náklady a aby se můstek zbytečně nezahříval, zvolil jsem usměrňovací můstek, který firma Briklis standartně používá a který má jmenovitý proud 25A.

Pro výpočet úbytku napětí při vybíjení kondenzátorů jsem nejprve odhadem stanovil čas vybíjení 8,5ms. Následnými výpočty jsem tento čas upřesnil na 8,3ms.

$$i = C \frac{\Delta U}{\Delta t} \Rightarrow \Delta U = \frac{2A \cdot 8,3ms}{4,4mF} \approx 3,7V$$

Pro výpočet proudu při nabíjení kondenzátorů jsem nejprve odhadem stanovil čas nabíjení 1,5ms. Následnými výpočty jsem tento čas upřesnil na 1,7ms.

$$t = t_{90^\circ} - \frac{\sin^{-1}\left(\frac{U - \Delta U}{U}\right) \cdot T}{360} = \frac{90 \cdot 20}{360} - \frac{\sin^{-1}\left(\frac{19 \cdot \sqrt{2} - 3,7}{19 \cdot \sqrt{2}}\right) \cdot 20}{360} \approx 1,7ms$$



Ze spočtených časů jsem spočetl proud, procházející usměrňovacím můstkem, na 9,5A.

$$i = C \frac{\Delta U}{\Delta t} = 4,4mF \frac{3,7V}{1,7ms} \approx 9,5A$$

Maximální úbytek 3,7V na funkci magnetů, stykačů a kontrolních světel nemá vliv a tak jsem navrhnuté zapojení dále neupravoval.

Z druhého usměrňovacího můstku jsou tvořena dvě napětí. Napětí 24V je určeno pro senzory. Napětí 5V je určeno pro napájení mikroprocesoru a vstupně-výstupních obvodů řídicího systému. Maximální proud odebíraný z těchto dvou napětí je v součtu 2A. Zjednodušeným výpočtem jsem zjistil, že zvlnění napětí při tomto proudu bude přibližně 6,9V a špičkový proud tekoucí přes usměrňovací můstek bude přibližně 6,3A. Protože se jedná o špičkové zatížení zvolil jsem můstek se jmenovitým proudem 6A.

Pro výpočet úbytku napětí při vybíjení kondenzátorů jsem nejprve odhadem stanovil čas vybíjení 7ms. Následnými výpočty jsem tento čas upřesnil na 7,6ms.

$$i = C \frac{\Delta U}{\Delta t} \Rightarrow \Delta U = \frac{2A \cdot 7,6ms}{2,2mF} \approx 6,9V$$

Pro výpočet proudu při nabíjení kondenzátorů jsem nejprve odhadem stanovil čas nabíjení 3ms. Následnými výpočty jsem tento čas upřesnil na 2,4ms.

$$t = t_{90^\circ} - \frac{\sin^{-1}\left(\frac{U - \Delta U}{U}\right) \cdot T}{360} = \frac{90 \cdot 20}{360} - \frac{\sin^{-1}\left(\frac{19 \cdot \sqrt{2} - 6,9}{19 \cdot \sqrt{2}}\right) \cdot 20}{360} \approx 2,4ms$$

Ze spočtených časů jsem spočetl proud, procházející usměrňovacím můstkem, na 6,3A.

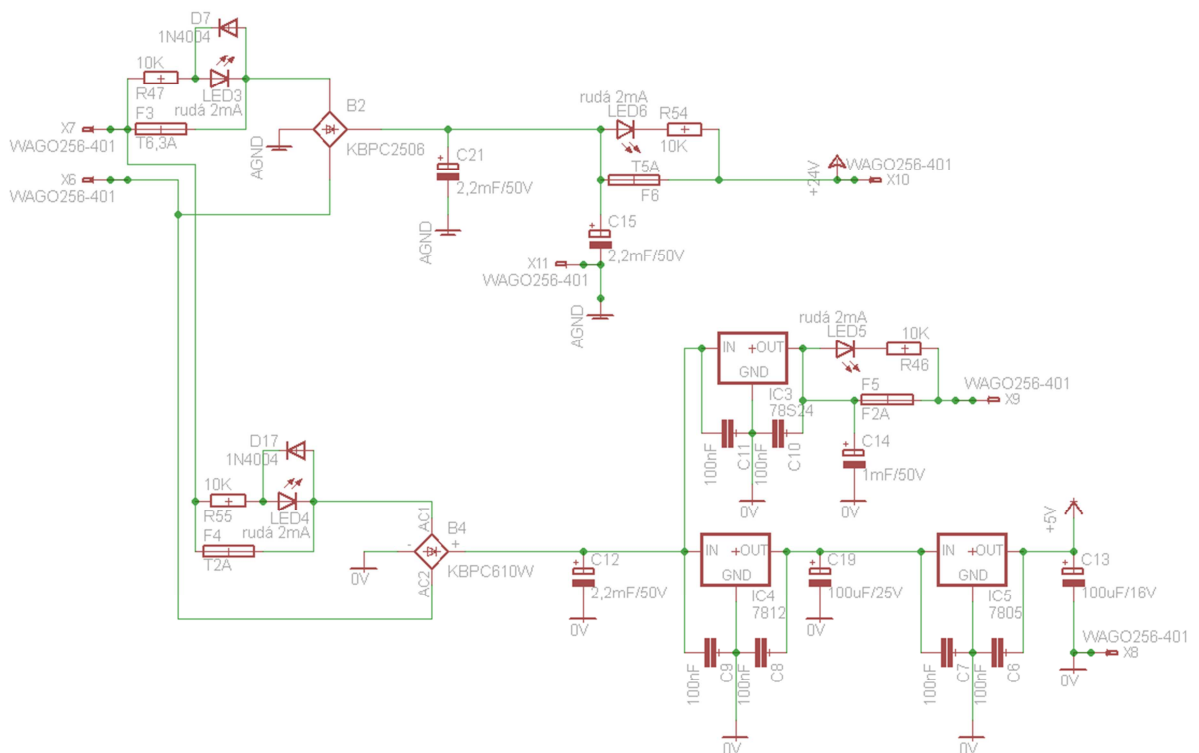
$$i = C \frac{\Delta U}{\Delta t} = 2,2mF \frac{6,9V}{2,4ms} \approx 6,3A$$

Maximální úbytek napětí 6,9V v této části zdroje nevádí, protože senzory, použité na lisu, jsou na pracovní napětí v rozsahu 16V-28V. Napětí pro procesor a budící obvody je dále stabilizováno a tak se na něm tento úbytek neprojeví.

Za druhým můstkem jsou osazeny lineární stabilizátory 78S24, 7812 a 7805. V zapojení je použita stabilizace nejprve obvodem 7812 a poté 7805. Je to z toho důvodu, aby se výkonová ztráta procesu stabilizace napětí vyzářila na obou stabilizačních prvcích a nemusel se osazovat chladič těchto stabilizačních prvků. Je pravdou, že by bylo vhodnější osadit měnič typu Step-down, ale kvůli jeho vyšší ceně a nutnosti rychlého zprovoznění prvního prototypového lisu, jsem raději užil takto zapojené lineární stabilizátory. Obvod 78S24 je použit spíše jako prvek určující maximální napětí pro senzory. Díky úbytku napětí na vlastním zapojení tohoto obvodu a úbytcích na ostatních součástech může výsledné napětí pro senzory

klesnout až na hodnotu 17,5V. Takto malé napětí nevádí, protože je stále v rozsahu ve kterém senzory pracují bezchybně a také protože se jedná o vyjímecný stav. Celkový součet jmenovitých proudů v této části zdroje bude 0,5A, čemuž odpovídá zvlnění 2V.

Jako základní ochrany jsem zvolil trubičkové pojistky. Oba usměrňovací můstky mají svou pojistku. Napětí, která jsou posílána mimo desku a rozváděč, také mají v obvodu zařazenu svou pojistku. Každá z těchto pojistek je přemostěna červenou LED a rezistorem 10kΩ. Pomocí této LED je signalizováno přepálení pojistky. Pokud je příslušná pojistka přepálena a tento stav je signalizován kontrolkou LED, protéká obvodem proud přibližně 2mA. Tento proud je dostatečný pro rozsvícení LED kontrolky, ale malý pro nebezpečí dalšího poškození napájeného obvodu.



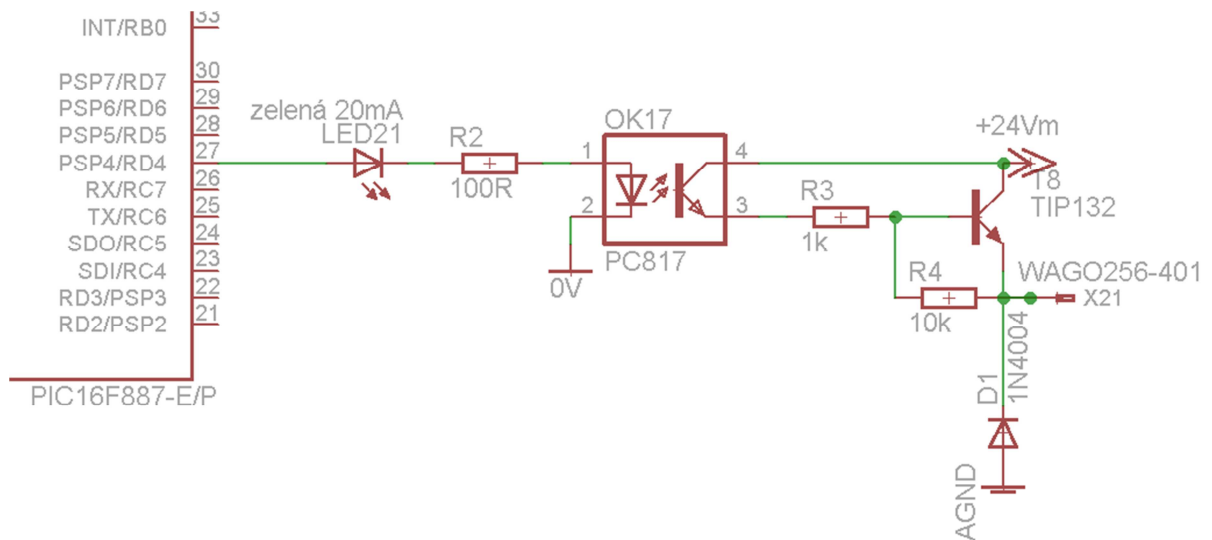
Obrázek 2.2: Schéma zdrojové části desky řídicího systému

### 2.3 Digitální výstupy

Požadované spínané výstupy jsou 24V/50mA pro kontrolku, 24V/200mA pro stykač a 24V/1,5A pro magnety hydraulických rozváděčů. Pro jednoduchost osazování jsem řešil všechny výstupy stejně, pouze jsou rozděleny do tří skupin. Skupina, která spíná magnety hydraulických rozváděčů, tato skupina je napájena pouze pokud je sepnut stykač elektrického čerpadla. Skupina, která spíná elektrické čerpadlo, tato skupina je napájena pouze pokud není

stisknuto tlačítko nouzového zastavení. Skupina, která spíná informační kontrolku na dveřích rozváděče, tato skupina je napájena vždy.

Pro ochranu mikroprocesoru a pro spolehlivost spínání jsem zapojení osadil oddělovacími optoelektronickými prvky PC817. Z historických důvodů firmy Brikklis byl, jako spínací prvek, užit výkonový tranzistor s Darlingtonovým zapojením TIP132. Pro zachování způsobu zapojení stávajících lisů jsem tento tranzistor zapojil jako zesilovač proudu pomocí zapojení se společným kolektorem. Aby byla indikována činnost výstupu je výstup z mikroprocesoru veden přes LED do optočlenu PC817. Takto je dostatečný proud jak pro vybuzení informační LED, tak pro vybuzení LED v optočlenu a je signalizováno, zda je výstup v provozu. Případný vadný spínací tranzistor může servisní technik při zásahu snadno zjistit měřením, zda má napětí 24V na sepnutém výstupu. Zapojení jednoho výstupu je na obrázku 2.3. Na výstupu je zapojena ochranná dioda, protože jsou spínány indukční zátěže.



Obrázek 2.3: Schéma jednoho výstupu desky řídicího systému

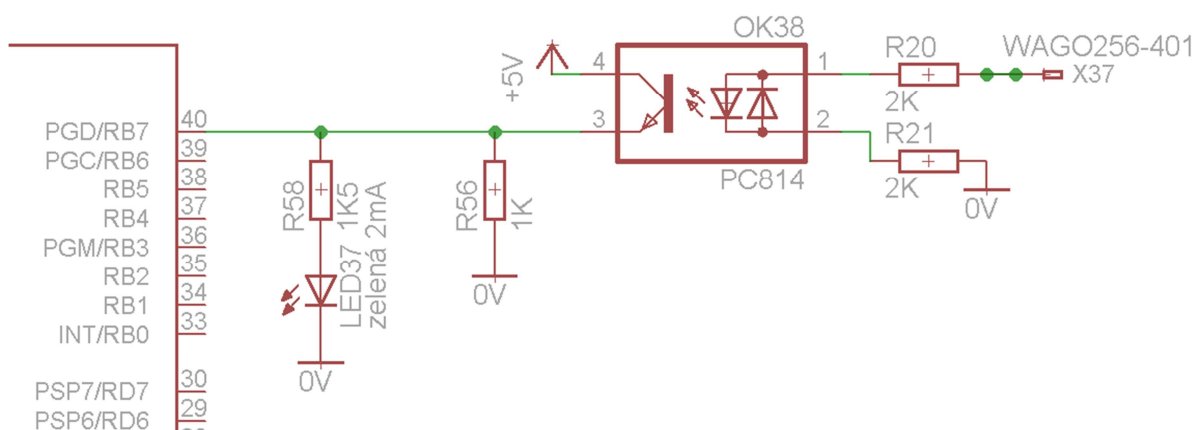
## 2.4 Digitální vstupy

Požadované logické úrovně na vstupech jsou +24V jako logická „1“ a 0V jako logická „0“. Tím je opět určeno užití oddělovacích optoelektronických prvků pro ochranu mikroprocesoru. Tentokrát jsem použil prvky PC814, které mají uvnitř dvě protisměrně zapojené LED, a tím je zároveň ochráněn optočlen proti případnému závěrnému napětí na vstupních pinech. Budící proud jsem stanovil tak, aby byl dostatečný pro vybuzení optočlenu, ale takový, aby tepelný výkon vyzařovaný na rezistorech nebyl příliš vysoký. Indikační LED o stavech na vstupech jsem osadil mezi optočlenu a mikroprocesor. Indikaci stavu vstupů

v tomto místě jsem zvolil tak, aby byla vidět informace, zda je v činnosti vstup do mikroprocesoru. Přítomnost napětí na svorkách může servisní technik při zásahu přeměřit.

Ošetření různých zákmitů a špiček jsem řešil v programu mikroprocesoru a to pomocí časových filtrací, které berou jako platnou změnu stavu až poté co je na vstupu nepřetržitě 12ms nový stav. Dobu 12ms jsem zvolil proto, abych vyfiltroval rušení od 50Hz a dalších harmonických složek.

Schéma zapojení jednoho vstupu je na obrázku 2.4.



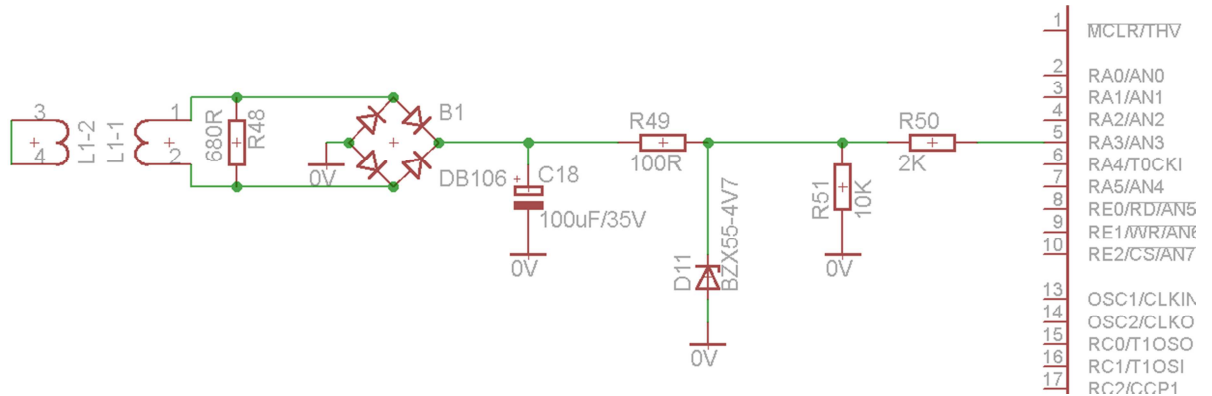
Obrázek 2.4: Schéma jednoho vstupu desky řídicího systému

## 2.5 Analogový vstup

Pro detekci lisovacího tlaku v hydraulickém systému se využívá přímé úměry mezi tlakem v hydraulickém systému a odběrem proudu elektrickým motorem hydraulického čerpadla. Pro snímání tohoto proudu jsem použil proudový transformátor, jehož středem je protažen jeden vodič od napájení elektrického čerpadla. Použitý proudový transformátor má uvnitř jeden závit nakrátko, aby se omezily odezvy na rušivé krátkodobé špičky a dále pro omezení přesycení jádra proudového transformátoru. Při většině pohybů je tlak v hydraulickém systému nízký a odběr elektrického čerpadla se pohybuje pod jmenovitou hodnotou. V těchto okamžicích je napětí na rezistoru, který je zapojen jako zátěž pro proudový transformátor, cca 2,5V. Při lisovacím tlaku se odběr elektrického čerpadla zvýší cca na 150% jmenovité hodnoty a výstupní napětí na rezistoru stoupne na cca 3,7V. Aby bylo možno tyto hodnoty zpracovávat, je střídavé napětí usměrněno čtyřcestným usměrňovačem a vyfiltrováno. Díky úbytkům na usměrňovacím můstku se napětí po filtraci pohybuje v rozmezí 0V – 4V. Aby se toto napětí dalo přivést do mikroprocesoru, použil jsem rezistorový T článek, který má navíc v příčné větvi zapojenu Zenerovu diodu jako ochranný

prvek před přepěním. Napětí na vstupu do mikroprocesoru se tak pohybuje v rozmezí 0V – 4,7V. Toto napětí je vyhodnocováno pomocí AD převodníku uvnitř mikroprocesoru. Jako referenční napětí pro vyhodnocování jsem použil napájecí napětí. Pro užití detekce lisovacího tlaku v hydraulickém okruhu lisu jsou tyto podmínky dostatečně přesné.

Schéma zapojení analogového vstupu je na obrázku 2.5.

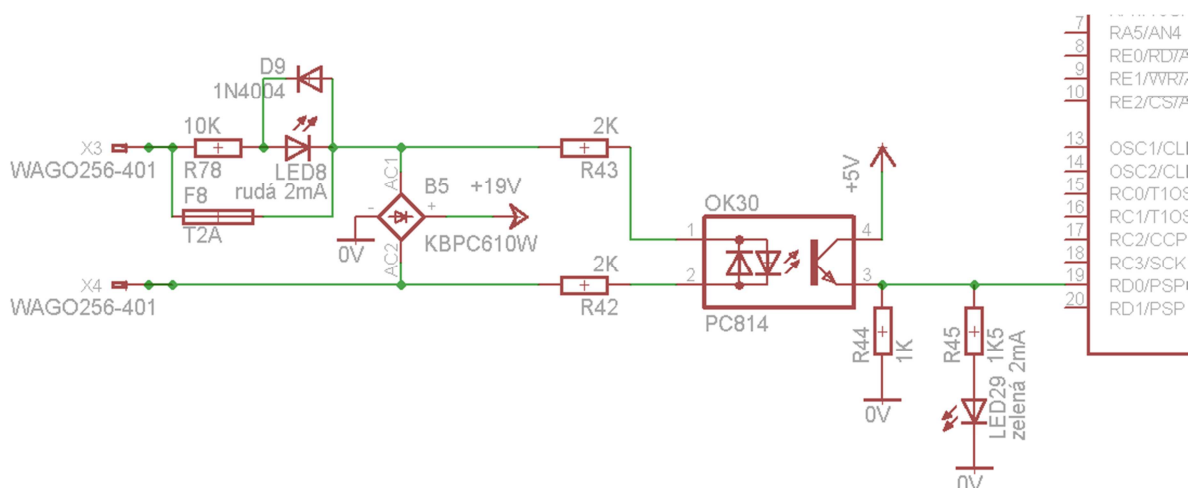


Obrázek 2.5: Schéma analogového vstupu desky řídicího systému

## 2.6 Informační vstup pro sledování stavu napájení.

Jeden vstup je upraven a zapojen přímo na napájecí napětí a tím získávám informaci o jeho přítomnosti. Tím se indikuje výpadek napájecího napájení a potřeba ukládání informací do EEPROM mikroprocesoru těsně před úplnou ztrátou napájení. Pro obsluhu tohoto vstupu v mikroprocesoru jsem zvolil jiné časy pro filtraci, aby bylo správně detekováno, zda je přítomno napájení.

Schéma zapojení informačního vstupu je na obrázku 2.6.



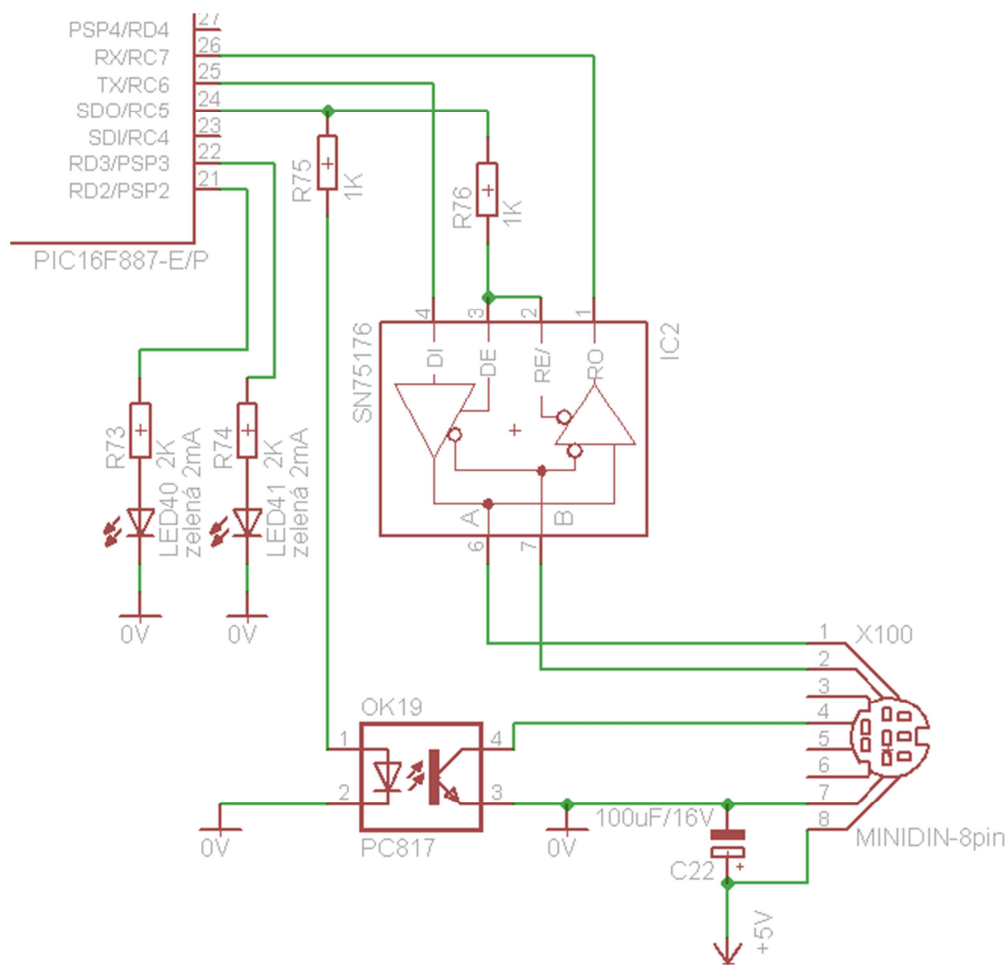
Obrázek 2.6: Schéma vstupu ze zdrojové části desky řídicího systému

## 2.7 Komunikační rozhraní

Pro komunikaci jsem zvolil rozhraní RS485 a to protože je toto rozhraní nejčastěji využíváno ve stávajících zařízeních a také protože chci používat stávající programovací kabely. Jako převodník jsem zvolil obvod SN75176, kvůli jeho malé ceně a dobré dostupnosti. Pro užití stávajících programovacích kabelů je ještě nutno jeden výstup a to ukazatel směru komunikace na lince, který spíná logickou úroveň „0“ při odchozí komunikaci z řídicího systému. Logická „1“ je udržována připojeným kabelem pomocí pull-up rezistoru. Dále jsem na výstupní konektor vyvedl napájení potřebné pro komunikační kabel.

Žádná ochrana není na této komunikační lince osazena, protože předpokládám, že se bude používat pouze pro servisní účely. Jako konektor pro připojení komunikační linky jsem zvolil typ miniDin, který je použitý na stávajících systémech.

Schéma zapojení převodníku komunikace je na obrázku 2.7, kde jsou také vidět dvě informační LED, které budou ovládané různými stavy programu nebo stroje. LED40 signalizuje funkci mikroprocesoru a LED41 signalizuje komunikaci na lince RS485.



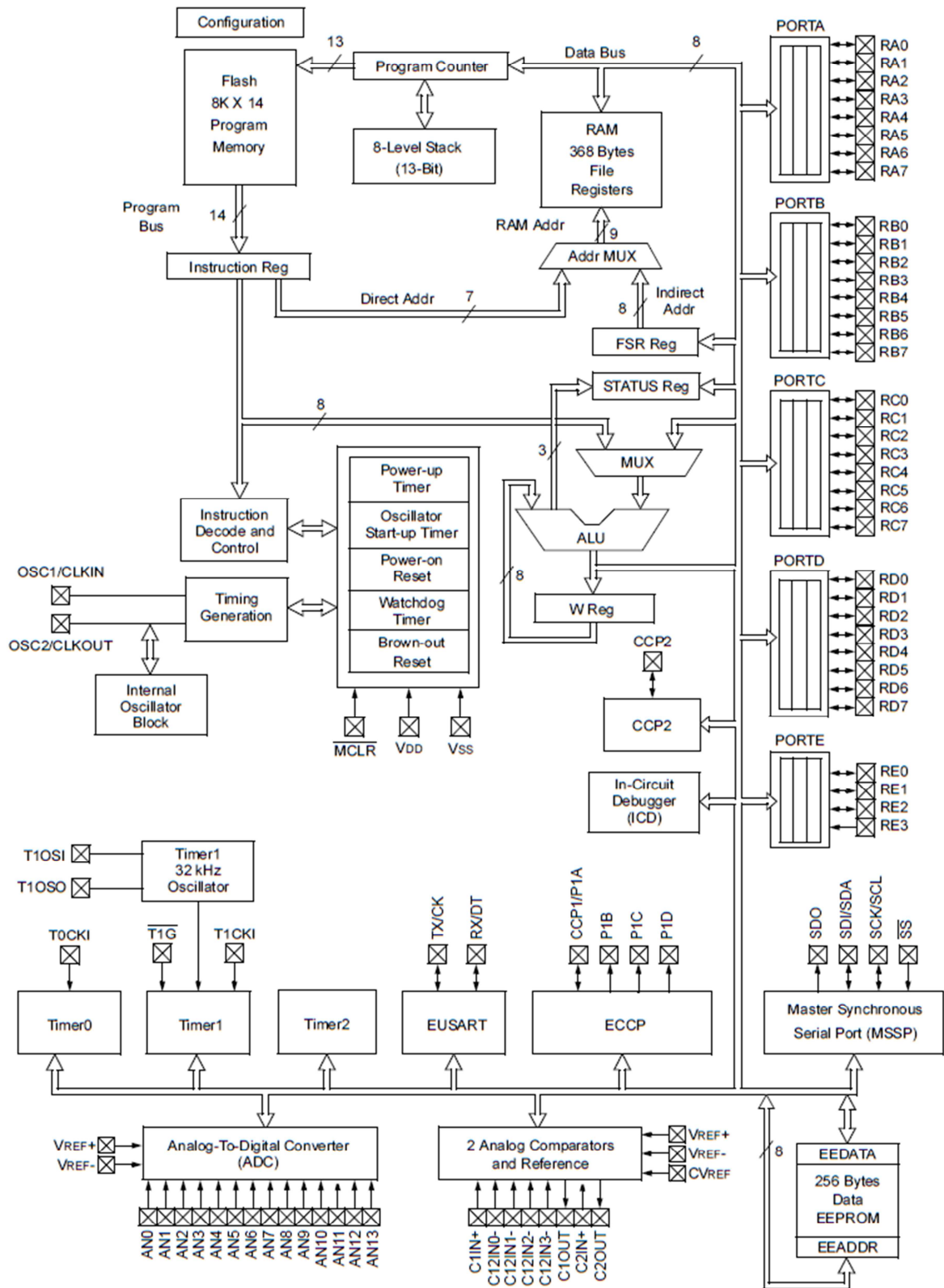
Obrázek 2.7: Schéma komunikačního rozhraní desky řídicího systému

## 2.8 Mikroprocesor

Pro řízení celé desky jsem vybral mikroprocesor od Microchipu a to z důvodu dřívějších dobrých zkušeností a kvůli dobré dostupnosti. Protože lis je celkem jednoduché a nenáročné zařízení stačí pro jeho řízení 8 bitový mikroprocesor. Požadavky jsou, aby obsahoval digitální vstupy a výstupy, analogový vstup, komunikační rozhraní, paměť EEPROM.

Velikost operační paměti byla zvolena 8kB. Je to dostatečné pro všechny požadované funkce desky a celého lisu. Paměť vybraného mikroprocesoru pro program je typu Flash a tak jsem ještě vyvinul vlastní upgradovací software pro již zabudované procesory. Nakonec jsem zvolil základní verzi mikroprocesoru PIC16F887-I/P. Při ožívování prvního stroje se tato volba ukázala jako nevhodná, kvůli teplotě v elektrickém rozváděči. Pro finální výrobek jsem použil verzi PIC16F887-E/P, která je určena pro teploty v rozsahu od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Jednoduché blokové schéma mikroprocesoru je na obrázku 2.8



Obrázek 2.7: Blokové schéma mikroprocesoru [1]



## 3 Řešení softwarové části řídicího systému

### 3.1 Výběr programovacího prostředí

Zpočátku jsem se zajímal o vývojová prostředí v jazyce C. V úvahu přicházela prostředí HI-TECH C od firmy HTSoft a CCS-C compiler. Prostedí HI-TECH má několik variant odstupňovaných cenou a velikostí výsledného kódu pro mikroprocesor. Bohužel se ukázalo, že by byla potřeba té nejlepší a tedy i nejdražší verze, což nebylo firmou akceptováno kvůli minimalizaci nákladů na vývoj. CCS-C compiler je sice levnější, avšak velikost výsledného kódu je taková, že by se program nevešel do 8kB paměti u vybraného procesoru. Nakonec se ukázalo, že pro takto jednoduché účely by programy psané ve vyšších jazycích potřebovali mikroprocesor s mnohem větší pamětí a to jak operační část programu, tak pro vlastní program lisu. Proto jsem se rozhodl napsat celý program v assembleru ve vývojovém prostředí MPLAB, což je freewarový nástroj přímo od firmy Microchip. Zvolením tohoto vývojového nástroje se výsledný vyvinutý program bezproblémově vešel do vybraného mikroprocesoru a nebylo nutné platit drahá vývojová prostředí.

### 3.2 Software v mikroprocesoru

Software v mikroprocesoru je rozdělen do několika částí.

- Inicializace – zajišťuje správné rozběhnutí a nastavení funkcí mikroprocesoru po zapnutí napájení nebo po resetu procesoru.
- Hlavní cyklus – určuje která část programu se bude provádět, obsluhuje lisovací cyklus, výstupy a další provozní stavy a poruchy stroje.
- Přerušení – obsluhuje přerušení od časovače 1ms a od komunikačního rozhraní.
- Časovače – obsluhuje veškeré časovače v systému.
- Podprogramy – různé pomocné utility například matematika a CRC generátor.
- Vstupy – obsluhuje a filtruje vlastní vstupy a poskytuje informace o jejich stavu.
- Výpočet dávky – vypočítává příští dávku na základě změřené velikosti brikety.
- Komunikace – obsluhuje odchozí a příchozí FIFO registry pro komunikaci.
- Bootloader – zajišťuje servisní upgrade programu v mikroprocesoru.

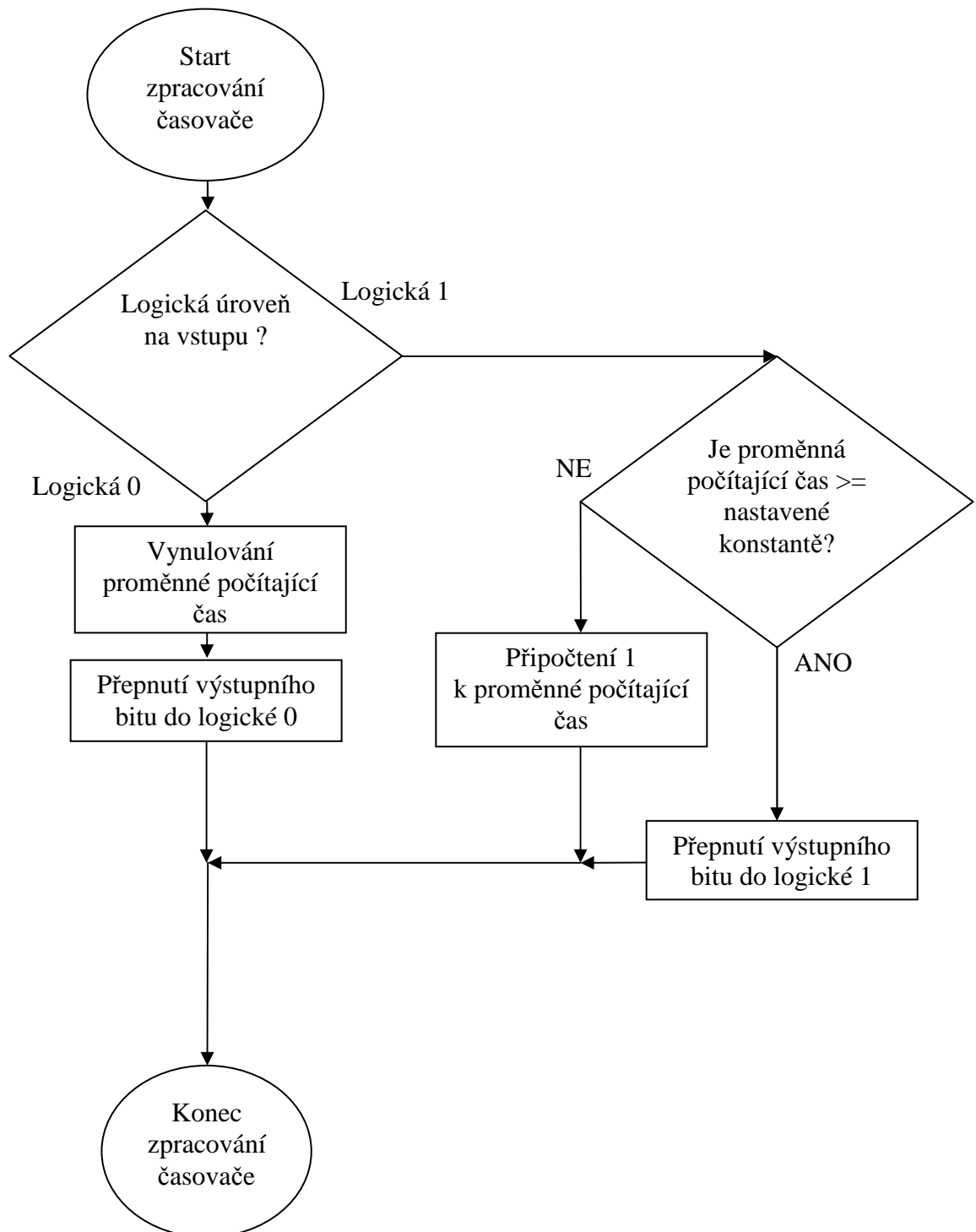
### 3.3 Časovače

Časovač je jednotka, která po splnění vstupních podmínek odměří zadaný čas a poté nastaví příznakový bit. Mikroprocesor PIC16F887 v základu obsahuje pouze tři časovače, které lze nastavit na přerušení po určitých časových intervalech. Protože jsem použil systém Watchdog, je jeden časovač využit právě pro tento systém. V kompletním programu je potřeba přibližně 40 časovačů. Některé jsou na filtraci digitálních vstupů, jiné na časové změny v chodu lisovacího cyklu a dva na měření dob trvání pohybů. Všechna tato fakta mne vedla k tvorbě tabulky se 60 konstantami, 47 bytovými proměnnými a 84 bitovými proměnnými. 40 konstant určuje dobu pro překlopení do stavu logické „1“, 20 konstant určuje dobu pro překlopení do stavu logické „0“, 40 bitových proměnných ukazuje momentální logický stav časovače, 40 bitových spouští či zastavuje chod časovače, 40 bytových proměnných ukazuje aktuální čas časovače. 3 bytové proměnné jsou určeny pro rozdělení časovačů do třech skupin. Jedna skupina jsou časovače s krokem 10ms druhá s krokem 100ms a třetí s krokem 1s. Při přerušení je spočteno, zda je přerušení právě po 10ms, 100ms nebo po 1s a dle toho je obsloužena příslušná skupina časovačů. Pro toto přerušení jsem použil jeden interní časovač mikroprocesoru, který jsem nastavil na interval 1ms.

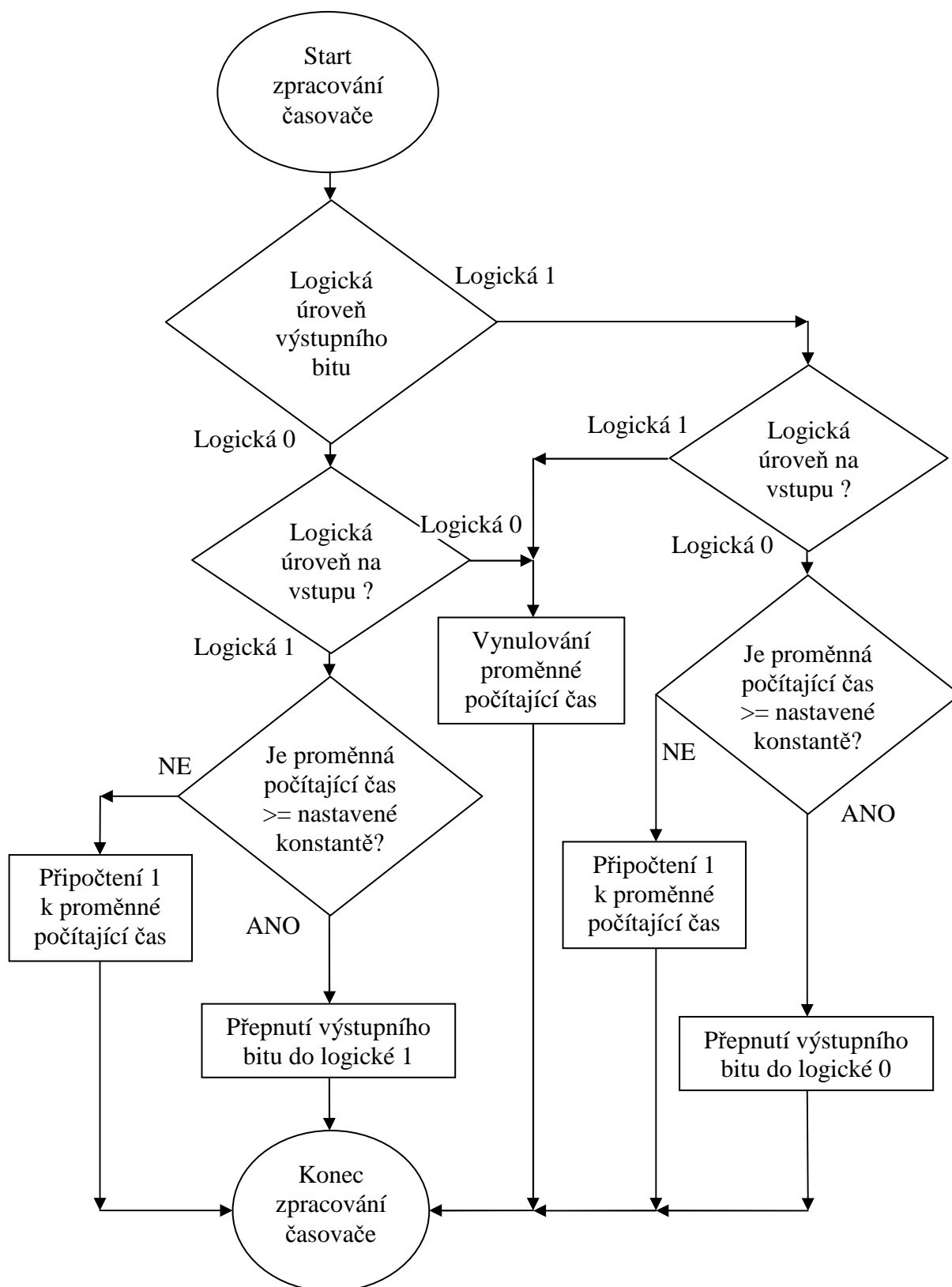
V programu jsou tři způsoby práce časovačů. První odpočítává nastavený čas pokud je na vstupu logická „1“ a po odpočtení přednastaveného času se na výstupním bitu objeví logická „1“. Kdykoliv se během odpočtu na vstupu objeví logická „0“ vynuluje se již odpočtená hodnota a příští odpočet začíná znovu od začátku (obrázek 3.3a).

Druhý způsob práce časovače je vlastně filtr pro vstupy. Pokud je na vstupu logická „1“ po dobu nastavenou konstantou, přepne se výstup časovače do logické „1“. Pokud je na vstupu logická „0“ po dobu nastavenou konstantou, přepne se výstup časovače do logické „0“ (obrázek 3.3b).

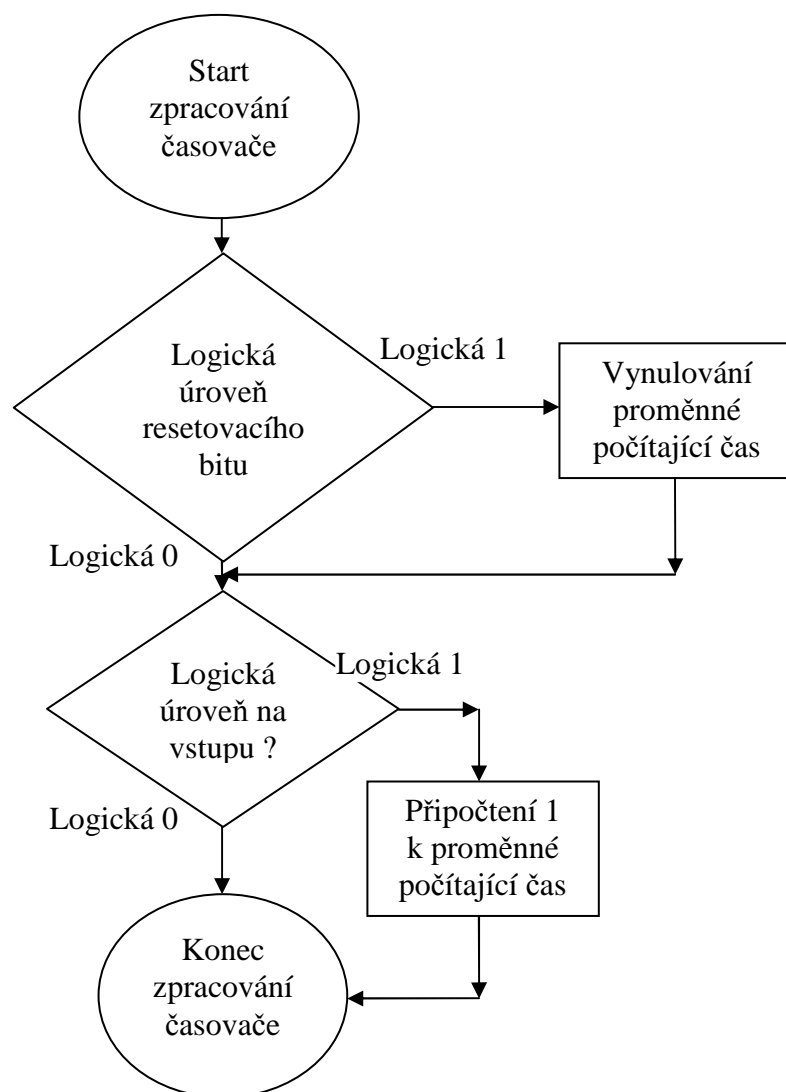
Třetí druh časovače je pro měření doby pohybu lisovacího válce vpřed a vzad. Tyto časovače jsou použity pro měření velikosti brikety. Tyto časovače jsou ve skupině 10ms časovačů a jejich hodnota je 16 bitová neboli 2 byty. Funkce je také trochu odlišná. Jedním bitem se zapíná a vypíná odměřování času a druhým bitem se nulují hodnoty změřených časů (obrázek 3.3c).



Obrázek 3.3a – Vývojový diagram časovače prvního druhu



Obrázek 3.3b – Vývojový diagram časovače filtru vstupu



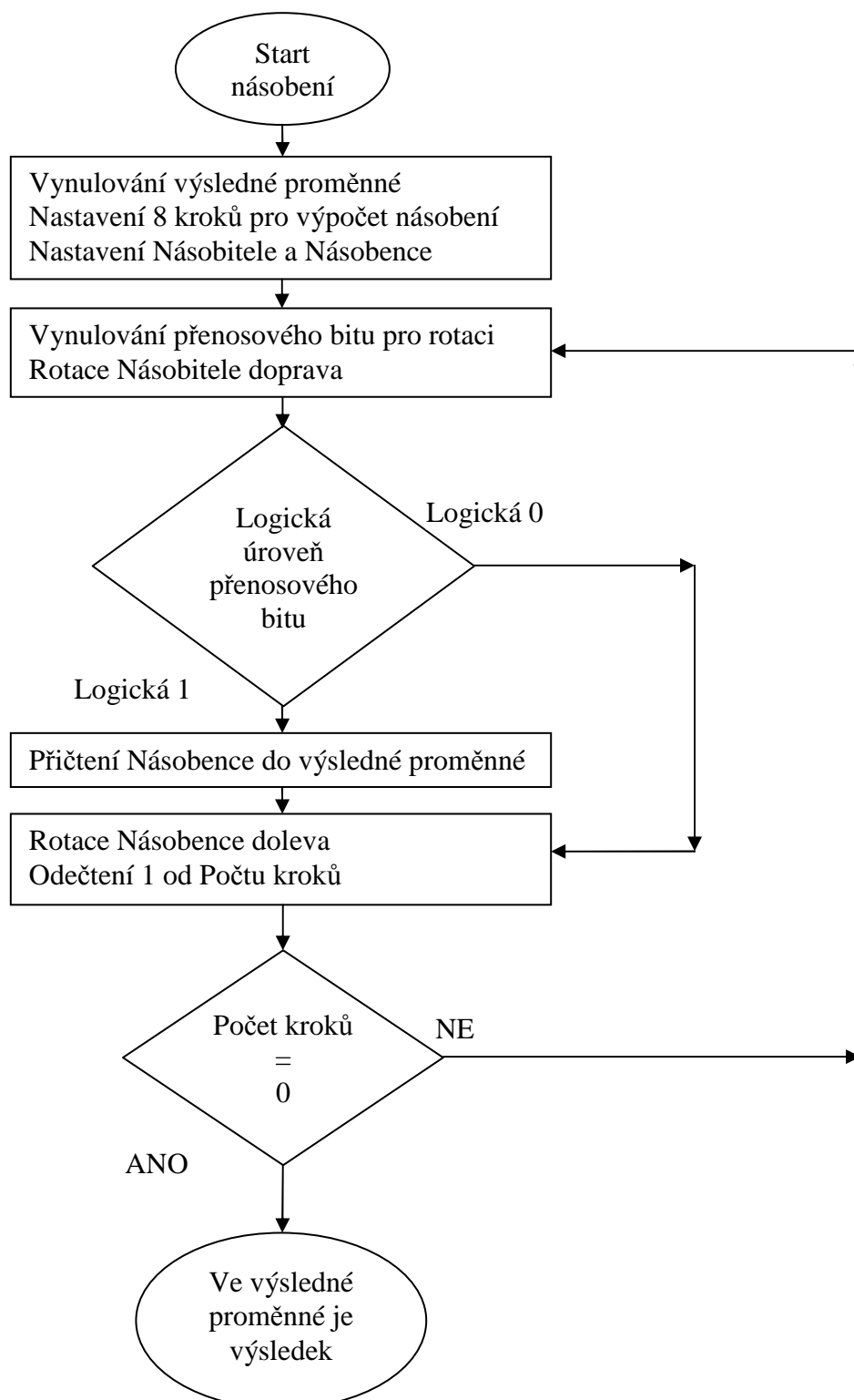
Obrázek 3.3c – Vývojový diagram časovače měřícího dobu pohybu lisovacího válce

### 3.4 Aritmetika – celočíselné násobení a dělení

Asembler v mikroprocesoru obsahuje pouze logické funkce AND, OR, XOR, NOT, matematické funkce ADD a SUB a funkce pro rotaci bitů v jednom bytu RRF a RLF. S těmito funkcemi je přímé násobení a dělení velice zdlouhavé. Jednou možností násobení je sečíst tolikrát jednu hodnotu kolik je druhá hodnota. Dělení je obdobné od dělence odečítat dělitele dokud nebude dělenec nulový a počet těchto operací je výsledkem. Obě tyto varianty jsou příliš zdlouhavé a v místě kde je potřeba tuto matematiku užít je krátký čas pro několik matematických operací. Pro násobení a dělení  $2^n$  se dají užít rotace, ale to je zde málo, protože nevíme, jaký bude jeden z členů operace a zda to bude nějaké číslo odpovídající hodnotě  $2^n$ .

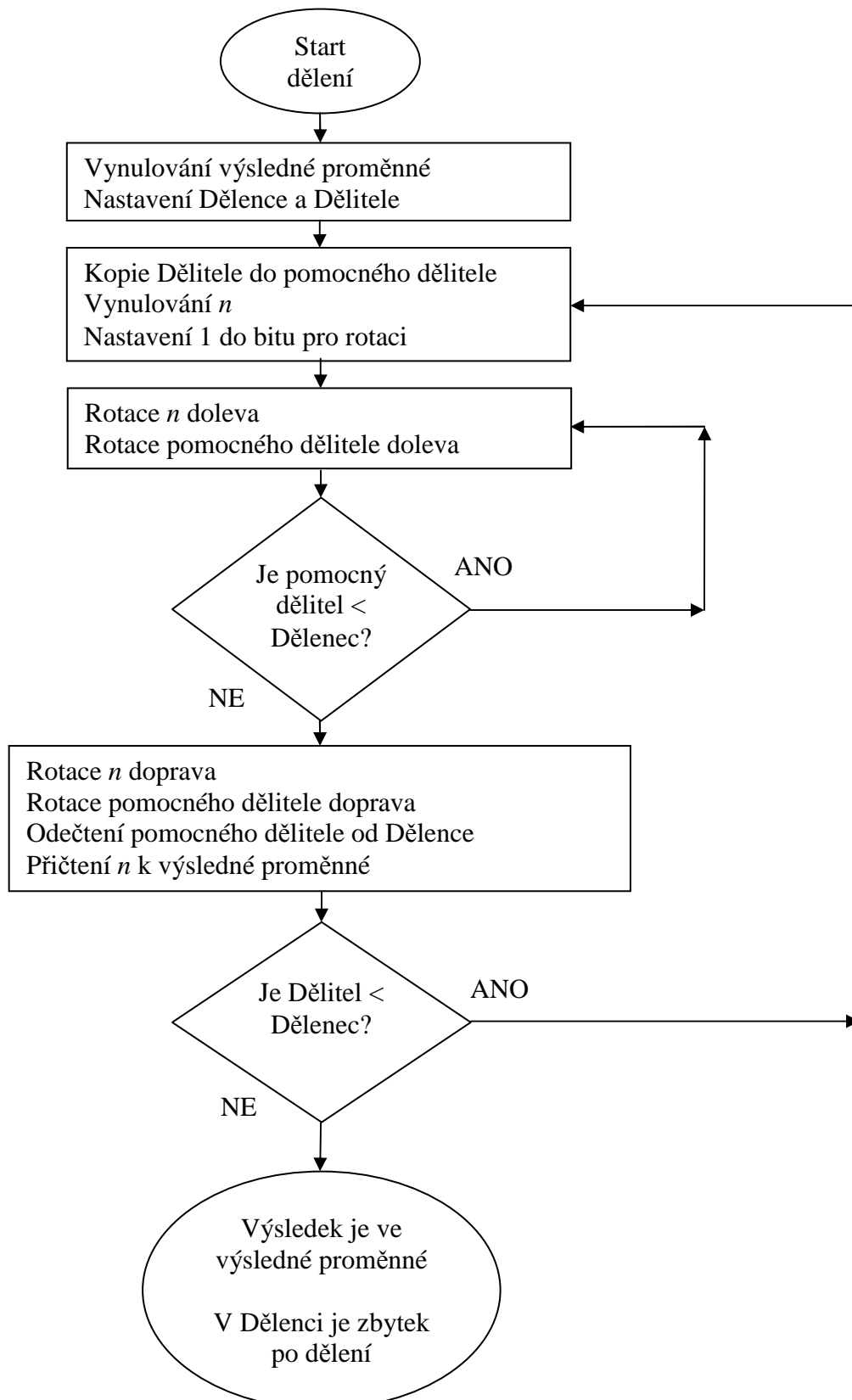
Pro rychlejší operace násobení jsem vymyslel způsob, při kterém sčítám násobky  $2^n$  pokud bit  $n$  v násobiteli má hodnotu logické „1“. Postup je následující, při násobení dvou 8 bitových čísel, musí být 16 bitový registr pro výslednou proměnnou, který je na počátku

vynulován. Pokud je na nejnižším bitu násobitele logická „1“, přičte se do výsledné proměnné hodnota násobence. Poté je násobitel rotován doprava a násobenec doleva. Takto je provedeno porovnávání prvního bitu, přičtení do základního registru a rotace celkem 8x a po těchto 8 cyklech je ve výsledné proměnné správný výsledek. Pro názornost je vše uvedeno na vývojovém diagramu na obrázku 3.4a



Obrázek 3.4a – Vývojový diagram násobení dvou 8 bitových čísel

Dělení je trochu odlišné a probíhá pomocí odečítání maximálního možného  $2^n$  násobku dělitele od dělence kdy sčítáme hodnoty  $2^n$ , které dají výslednou hodnotu. Postup je následující. Výsledná proměnná je vynulována. Dělitel je rotován doleva, dokud je menší než dělenec. Vznikne  $n$  rotací a do základního registru je přičteno číslo  $2^n$ . Od dělence se odečte rotovaný dělitel a postup se opakuje s novým dělencem a původním dělitelem. Tento postup se provádí, dokud je možné odečítat původního dělitele od nového dělence. Maximální počet průchodů odpovídá maximálnímu bitu v dělenci, který je nastaven na hodnotu 1. Z toho vyplývá, že u 8 bitových čísel proběhne cyklus maximálně 8x a 16x u 16 bitových čísel. Tento postup je pouze celočíselný a po jeho skončení je v dělenci zbytek po dělení. Pro názornost je vše uvedeno na vývojovém diagramu na obrázku 3.4b.



Obrázek 3.4a – Vývojový diagram celočíselného dělení dvou 8 bitových čísel



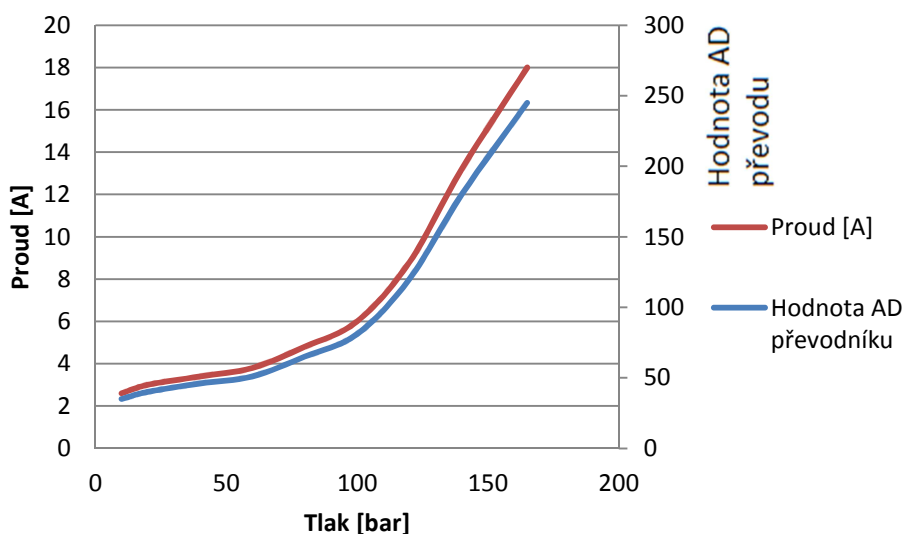
### 3.5 Měření proudu a výpočet tlaku

Pro měření tlaku v hydraulickém systému se využívá proud, který je odebírán elektrickým čerpadlem hydraulického oleje. Proud odebíraný tímto motorem je měřen pomocí proudového transformátoru, jehož středem prochází vodič jedné fáze. Napětí na zatěžovacím rezistoru proudového transformátoru je usměrněno, vyfiltrováno a rezistorovým děličem upraveno na rozsah 0V – 4,7V. Tento signál je v mikroprocesoru zpracováván 10bitovým AD převodníkem. Pro práci lisu plně postačuje horních 8 bitů výsledného převodu. Při prvních testech prototypového stroje jsem změřil referenční proudy při referenčních tlacích. Tyto hodnoty jsou zapsány v tabulce 3.5 a výsledná závislost odebíraného proudu na tlaku v hydraulickém systému je na obrázku 3.5.

Protože při práci lisu potřebujeme znát pouze překročení tlaku 120bar nastavil jsem systém tak, že pokud překročí výsledná hodnota AD převodu číslo 120 je pro Hlavní cyklus signalizováno splnění požadovaného lisovacího tlaku a lisovací cyklus pokračuje dalším krokem.

Tlak [bar]	10	20	40	60	80	100	120	140	165
Proud [A]	2,6	3	3,4	3,8	4,8	6	8,8	13,2	18
Hodnota AD převodu	30	40	46	51	65	81	120	180	245

Tabulka 3.5 – Tlak v hydraulickém systému a odpovídající odběr motoru



Graf 3.5 – Závislost proudu a hodnoty AD převodníku na tlaku

### 3.6 Měření délky brikety a výpočet dávky

Lis BrikStarEk je automatický lis a proto musí jeho systém kontrolovat a udržovat správnou velikost brikety jednak kvůli její kvalitě, ale také kvůli nebezpečí ucpání lisovací komory a malému opotřebování jak lisovacích nástrojů, tak hydraulického systému. Velikost dávky je řízena pomocí změny doby pohybu podavače/závory vzad. Takto je regulována velikost otvoru ve dně násypky, do něhož padá materiál ke slisování a tím je regulován objem lisovaného materiálu a velikost výsledné brikety.

Měření velikosti brikety se provádí pomocí měření doby dvou pohybů lisovacího válce. Pohybu vpřed a pohybu vzad. Vzhledem ke konstrukci hydraulického válce je pohyb vzad rychlejší než pohyb vpřed kvůli rozdílným plochám a tedy i objemům v hydraulickém válci. Tento rozdíl je zapříčiněn pístem, přes který je z hydraulického válce přenášena síla pro lisování brikety. Díky těmto rozdílům je rychlost pohybu vzad o přibližně 4mm/s vyšší. Tím nám vzniká rozdíl pohybů a to takový, že kdybychom pohybovali lisovacím válcem vpřed přesně dobu, co se pohyboval vzad, byl by zdvih o přibližně 40mm kratší. Těchto 40 mm je pro nás referenční velikost brikety.

Po signalizaci tlaku v hydraulickém systému je zastaveno měření doby pohybu vpřed a lisovací cyklus pokračuje na dalším kroku. Mezitím je od času pohybu vzad (ve vzorci označen jako  $x$ ) odečten čas pohybu vpřed (ve vzorci označen jako  $y$ ) a vznikne rozdíl odpovídající rozdílu velikosti právě slisované brikety od požadované velikosti brikety. Rozdíl je matematicky přepočten dle vzorce regulační smyčky, kde 8 je konstanta určující útlum, aby nebyly kroky příliš velké a velikost dávky materiálu příliš nekmitala. Tento rozdíl je vynásoben svou absolutní hodnotou. Tato operace způsobí, že požadovaná úprava dávky má průběh  $x^2$ , ale bez změny znaménka. Tím se rychleji zareaguje na příliš krátké nebo příliš dlouhé brikety. Tento výsledek je ještě omezen a to na maximální/minimální hodnotě  $\pm 50$  což znamená, že maximální změna doby dávkování je 500ms.

Doba pohybu podavače vzad, která odpovídá velikosti dávkování (ve vzorci označena jako  $D$ ) se změní dle vztahu:

$$D = D + \left( \left( \frac{x - y}{8} \right) \cdot ABS \left( \frac{x - y}{8} \right) \right)$$

### 3.7 Komunikace, bootloader

Mikroprocesor obsahuje systémy pro sériovou komunikaci. V tomto projektu jsem nastavil standartní sériová komunikace po dvou drátech RX a TX neboli příjem a vysílání. Na těchto vývodech jsou TTL úrovně, které jsou konvertovány pomocí obvodu SN75156 na linku RS485 (obrázek 2.7).

V procesoru jsem nastavil dvě přerušení pro komunikaci. Jedno po příjmu znaku a jedno po odeslání znaku. Aby byl příjem i vysílání plynulé jsou v programu dva FIFO registry. Jeden pro frontu přijatých znaků a druhý pro frontu odesílaných znaků.

Komunikace v procesoru prozatím pouze posílá na sériovou linku číslo odpovídající aktuálnímu kroku v cyklu programu, velikost doby dávkování a hodnotu AD převodníku. V současné době mám rozpracovanou knihovnu protokolu Modbus, která v budoucnu umožní komunikaci s některým průmyslovým displejem. Pokud se takový displej bude používat sériově budu ještě muset galvanicky oddělit sériovou linku.

Komunikace při nahrávání nového programu do mikroprocesoru probíhá odlišně. V té nejvyšší části programové paměti procesoru je uložen program zvaný bootloader, který umí přijímat a odesílat obsah programové paměti po sériové lince. Pomocí jednoduchých příkazů je z počítače odeslána část programové paměti do operační paměti procesoru a po kontrole správnosti dat a komunikace je tato část přepsána v programové paměti mikroprocesoru. Minimální část je 8 bytů a maximální část je 64 bytů. Takto lze také přehrávat jen určité části programové paměti, a sice pouze ty, které jsou odlišné od nahrávaného programu. Tím šetřím počet zápisů do Flash paměti.

Program pro počítač, který má na starosti nahrávání programu mikroprocesoru, funguje tak, že nejprve zkontroluje obsah připojeného mikroprocesoru a poté posílá pouze rozdílné části. Aby nebylo možné nahrát do mikroprocesoru nesprávný program je v jedné části programové paměti uložena tabulka o velikosti 8 bytů, která obsahuje číselné informace o verzi programu, verzi desky a verzi mikroprocesoru. Všechny tyto informace jsou kontrolovány před započítím kontroly programu.

## Závěr

Cílem vývoje celého řídicího systému bylo navrhnout vyrobít a odzkoušet jednoduchou jednoúčelovou levnou černou krabičku, která zastane více funkcí a tím nahradí několik dražších komponent a zároveň zmenší rozměry výsledného elektrického rozváděče, čímž se také sníží výsledná cena vyvíjeného lisu.

Při prvním spouštění lisu s první prototypovou deskou se po několika dnech zkoušení ukázalo, že bootloader pro úpravu programu v mikroprocesoru byla velmi dobrá volba, protože konstruktéři přišli s několika úpravami a bylo nutné upravovat i chování programu lisu. Výměna procesoru a přeprogramování ve standartním programátoru by bylo zdlouhavé a pro servisní techniky obtížné.

Dále se po několika hodinách nepřetržitého provozu negativně projevila vyšší teplota uvnitř elektrického rozváděče, která způsobovala chybné chování mikroprocesoru a tím i chybné chování programu. Bylo nutno změnit verzi mikroprocesoru na E/P která je určena pro rozsah teplot od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+125^{\circ}\text{C}$ .

Při provozu lisu ve zkušebních provezech se projevíly problémy s vyprazdňováním lisu a proto bylo konstruktéry přepracováno dno násypky. Po této úpravě jsem musel ve vztahu pro výpočet dávky zvýšit hodnotu pro útlum z 8 na 12.

S několikaměsíčním odstupem se dá říci, že cíle vytýčené na začátku byly splněny a vyvinutá deska prošla měřením na EMC kompatibilitu. Lis se začal vyrábět sériově a v dnešní době je v provozu již více než 70 kusů.

Pro zlepšení vlastností desky jako takové ještě chybí doplnit komunikaci protokolem MODBUS a ukládání statistických dat při vypnutí napájení stroje. Doposud tyto dvě funkce nebyly nikým požadovány. Dále by bylo dobré předělat desku na více vrstvý tištěný spoj a použitím SMD technologií jednak zmenšit, ale také ještě zlevnit výrobu.

## Použitá literatura

- [1] Microchip Ltd. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291F.pdf>, srpen 2009
- [2] Briklis, spol. s r.o., *Návod lisu BrikStar C*, leden 2010
- [3] Komunikační protokol Modbus: [www.modbus.org](http://www.modbus.org), září 2010
- [4] Programovací nástroj Lazarus: [www.lazarus.freepascal.org](http://www.lazarus.freepascal.org), srpen 2010
- [5] Tůma, František. *Automatické řízení 1*, Plzeň : Západočeská univerzita, 2003, ISBN 80-7082-524-3

## Přílohy

Schéma zapojení

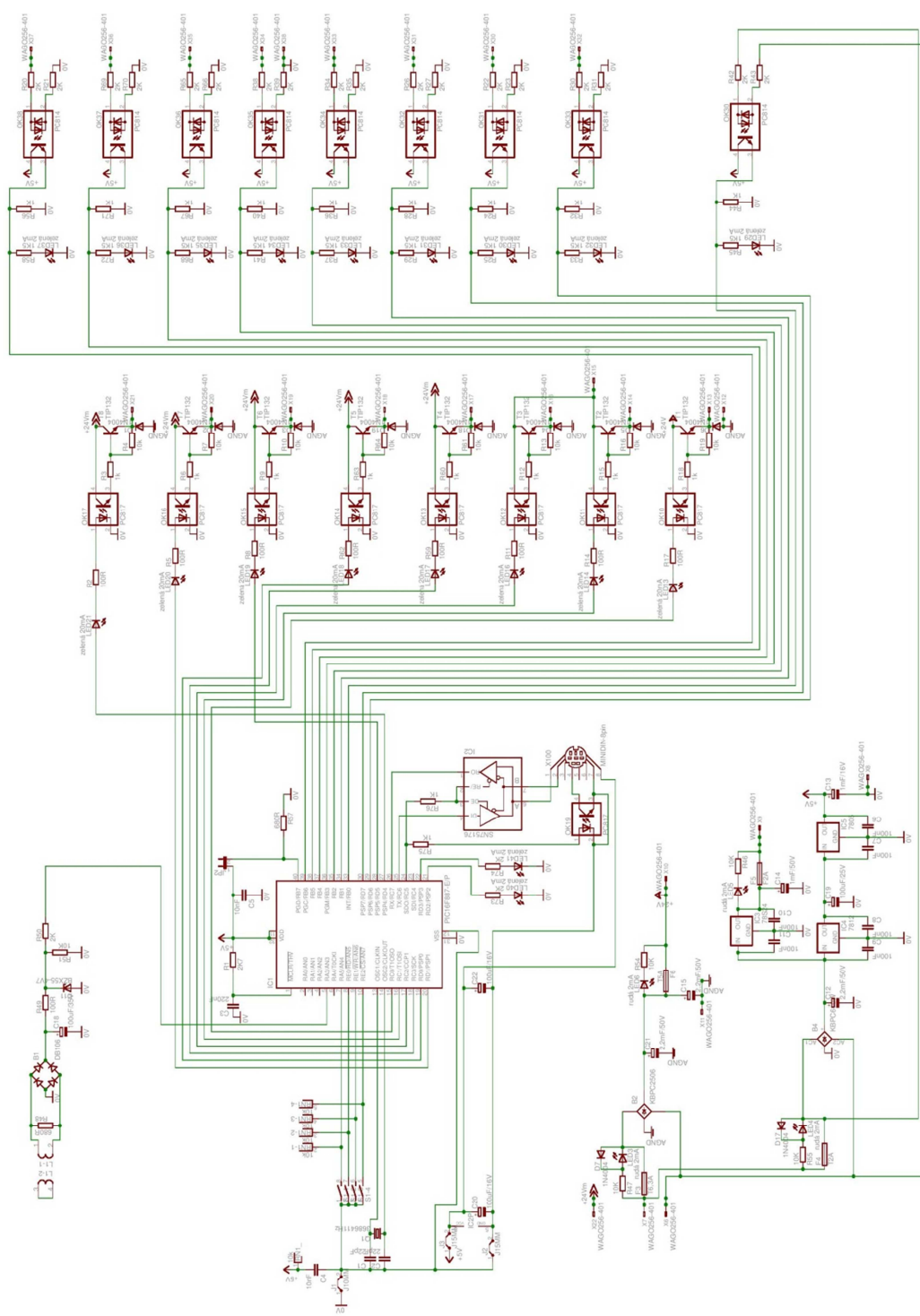
Návrh DPS

Fotografie prototypu desky

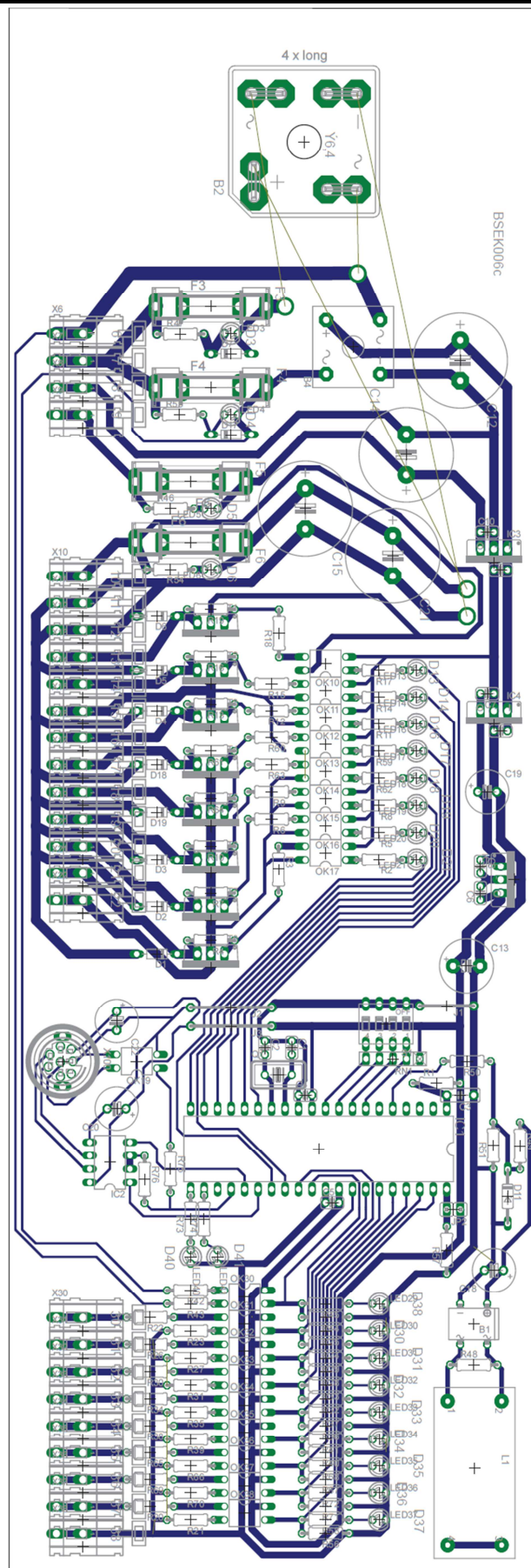
Výpisy programů jsou příliš rozsáhlé a proto jsou pouze na příloženém CD a to včetně volně přístupného a dle licence GNU/GPL volně šířených vývojových prostředí Lazarus verze 1.0.2 a MPLAB8.84

Na příloženém CD se nacházejí tyto soubory:

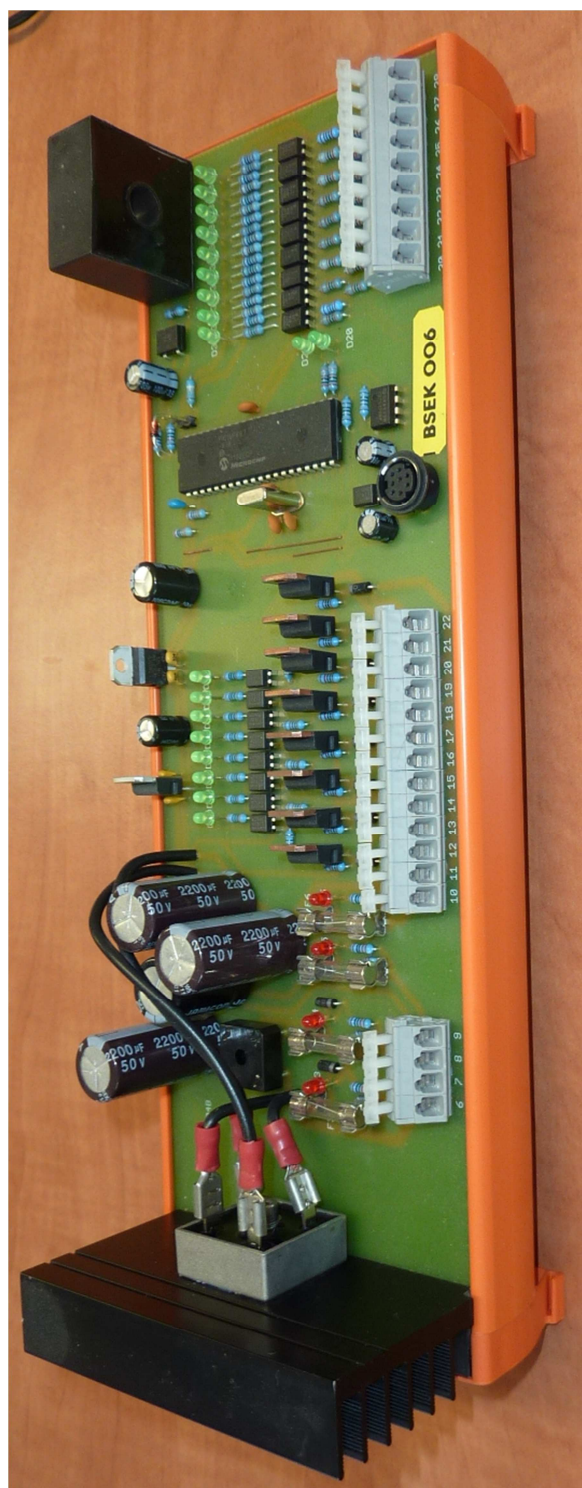
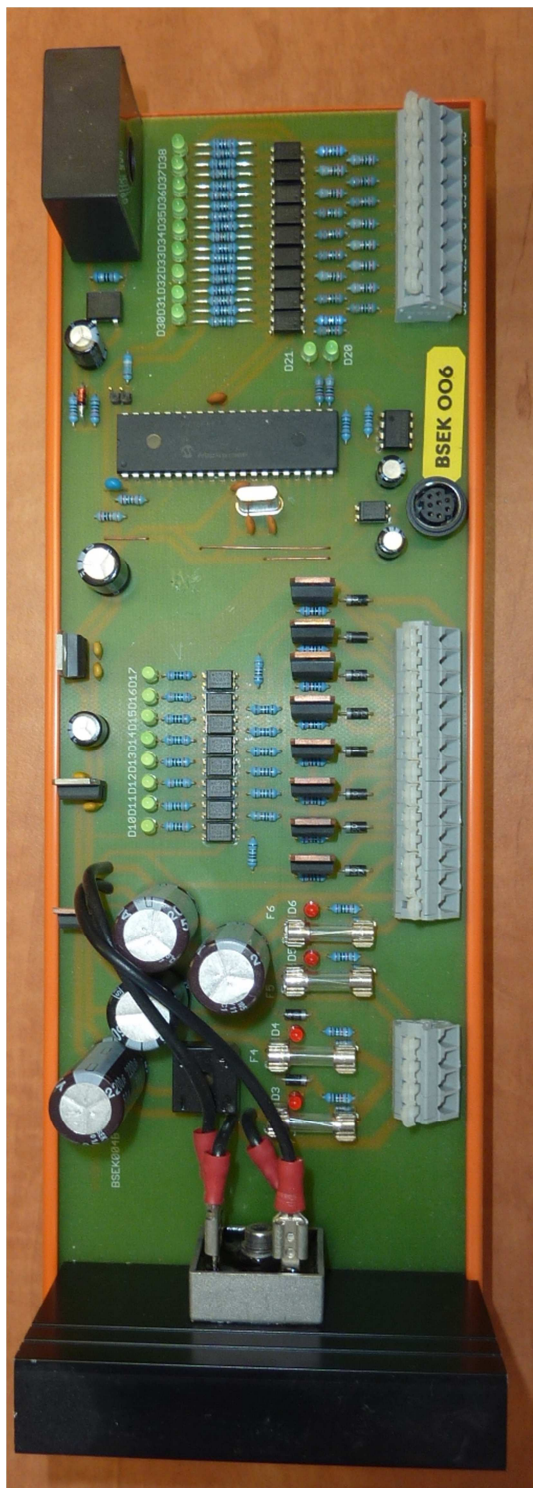
- `lazarus-1.0.2-fpc-2.6.0-win64.exe`
  - Instalační balíček programového prostředí Lazarus
- `MPLAB_IDE_8_84.zip`
  - Instalační balíček programového prostředí MPLAB
- `Zdroje` – Adresář zdrojových kódů lisu
- `DP_BS_MK.pdf` – Tato diplomová práce v pdf formátu



Příloha 1 – Schéma zapojení

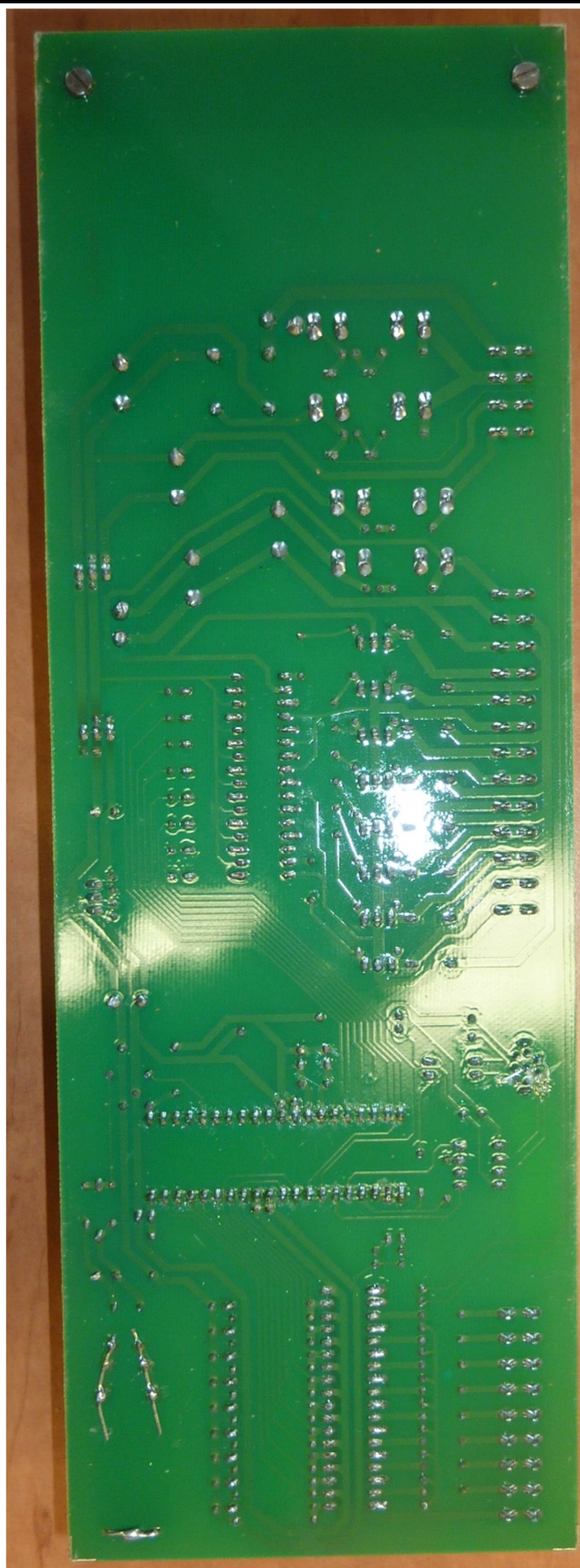


Příloha 2 – návrh DPS



Příloha 3 a 4 – fotografie prototypu





Příloha 5 – fotografie osazené DPS