

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

## MODELÝ SOUSTAV EDU-MOD

EDU-MOD MODELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELORS THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ONDŘEJ JANŮ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. TOMÁŠ MARADA, PH.D.**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Ondřej Janů

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Modely soustav EDU-mod**

v anglickém jazyce:

### **EDU-mod models**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V laboratoři programovatelných automatů A1/731a jsou čtyři modely soustav EDU-mod. Jedná se o soustavu posuvné jednotky, mysící jednotky, automatické pračky a křižovatky.

Cílem práce je navrhnout a realizovat podobné modely soustav EDU-mod. Navrhnout k nim vzorová zadání s vypracováním a dále tyto modely vyzkoušet při řízení z PLC.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se s modely EDU-mod v laboratoři A1/731a.
2. Navrhněte podobné modely soustav.
3. Navržené modely realizujte.
4. Navrhněte a vypracujte vzorová zadání a vypracování k navrženým modelům.
5. Funkčnost modelů ověřte řízením z PLC.

Seznam odborné literatury:

- [1] Šmejkal, L., Martinásková, M., PLC a automatizace, Praha: BEN, 1999.
- [2] Firemní materiály o programovatelných automatech fy Siemens S7-200.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 4.11.2010

L.S.

---

Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem modelu v rámci souboru EDU-mod pro výuku řídicích systémů. Práce popisuje celý postup od návrhu a výroby řídicího obvodu s mikrokontrolerem, programování tohoto obvodu až po návrh a řešení vzorového zadání a řízení pomocí PLC. Model je osazen mikrokontrolerem Atmel ATmega128, který byl programován programátorem Biprog, zhotoveným pro potřeby této práce. Navržené úlohy byly vypracovány v jazyku STL v prostředí STEP7 Micro/Win a funkčnost modelu byla ověřena řízením pomocí PLC SIEMENS Simatic S7-224XP.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the design of EDU-mod model. EDU-mod models are used for teaching control systems. The thesis deals with the design of control circuit with microcontroller, programming this circuit and with the design of demonstration tasks. Model is controlled by Atmel ATmega128. Microcontroller was programmed by Biprog programmer, which was made for the purpose of this work. Designed tasks were programmed in STL programming language in STEP7 Micro/Win development environment. Functionality was verified by controlling by PLC SIEMENS Simatic S7-224XP.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

PLC, EDU-mod, Atmel ATmega128, Siemens Simatic S7, STEP7

## **KEYWORDS**

PLC, EDU-mod, Atmel ATmega128, Siemens Simatic S7, STEP7

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Maradovi Ph.D. za vedení práce a podnětné rady, které mi poskytl v průběhu mé práce.

**Obsah:**

	<b>Zadání závěrečné práce.....</b>	<b>3</b>
	<b>Licenční smlouva.....</b>	<b>5</b>
	<b>Abstrakt.....</b>	<b>7</b>
	<b>Poděkování.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Modely EDU-mod.....</b>	<b>15</b>
2.1	Rozdělení modelů.....	15
2.2	Vstupní a výstupní signály - připojení k řídicímu systému.....	15
2.3	Model křižovatky.....	16
2.4	Model mísící jednotky.....	17
2.5	Model pračky.....	18
<b>3</b>	<b>Hardware modelu.....</b>	<b>21</b>
3.1	Blokové schéma.....	21
3.2	Stabilizátor LM2576.....	22
3.3	Mikrokontroler ATmega128.....	22
3.4	Řídicí blok s ATmega128.....	23
3.5	Obvod M5451.....	24
3.6	Komunikace.....	25
3.6.1	TTL logika.....	26
3.6.2	Logika automatů.....	26
3.7	Komunikace PLC > ATMEGA.....	27
3.8	Komunikace ATMEGA > PLC.....	28
<b>4</b>	<b>Realizace modelu.....</b>	<b>29</b>
4.1	Eagle.....	29
4.1.1	Editor knihoven.....	29
4.1.2	Editor schémat.....	30
4.1.3	Editor spojů.....	30
4.1.4	Autorouter.....	30
4.2	Návrh DPS.....	30
4.3	Výroba DPS.....	31
4.3.1	Tisk předlohy.....	31
4.3.2	Osvět.....	33
4.3.3	Vyvolání.....	33
4.3.4	Leptání.....	33
4.3.5	Čištění.....	34
4.3.6	Osazení.....	34
4.4	Program modelu.....	35
4.4.1	AVR Studio.....	35
4.4.2	Programátor Biprog.....	36
4.4.3	Převodník USB RS232.....	37
4.4.4	Protokol ISP.....	38
4.5	Popis funkce modelu.....	39
4.6	Modifikace vlastností.....	40
4.7	Napájecí požadavky.....	40
4.8	Ověření funkce modelu.....	42
<b>5</b>	<b>Navržení a vypracování úloh.....</b>	<b>43</b>
5.1	Specifikace Siemens Simatic S7 (CPU224XP).....	43
5.2	STEP7.....	44

5.3	Zadánní a vypracování úloh.....	44
5.3.1	Úloha č. 1.....	45
5.3.2	Úloha č. 2.....	45
5.3.3	Úloha č. 3.....	46
5.3.4	Úloha č. 4.....	47
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>51</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>53</b>

## 1 ÚVOD

Mezi nejpoužívanější číslicové systémy, které jsou dnes nasazeny ve výrobních i nevýrobních aplikacích, patří programovatelné automaty (PLC).

Programovatelný automat je v podstatě průmyslový počítač určený pro automatizaci výrobních i nevýrobních procesů. Periferie jsou tedy přizpůsobeny pro připojení na technologické procesy a převážnou část tvoří digitální vstupy a výstupy. Pro PLC je charakteristické, že vykonává program cyklicky.

V současné době není možné provádět moderní a kvalitní výuku automatizační techniky bez použití prostředků z oblasti číslicové techniky. Jednou z možností jak výuku zkvalitnit a přiblížit skutečnosti je zařadit do výuky modely EDU-mod.

V této práci se zabývám návrhem modelu nádrže, který bude zařaditelný mezi modely EDU-mod a použitelný tedy pro výuku různých řídicích systémů.



## 2 MODEL Y EDU-MOD

Modely EDU-mod vyvinula firma TECO a.s. v rámci výukového systému EDUtec. Jsou určeny pro výuku na středních, vyšších i vysokých školách a používá je také firma TECO a.s. v rámci svých výukových kurzů.

Tyto modely simulují technologické procesy. Jsou určeny především k praktické výuce logických systémů realizovaných programovatelnými automaty (PLC), řídicími počítači, stavebnicemi logických obvodů (např. Dominoputer), atd. Podle napěťové úrovně logických signálů se vyrábí ve dvou základních řadách.[8]

### 2.1 Rozdělení modelů

- Moduly EDU-mod řady 24V - Logické signály s úrovní 24 V ss umožňují univerzální použití pro libovolný typ PLC systému. Vstupní i výstupní signály jsou definovány proti společnému zápornému vodiči. Opačnou polaritu signálů je možno řešit přizpůsobovacími členy.[8]
- Moduly EDU-mod řady 5V - Logické signály s úrovní TTL dovolují spojení s logickými automaty realizovanými na bázi stavebnic číslicových IO, programovatelných logických polí (PLD), procesorových obvodů atd.[8]

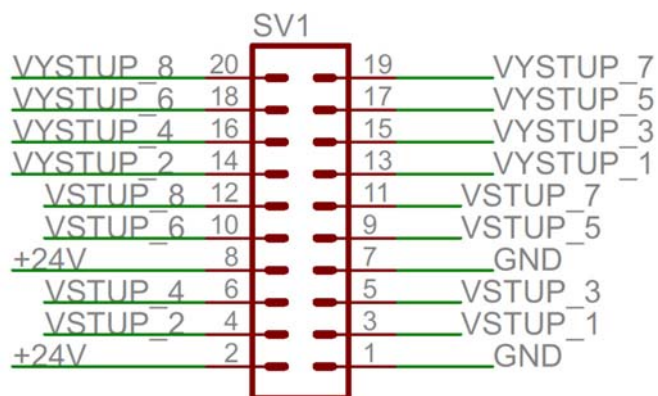
Laboratoř A1/731a je pro účely výuky vybavena modely křížovanky, hydraulické posuvné jednotky, mísící jednotky a automatické pračky. K modelům firma dále dodává dokumentaci, učební text s řadou řešených i neřešených příkladů a datový nosič se zdrojovými texty těchto příkladů.

### 2.2 Vstupní a výstupní signály - připojení k řídicímu systému

Vstupní a výstupní signály EDU-mod jsou vyvedeny na 20 pólový konektor zajišťující propojení plochým kabelem s rozbočovacím modulem. Mechanické provedení je shodné s periferiemi EDUtec. Rozbočovač obsahuje 4 konektory Cannon 9 (2 vstupní, 2 výstupní), pro připojení max. 8 vstupních a 8 výstupních binárních signálů z/do libovolného systému. Chceme-li tedy použít zvolený modul, stačí jej kabelem připojit a do odpovídajících konektorů zapojit řídicí systém (např. EDUtec). [8]

Pro výuku v laboratoři se rozbočovací modul nevyužívá. Na vstupní a výstupní svorky PLC je připojen přípravek s konektorem. Modely jsou propojeny s PLC 20-žilovým plochým kabelem. Tím se celá instalace zjednoduší a urychlí a je tak snazší měnit modely během výuky. Schéma zapojení konektoru je na obr.1.

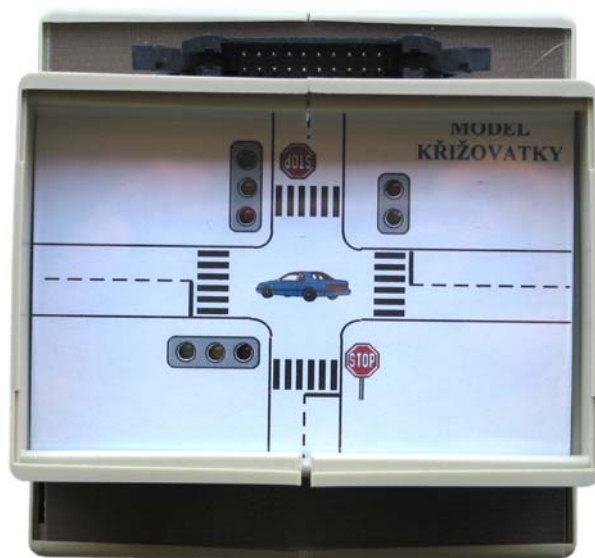
Pomocí tohoto přípravku je také připojen modul se spínači a ledkami, pomocí kterých je možné rozšířit základní úlohy pro modely.



*Obr. 1 Obecné zapojení propojovacího konektoru*

### 2.3 Model křižovatky

Model křižovatky je nejjednodušší model z celé sady. Model simuluje rozsvěcování světelných semaforů, které je plně ovládáno automatem. Model nemá žádné výstupy.



*Obr. 2 Model křižovatky*

Funkce modelu:

- Křižovatka je pasivní modul (neobsahuje procesorovou jednotku), který zobrazuje pomocí LED diod stavy výstupních signálů řídicího automatu.
- Pomocí připojeného modulu s tlačítky, lze zadání rozšířit např. o tlačítko pro chodce, změnu režimu apod.

## 2.4 Model mísicí jednotky

Mísicí jednotka patří k zajímavějším modelům z hlediska realizace ovládání. Hlavním důvodem, stejně jako u modelu pračky, je využívání výstupů modelu. Je tedy možné reagovat na splněný úkol např. na úplné nebo částečné napuštění případně vypuštění nádrže.



Obr. 3 Model mísicí jednotky

Funkce modelu:

- Mísicí jednotka je aktivní modul, simulující mísení tří napouštěných nádrží.
- Jednotka je řízena šesti výstupy PLC (5 ventilů, mixér).
- Mikrokontroler simuluje snímače výšky hladiny, ovládá LED a reaguje na špatné řízení chybovým hlášením.
- Po sepnutí ventilů SV1 až SV3 se plní nádrže (objem 84 litrů) rychlostí 6 l/s.

Senzory snímající výšku hladiny:

- dolní snímače (H3, H5, H8) - minimální množství kapaliny
- střední snímače (H2, H7) - polovina nádrže
- horní snímače (H1, H4, H6) - plná nádrž

Mísicí nádoba má objem 253 litrů. Průtok napouštěcím a vypouštěcím potrubím přes SV4 a SV5 je 18 l/s.

Inicializační stav

Po připojení napájení, nebo po stisku tlačítka RESET jednotka načte inicializační stav. Všechny tanky jsou prázdné, ventily jsou uzavřené a bliká LED ERR, která zhasne při zahájení plnění některého z tanků nebo otevřením vypouštěcích ventilů.

Chybová hlášení

Je-li některý z tanků napouštěn přestože je již plný, rozsvítí se LED ERR. Chybu v řízení je nutné odstranit a model je možné restartovat tlačítkem RESET.

## 2.5 Model pračky

Dalším a zároveň nejsofistikovanějším modelem je model pračky na obr. 4. Simuluje téměř veškeré možnosti, které má automatická pračka a pro reálnější dojem je doplněn například o chlazení ohřáté vody.



Obr. 4 Model automatické pračky

### Funkce modelu

- Model je ovládán 6 digitálními výstupy PLC. Jejich stav je zobrazován pomocí LED.
- Ovládané funkce – 2 směry točení bubnu, jehož pohyb je znázorněn pomocí do kruhu uspořádaných LED. Kromě směru je možné měnit i rychlost (stavem OTÁČKY 0=praní, 1=ždímání).
- Napouštění a vypouštění vody do prací vany a její ohřev (včetně chlazení).
- Výška hladiny je indikována při 50% naplnění a 100% naplnění. Zobrazována je příslušnými LED. Tyto stavy lze číst na vstupech PLC.
- Při ohřívání vody se model chová jako soustava 2. řádu, avšak časové konstanty jsou zkráceny tak, aby se při ladění aplikací nemuselo příliš dlouho čekat (ohřev plné vany na 90°C trvá cca 60s). Teplota vody je snímána ve 4 bodech (30, 40, 60 a 90°C). [8]

### Inicializační stav

Po připojení napájení, nebo po stisku tlačítka RESET jednotka načte inicializační stav. Prací vana je prázdná, pohyb bubnu je vypnut a teplota vody je na počáteční hodnotě.

### Chybová hlášení

Model generuje dva druhy chybových hlášení. Jsou to opravitelné a neopravitelné chyby.

- Opravitelná chyba – V případě, že řídicí program vydává povel k točení na obě strany současně. Tento stav je zobrazen blikáním LED ERR. Při opravitelné chybě stačí změnit řídicí program. Model není nutné restartovat.
- Neopravitelná chyba – Tato chyba je detekována v případě přetečení prací vany, nebo stoupne-li teplota vody nad 90 °C. V těchto případech se LED ERR rozsvítí a je nezbytné restartovat model tlačítkem RESET.

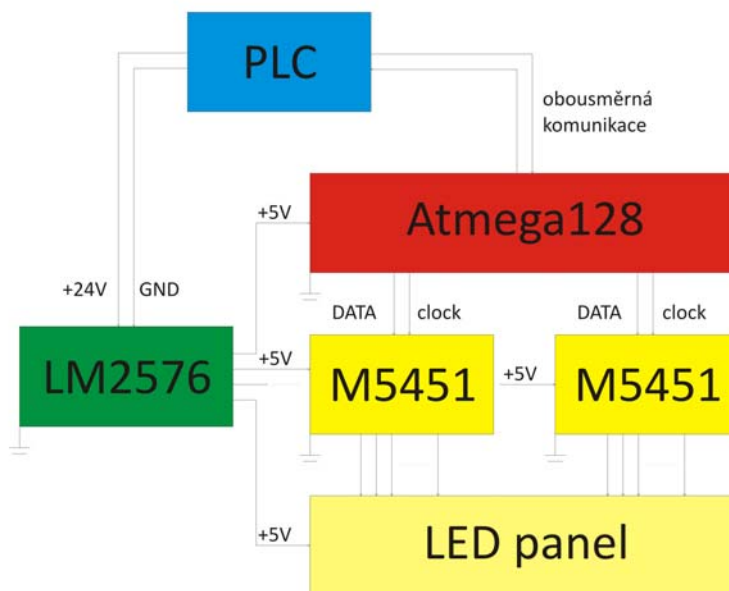
### 3 HARDWARE MODELU

Při navrhování modelu bylo prioritou vytvořit vzhledově i funkčně zajímavý model. Toho se dalo nejlépe docílit tím, že jednotlivé stavy, ať už řízené vnitřním mikrokontrolerem nebo programovatelným automatem, budou zobrazovány pomocí bargrafů a LED diod a vytvářený program bude kromě binárních vstupů a výstupů zpracovávat i jiné informace o stavu simulované technologie. V případě tohoto modelu jde o 2 kanály nesoucí informaci o rychlosti odtoku a aktuální výšce hladiny. Tyto různé stavy rozlišíme čtením frekvence impulzů na příslušných výstupech.

Limitami omezující možnosti aplikace byl maximální možný proud odebíraný ze stabilizátoru a dostupné místo na DPS využitelné k osazení. Zobrazovací funkce a řídicí funkce je zejména z hlediska možnosti využití krabičky WEB1001 rozdělena mezi 2 desky DPS. To vede i k možnosti při budoucí tvorbě jiných modelů využít již navrženou řídicí desku s mikrokontrolerem a připojit k ní novou zobrazovací desku s odlišnou úlohou.

#### 3.1 Blokové schéma

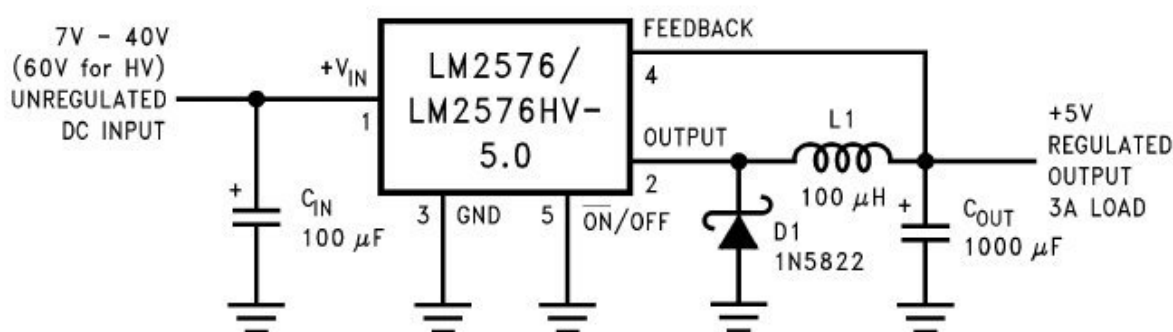
Celá aplikace je umístěna do konstrukční krabičky WEB1001, kterou je možno uchytit na lištu DIN. Napájena a řízena je pomocí programovatelného automatu. O dostatečné proudové zajištění se stará spínaný nelineární stabilizátor LM2576. Vnitřní výpočty a řízení zobrazování stavů je zajištěno mikrokontrolerem od firmy Atmel Atmega128.



Obr. 5 Blokové schéma navrženého modelu

### 3.2 Stabilizátor LM2576

LM2576 je monolitický integrovaný obvod. Jedná se o step-down (snižující, ve smyslu úrovně vstupního a výstupního napětí) spínaný regulátor, který je možno zatížit až do 3 A. Vstupní napětí může být až 40 V. Vyrábí se i ve verzi pro vstupní napětí do 60 V. Obvod je k dispozici v provedení s pevným výstupním napětím ve verzích 3,3V, 5V, 12V, 15V a v nastavitelné verzi. Výstupní napětí má garantovanou 4% toleranci. Účinnost obvodu se pohybuje okolo 75 %, neměl by tedy být problém s nadměrným přehříváním. Přesto je vybaven teplotní pojistkou a na pouzdro TO-220 je samozřejmě možno přimontovat chladič. Výhodou tohoto obvodu je, že při svých parametrech vyžaduje minimální množství externích komponentů. Typická aplikace je na obr. 6.



Obr. 6 Příklad zapojení stabilizátoru LM2576 [3]

### 3.3 Mikrokontroler ATmega128

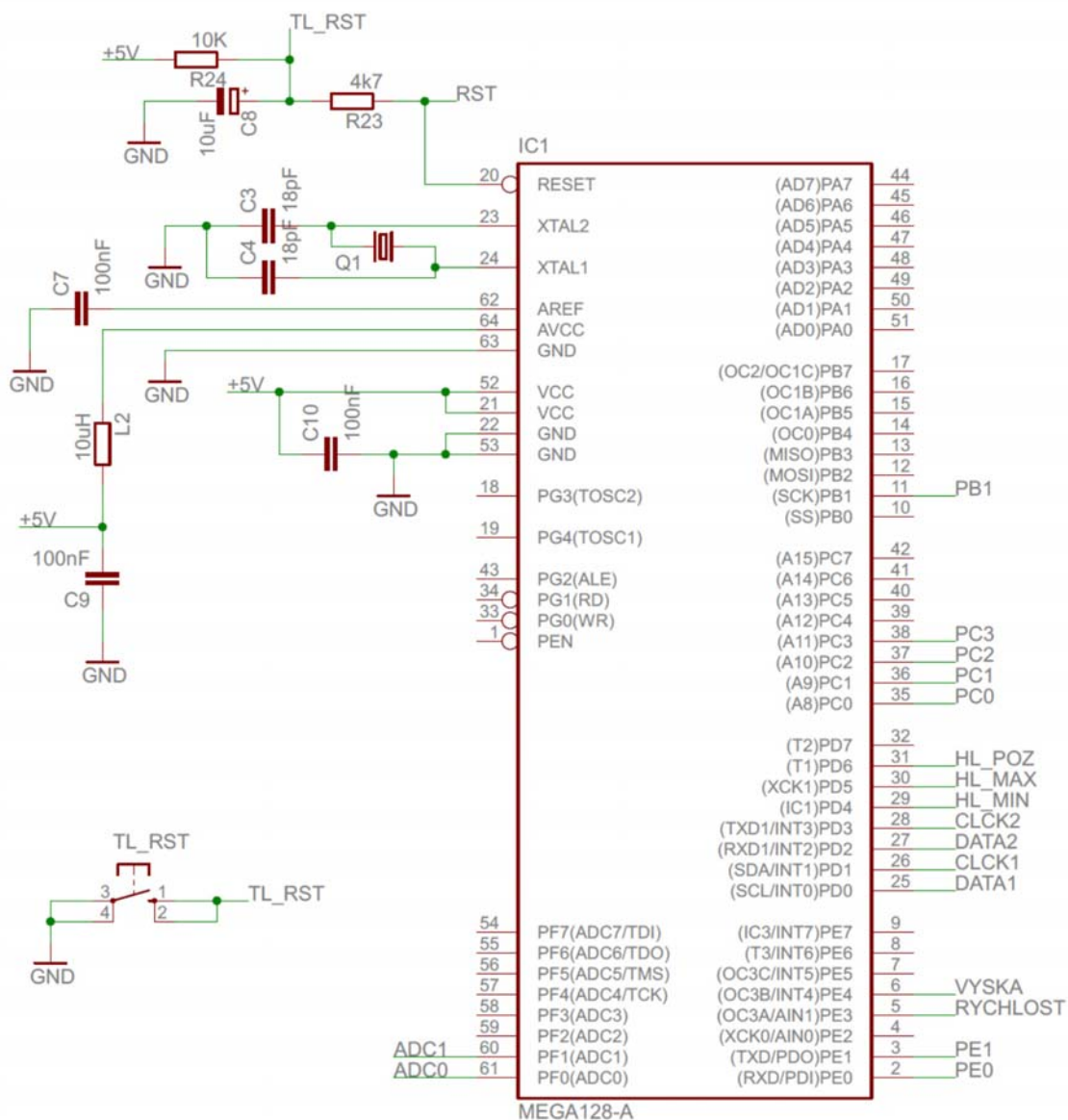
O řídicí funkce modelu se stará 8bitový mikrokontroler od firmy Atmel ATmega128. Jeho struktura je navržena tak, aby bylo co nejjednodušší užít vyšších programovacích jazyků.

Vlastnosti mikrokontroleru:

- 8 bitový mikrokontroler, RISC architektura
- paměť
  - 128 Kb programové FLASH paměti
  - 4 Kb EEPROM paměti pro uložení dat vytvořených programem
  - 4 Kb SRAM operační paměti
- rozhraní ISP, JTAG
- I/O porty s alternativními softwarově ovládatelnými funkcemi
  - ADC (8 kanálové s 10 Bitovým rozlišením)
  - PWM (rozlišení 2 – 16 Bitů)
  - komparátory
  - komunikace I<sup>2</sup>C
  - řadič USART

### 3.4 Řídicí blok s ATmega128

Zapojení základního řídicího bloku je na obr. 7. Jedná se o zapojení mikrokontroleru se základními pasivními součástkami podporující jeho správnou funkci.



Obr. 7 Schéma řídicího bloku s ATmega128

Při návrhu desky bylo počítáno s možností externího zdroje pracovního kmitočtu. Desku je tedy možné doplnit o krystal v pouzdru HC49/S. Krystal je zapojený podle doporučení v dokumentaci pomocí keramických kondenzátorů (C3 a C4) s kapacitou 18pF. Příslušné piny jsou XTAL1 a XTAL2.

Pro snímání hodnoty napětí nastavené na potenciometru je využito AD převodníku. Aby bylo možné převodník využít, musíme jej napájet, tedy na pin AVCC přivést napájecí napětí přes indukční článek (L2). Doporučená hodnota je 10uH. Zároveň musíme určit referenční napětí. Referenční napětí je napětí na pinu AREF. Při užití vnitřní reference 2,56V nebo napájecího napětí jako reference pin, AREF musí být připojen přes



kondenzátor (C7) k zemi.

Pro eliminaci šumu a zvýšení přesnosti měření je doporučeno připojovat měřené napětí pomocí co nejkratších cest, které by neměly vést poblíž vysokorychlostních digitálních cest. Větší plochy by měly být vylity mědi a uzemněny.

Obvod RESET je tvořený kondenzátorem (C8) s kapacitou 10 $\mu$ F a odpory (R23 a R24) 10k a 4k7. Tento RC článek zajišťuje zpožděný a hladký náběh reset signálu. V modelu je využit pro programování i k restartování funkce modelu.

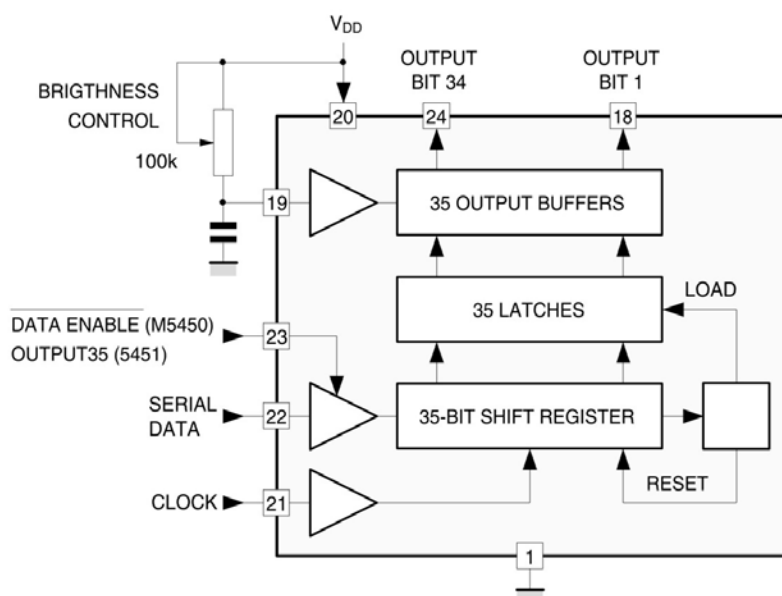
Pro potřeby programování SMD mikrokontroleru je obvod opatřen programovacím konektorem, aby bylo možné program měnit.

K portu PC jsou připojeny výstupy PLC. Je tedy nastaven jako vstupní. Z tohoto důvodu je vypnut režim kompatibility ATmega103, který nedovoluje použít port C jako vstup. Port PD je nastaven jako výstupní. Je připojen na vstupy PLC a zároveň odesílá na branách PD0 – PD3 data pro budiče LED. Na branách PD3 a PD5, jejichž alternativní funkce jsou výstupy PWM, jsou připojeny vstupy PLC s vysokorychlostními čítači pro odesílání informací o stavu modelu.

Alternativní funkcí portu PF je přístup k AD převodníkům. Proto jsou branám PF1 a PF2 připojeny potenciometry pro úpravu vlastností modelu.

### 3.5 Obvod M5451

Obvod M5451 je sériový budič displeje. Je dostupný v pouzdrech PDIP40 a PLCC44. Blokové schéma je na obr. 8. Obvod má dva logické vstupy – CLK a DATA, pomocí kterých se zapisuje sled 35 bitů do vnitřního vyrovnávacího registru. Stav registru se po zapsání objeví na 35 výstupech. Obvod M5451 obsahuje i regulátor jasu displeje, respektive omezení protékajícího proudu. Obvod M5450 je obdobou obvodu M5451, obsahuje ovšem pouze 34 výstupů. Pin 19 (pin 35. bitu obvodu M5451) je vstupní pin DATA ENABLE. Jeho aktivace umožní zápis dat do posuvného registru.



Obr. 8 Blokové schéma řediče M5451 [4]

Komunikace (podle schéma na obr. 9) začíná zápisem startovací jedničky, pak následuje 35 libovolných datových bitů. Když projde startovací jednička skrz 35bitový interní posuvný registr na 36. pozici, přepíše se při náběžné hraně CLK (při 36. hodinovém impulzu) stav posuvného (shift) registru do 35bitového latch registru a při závěrné hraně CLK se posuvný registr vynuluje, aby bylo možné přijmout další bity do posuvného registru. Minimální délka impulzu CLK je  $1\mu\text{s}$  při maximálním kmitočtu CLK a DATA 500kHz. [10]



Obr. 9 Časový průběh komunikace řadiče M5451 [4]

### 3.6 Komunikace

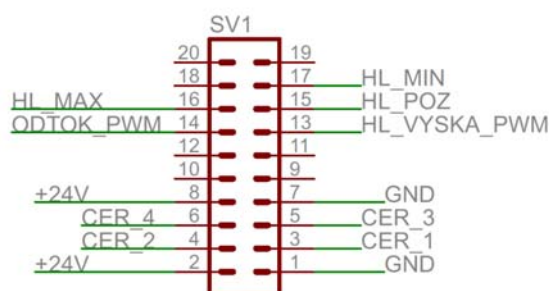
Pro zajištění bezchybné komunikace a dodržení bezpečných podmínek chodu pro obě zařízení je důležité navrhnout vstupní a výstupní obvody modelu tak, aby vstupní a výstupní proud a napětí byly dostačující a bezpečné. Přenos dat probíhá oběma směry jak z PLC do mikrokontroleru, tak i naopak.

Při návrhu obvodů se vycházelo ze specifikace IO bran mikrokontrolerem ATmega128 a digitálních vstupů a výstupů programovatelného automatu Siemens Simatic S7-224XP.

Pro ulehčení návrhu a ověření správné funkce ještě před výrobou byla provedena simulace. Existuje několik možností pro provedení simulace od specializovaných softwarů jako OrCad, MultiSim atd. až po realizaci v nepájivém poli. Oba programy je možno využít zdarma jako shareware. Software obsahuje knihovny s matematickými modely reálných součástek. Simulaci v nepájivém poli může předcházet počítačová simulace například pro zjednodušení výpočtů předřadných odporů pro optočleny.

Simulace vstupního obvodu byla provedena v programu OrCad. Zapojení výstupního obvodu bylo navrženo v nepájivém poli.

Komunikace, stejně jako u modelů EDU-mod, probíhá po 20 žilovém plochem kabelu.



Obr. 10 Zapojení konektoru navrhovaného modelu

Prvním dvěma pinům (na obr. 10) z části konektoru vyhrazené pro vstup do PLC, byly přednostně přiřazeny zpětné vazby. Na těchto pinech lze číst různou frekvenci pulzů odpovídající aktuální výšce hladiny v nádrži a aktuální rychlosti odtoku. Právě tyto dva piny jsou přednostně připojeny na vstup I0.0 a I0.1 PLC Simatic S7-224XP, na kterých lze využít vysokorychlostní čítače HSC (High-Speed-Counter).

### 3.6.1 TTL logika

TTL (transistor-transistor-logic) je standardem používaným pro implementaci digitálních (také logických) integrovaných obvodů, vycházejícím z použití technologie bipolárních křemíkových tranzistorů. [9] Napájecí napětí obvodů využívající TTL logiku je 5V. Logická 0 a logická 1 je reprezentována napětím podle tab. 1.

Úrovně TTL logiky	
Logická 1	2 V – 5 V
Logická 0	0 V – 0,8 V

*Tab. 1 Napěťové úrovně TTL logiky*

Za kompatibilní se považují všechny obvody, které na svých výstupech zaručí napětí v těchto intervalech. V současné době je tendence snižovat hladinu napájecího napětí na 3,3V, případně nižší, zejména z důvodů vyšší integrace a nižší spotřeby.

### 3.6.2 Logika automatů

Napěťové úrovně programovatelných automatů jsou popsány v technické dokumentaci PLC. Pro Siemens Simatic-S7 s CPU 224XP jsou minimální úrovně pro vstupy i výstupy popsány v tab. 2 a 3.

Digitální vstup	
Logická 1 (min.)	15V DC při 2,5mA
Logická 0 (max.)	5V DC při 1mA

*Tab. 2 Napěťové úrovně digitálních vstupů Simatic S7-224XP*

Digitální výstup	
Logická 1 (min.)	L+ minus 0,4V při max. proudu
Logická 0 (max.)	0,1V DC při zátěži 10KΩ

*Tab. 3 Napěťové úrovně digitálních výstupů Simatic S7-224XP*

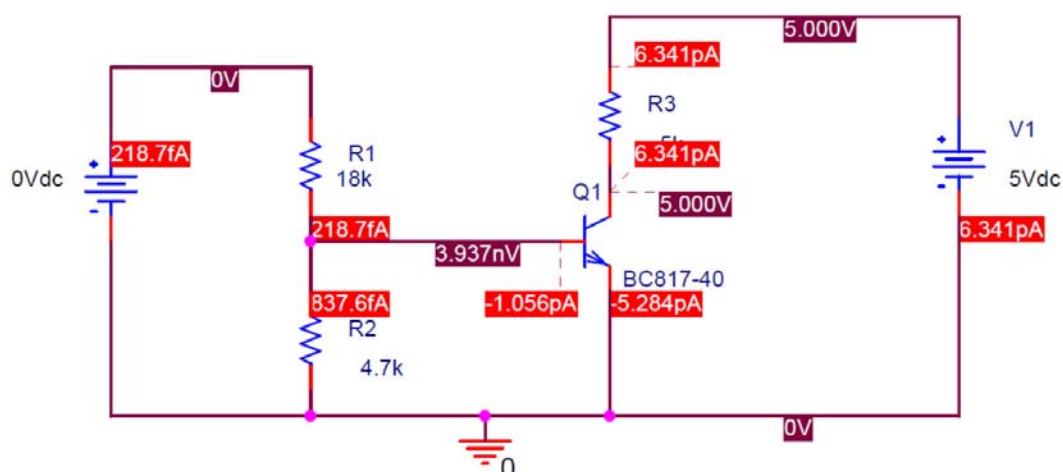
### 3.7 Komunikace PLC > ATMEGA

Navrhovaný obvod zajišťuje předání informace z PLC pro mikroprocesor a řeší rozdíly v komunikační logice. PLC využívá 24V logiku, kdežto mikrokontrolery využívají TTL logiku, tedy 5V logiku. V obvodu je využit tranzistor NPN v zapojení se společným emitorem. Je tedy využit jako spínač ovládaný proudem tekoucím do báze.

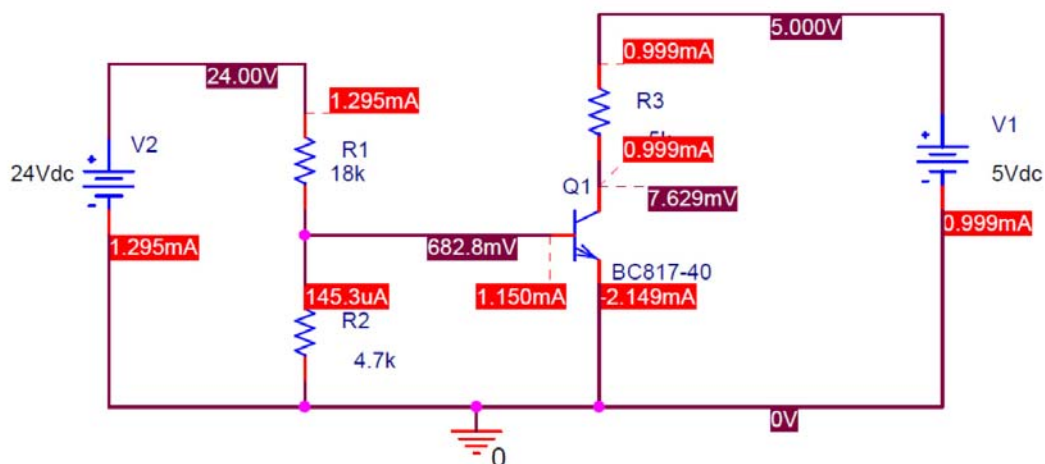
Brána atmegy je připojena ke kolektoru podle obr. 11. Při tomto zapojení dochází k otočení logiky, což je ošetřeno softwarově.

Při užití tranzistoru jako spínače se tranzistor uvádí z nevodivého režimu do režimu saturace. Maximální proud, který poteče obvodem kolektro-báze je určen součinem zesílení tranzistoru a proudem báze-emitor. Tento proud, který je určen ke spínání brány ATmegy, se omezí odporem. (odpor R3 obr.11, 12)

Zapojení bylo navrženo a odsimulováno v softwaru OrCAD.



Obr. 11 Simulace komunikace PLC > ATmega (výstup PLC je v logické 0)



Obr. 12 Simulace komunikace PLC > ATmega (výstup PLC je v logické 1)

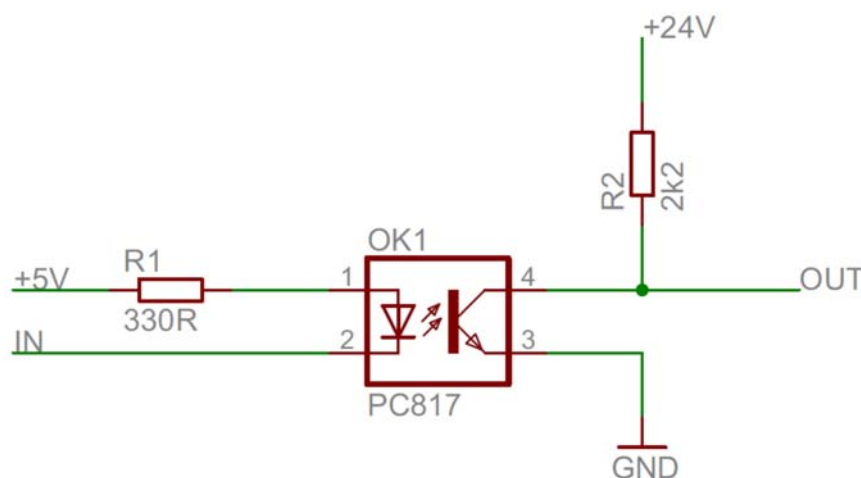
### 3.8 Komunikace ATMEGA > PLC

Výstupní komunikační obvod modelu je realizován optočlenem (obr. 13.). Optočlen se skládá z LED diody a fototranzistoru. Svojí podstatou galvanicky odděluje obvod LED diody a obvod fototranzistoru a umožňuje v obou obvodech užít různá napětí.

Po přivedení proudu na vstup optočlenu se rozsvítí LED dioda a otevře se fototranzistor. Závislost velikosti otevření fototranzistoru na velikosti tohoto proudu je popsána v dokumentaci optočlenu.

Proud tekoucí odporem R2 do vstupu PLC musí být nejméně 2,5mA, aby PLC detekoval na vstupu logickou 1.

Při testování modelu s PLC byla hodnota odporu R2 změněna na 2k2. Proud tekoucí do vstupu PLC je tedy 10mA.



Obr. 13 Schéma obvodu komunikace Atmega > PLC

Anoda diody je přes odpor R1 připojena na napájecí napětí. Odpor R1 omezuje proud tekoucí LED diodou. Brána ATmegy je připojena ke katodě LED diody. Je-li brána Atmegy v logické 0, rozsvítí se LED dioda, tranzistor se otevře a proud teče obvodem kolektor-emitor. Vstup PLC, který je připojen na OUT, tento stav detekuje jako logickou 0.

Je-li brána ATmegy v logické 1, dioda nesvítí, proud tedy neteče obvodem kolektor-emitor. Na vstupu PLC se objeví napětí 24V a proud teče do vstupu PLC. To je PLC detekováno jako logická 1. Při tomto zapojení tedy nedochází k obrácení logiky.

## 4 REALIZACE MODELU

Realize modelu obnášela tyto úkony v následujícím pořadí: návrh funkce modelu, návrh elektronických obvodů modelu, převodníku a programátoru, výrobu desek plošných spojů, tvorbu programu pro mikrokontroler, ověření správné funkce modelu, návrh a vypracování úloh pro Simatic S7-200.

### 4.1 Eagle

Eagle je editor plošných spojů od firmy CadSoft. Název EAGLE je zkratka slov „Easily Applicable Graphical Layout Editor“. Volným překladem můžeme význam těchto slov chápat jako „Lehce použitelný grafický projektovací editor“.

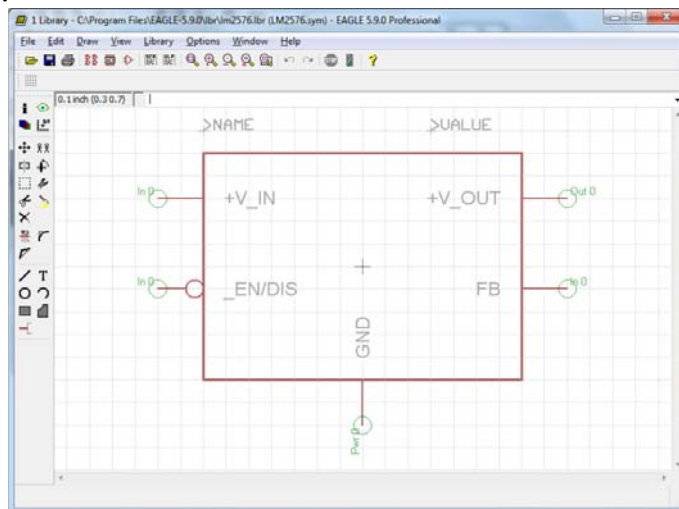
Za základní části programu se dají považovat tyto moduly:

- Editor knihoven
- Editor schémat
- Editor spojů
- Autorouter

Mezi těmito moduly můžeme jednoduše přepínat pomocí Ovládacího panelu. Není tedy nutné přizpůsobovat výstupy z jednotlivých modulů pro další zpracování. Program obsahuje základní knihovnu s klasickými i SMD součástkami.

#### 4.1.1 Editor knihoven

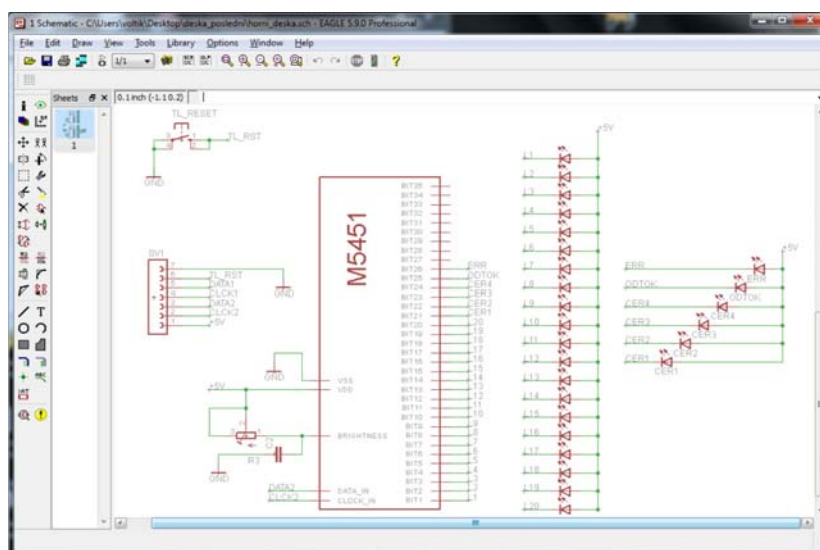
Tvorba nové položky knihovny se skládá ze tří kroků, které je důležité zachovat, protože na sebe navazují. První je vytvoření pouzdra. Nejdříve je důležité nastavit si velikost pomocné mřížky Grid. Dále zjistit informace o velikosti pouzdra a rozteči vývodů. Tyto informace jsou běžně k vyhledání v dokumentaci k součástce tzv. Datasheet. Na základě těchto informací pomocí příkazu Pad rozmístíme pájecí plošky a pojmenujeme je nástrojem Name. Další krok je vytvoření schematické značky. Zde pomocí nástroje Wire nakreslíme značku a přidáme vstupy nebo výstupy pomocí Pin. Následuje poslední krok, vlastní vytvoření součástky. V tomto kroku se propojuje pouzdro se schematickou značkou, tedy pájecí plošky a piny.



Obr. 14 Tvorba nové součástky pro knihovnu

### 4.1.2 Editor schémat

Editor schémat pracuje se schématickými značkami. Při tvorbě schématu se nejdříve na pracovní plochu nástrojem Add umístí z knihovny potřebné součástky. Software je automaticky označí pro pozdější identifikaci (např. při exportu seznamu součástek nebo osazovacího plánu desky) a uživatel, pokud je nutné definovat parametry součástky, dopíše pouze příslušnou hodnotu s jednotkou (např. velikost odporu rezistoru, indukčnosti cívky apod.). Součástky jsou propojovány pomocí nástroje Wire. Pro větší přehlednost schématu je vhodné užít nástroje Label a Name. V tomto případě není nutné vést celou cestu mezi součástkami, ale označit pouze místa, která chceme propojit a přiřadit jim stejné jméno. Shodným pojmenováním je jednoznačně definováno propojení jednoho či více vodičů.



Obr. 15 Návrh schématu obvodu zobrazovací desky

### 4.1.3 Editor spojů

Editor spojů pracuje s pouzdry. K přechodu z editoru schémat do editoru spojů slouží nástroj Board (případně Schematic v opačném směru). V editoru spojů si nejdříve určíme hranice desky a poté rozmístíme pouzdra podle potřeby, podle výhodnějšího umístění nebo podle výhodnější orientace pouzdra pro tažení cesty. Spoje vytváříme pomocí funkce Route.

### 4.1.4 Autorouter

Autorouter je funkce využitelná v editoru spojů. Slouží k automatickému rozmístění cest na DPS. Tato funkce vyžaduje před použitím konfiguraci, kde se nastaví například šířka cest nebo jejich vzdálenost, velikost izolačních mezer apod.

## 4.2 Návrh DPS

První krok v celém návrhu DPS je nastavení rastru Grid. Grid byl během veškeré práce s Eaglem nastaven na 25mil. Správné nastavení rastru je důležité při tvorbě součástky i při vytváření schématu. Při nesprávně nastaveném rastru nemusí dojít k propojení součástek ve schématu tzn. že cesta nebude nabídnuta k vytvoření v editoru spojů.

Před navržením schématu bylo nutné vytvořit některé v knihovně neobsažené součástky. Jednalo se o spínaný stabilizátor LM2576 a řadič M5451. Výhodou obou součástek bylo, že jsou vyráběny v běžně používaných pouzdrech TO-220 a PDIP-40, které knihovna obsahuje. Bylo tedy nutné vytvořit pouze schematické značky a propojit je s pouzdry. Při návrhu schématu bylo využito ověřených zapojení popsanych v datascheetech. Postupovalo se běžným způsobem, pouze při návrhu desky, bylo nutné počítat s výrobou v laboratorních podmínkách. Minimální šířku cesty běžně ovlivňuje několik faktorů: výška měděné vrstvy, proud procházející cestou nebo maximální možný přírůstek teploty, způsobený procházejícím proudem. V některých případech byla minimální šířka cesty zvětšena na 20 mil právě s ohledem na výrobu. Také velikost pájecích plošek a prokovů, stejně tak velikost díry pro vrtání byly přizpůsobeny možnostem výrobních podmínek. Průměr těchto plošek, kde to bylo možné, byl zvětšen u klasických součástek na 60 – 70 mil a velikost děr pro vrtání zmenšen na 10 mil. U součástek v provedení SMD nedošlo k žádným změnám. Velikosti obou desek byly přizpůsobeny tak, aby je bylo možné vložit do elektroinstalační krabíčky.

### 4.3 Výroba DPS

Na výrobu DPS je možno použít více různých metod určených pro domácí jednorázové účely nebo pro sériovou výrobu. Rozhodovací kritéria pro volbu postupu byly nenáročnost celého procesu a dostupnost potřebného vybavení. Pro účely této práce byla zvolena metoda foto cestou. Navíc níže popsaným postupem se dá dojít slušných výsledků.

Pro celou výrobu desky bylo použito následující vybavení:

- pákové nůžky
- osvitová LED jednotka
- vývojka (1,5 % roztok NaOH)
- leptací roztok ( $\text{FeCl}_3$ )
- odmašťovadlo (aceton, izopropanol)
- pájecí lak ve spreji
- vrtačka na plošné spoje
- smirkový papír (hrubost 260 a 120)
- filmová předloha
- průhledná izolepa, nůžky

Jako polotovar byla užita cuprexitová deska s fotocitlivým povrchem. Cuprexit je obchodní označení pro pertinaxovou desku potaženou měděnou fólií. Pertinax je izolační materiál. Jedná se o papír nebo skelnou tkaninu, tvrzené fenolformaldehydovou pryskyřicí. [11] Cuprexitové desky se dodávají s tloušťkou měděné fólie od 18 $\mu\text{m}$  do 100 $\mu\text{m}$ .

#### 4.3.1 Tisk předlohy

Vytvořit kvalitní předlohu pro pozdější osvit fotocitlivé vrstvy je velice důležité. Nejjednodušší možností jak vytvořit předlohu je vytisknout ji laserovou tiskárnou na pauzovací papír nebo průhlednou fólii. Tato metoda je ovšem ve většině případů nedostatečná.



Ideální předloha má tyto vlastnosti: [15]

- Vysoký kontrast v UV spektru
- Vysokou ostrost a dostatečné rozlišení
- Tvarovou stálost a přesnost
- Motiv vytištěný zrcadlově tak, aby se přímo pokládal na emulzi desky (vzniká ostřejší kresba)
- Možnost opakovaného použití

Pokud požadujeme co nejvyšší přesnost a dobrý vzhled, získáme nejkvalitnější předlohu při únosných cenových podmínkách a dostupnosti služby, osvitem filmu. Některá grafická studia mají v nabídce službu výroby předlohy pro DPS. V takovém případě je vhodné získat od nich přesný návod na předtiskovou přípravu. Z vlastní zkušenosti vím, že je lepší připravit si soubor pro studio tak, aby jej bylo možné ze strany studia přijmout a přímo jednoduše zpracovat.

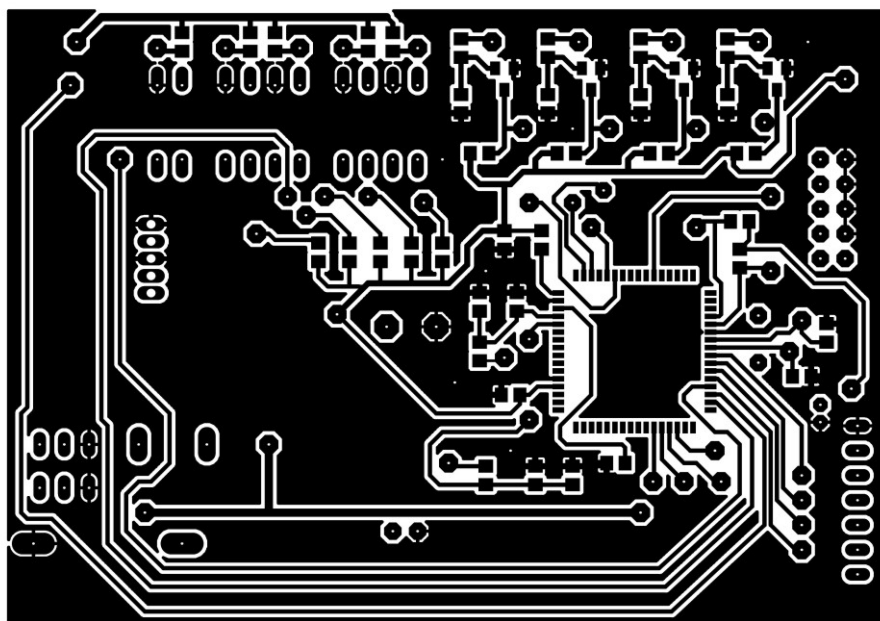
Studio většinou vyžaduje data těchto parametrů:

- Kompozitní soubor PostScript nebo PDF
- Vstupní data v barvovém prostoru CMYK

Soubor PDF není vhodné vytvářet v grafických editorech. Doporučený postup je využít v Eaglu výstup postscript a tento soubor dále zpracovat do souboru PDF v Adobe Distiller. To je výhodné i z důvodu umístění více předloh do jednoho souboru a ušetření nákladů.

Toto vše ale obnáší provedení kompletní přípravy skládající se z:

- Stranového zrcadlení předlohy pro spodní stranu desky (Bottom)
- Zachování nepřevráceného obrazu vrchní strany desky (Top)
- Uspořádání obrazů na vhodně vybraný formát při dostatečném zachování okrajů
- Uspořádání obrazů tak, aby mezi nimi byl dostatek místa pro pozdější zpracování.



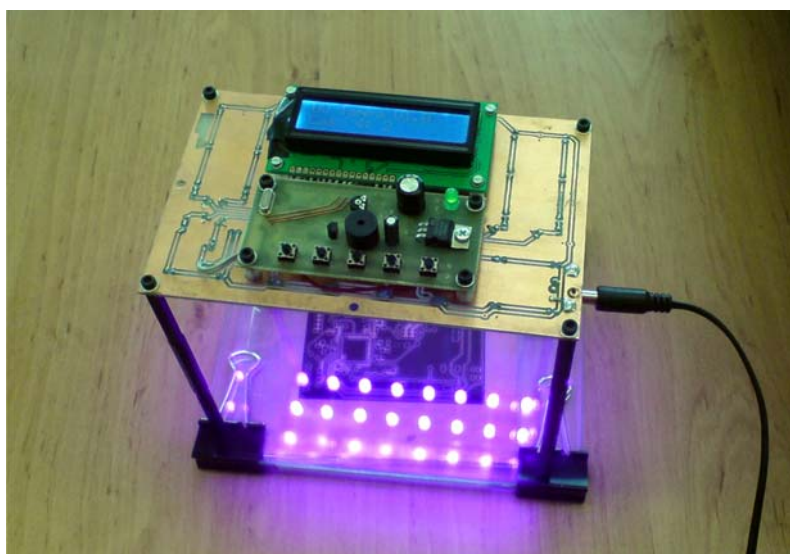
*Obr. 16 Předloha připravená k osvitu na film*

### 4.3.2 Osvit

Před samotným osvitem bylo nutné připravit si předlohu. Při osvitu oboustranné desky je nezbytné, aby obě předlohy měly vůči sobě přesnou polohu. Osvědčil se postup, kdy se obě předlohy izolepou slepí dohromady, aby vytvořily kapsu, do které se cuprexitová deska vloží. Kapsa je vytvořena tak, aby strany filmu na kterých se předlohy nachází, byly přiloženy k desce, tedy uvnitř kapsy. V opačném případě by mohlo dojít k rozostření obrazu. Poté se celý přípravek vloží mezi 2 důkladně očištěná skla a zpevní.

Délka osvitu se odvíjí od typu desky a osvitového zařízení. Osvit se provádí ze vzdálenosti cca 20cm. Při výrobě těchto desek bylo využito osvitové jednotky osazené UV led diodami. Čas osvitu byl na časovce nastaven na 5,5 minut.

Při osvitu dojde k vytvoření negativu. Z osvětlených míst bude při vyvolání odstraněn lak a později při leptání dojde na těchto lakem nechráněných místech k odstranění mědi.



*Obr. 17 Osvit fotocitlivé vrstvy UV osvitovou jednotkou*

### 4.3.3 Vyvolání

Vyvolání probíhá v roztoku zvaném vývojka. Je to 1,5% roztok hydroxidu sodného. Roztok se nalije do ploché nádoby a osvětlená deska se do něj ponoří. S ponořenou deskou vhodné pinzetou pohybovat, aby docházelo k lepšímu proudění okolo osvětleného laku.

Během průběžně prováděné kontroly bylo možné pozorovat, že se obraz začínal pomalu vykreslovat. Až došlo k úlnému vykreslení všech tvarů bylo vyvolání u konce. Celková doba byla asi 10 minut.

### 4.3.4 Leptání

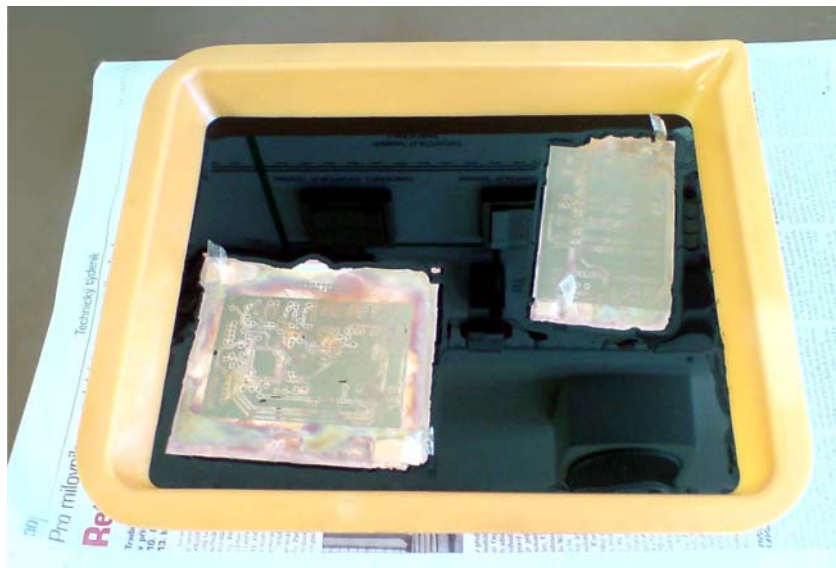
Po dokončení vyvolání byla deska opláchnuta vodou, tím se odstranily zbytky vývojky a laku. Leptání probíhá v chloridu železitém. Ten je rozpustný ve vodě, proto se deska musí osušit, aby nedocházelo ke zbytečnému znehodnocování leptadla. Při leptání oboustranných desek se při tvorbě úchytek pro vytažení z leptadla musí dávat pozor na dosud neleptaná místa, aby nedošlo k poškození laku.

Deska byla položena na hladinu leptadla, kde plavala a odleptaná měď tak odpadávala

ke dnu nádoby. Leptání trvalo asi 30 minut.

Pro urychlení procesu může být leptání prováděno za vyšší teploty leptadla. (Až 50°C) Čas se také může prodlužovat od skutečnosti, že leptadlo je opakovaně využíváno. Je ovšem třeba dávat pozor aby nedošlo k podleptání a tím ke znehodnocení desky.

Při leptání druhé strany byla již vyleptaná strana přelepena izolepou, aby tak byla chráněna proti případnému styku s leptací kapalinou.



*Obr. 18 Leptání v  $FeCl_3$*

#### 4.3.5 Čištění

Po dokončení leptání byla deska opět omyta vodou a osušena. Následovalo čištění acetonem. Tím byly odstraněny zbytky laku. Před osazením byly vyvrtány díry na stojanové vrtačce. Deska byla upravena do konečného tvaru, přebroušena smirkovým papírem, znovu očištěna acetonem a zakonzervována pájitelným lakem. Schnutí laku trvalo 24 hodin.

#### 4.3.6 Osazení

Po zaschnutí laku bylo možné již osadit desku součástkami. Nejdříve byly zapájeny z obou stran prokovy tvořené tenkými drátky, poté SMD součástky (mikrokontroler, trimry, rezistory, kondenzátory) a nakonec vývodové součástky a konektory. Jelikož při pájení bylo užíváno pájecí pasty, deska se musela očistit isopropanolem.

## 4.4 Program modelu

### 4.4.1 AVR Studio

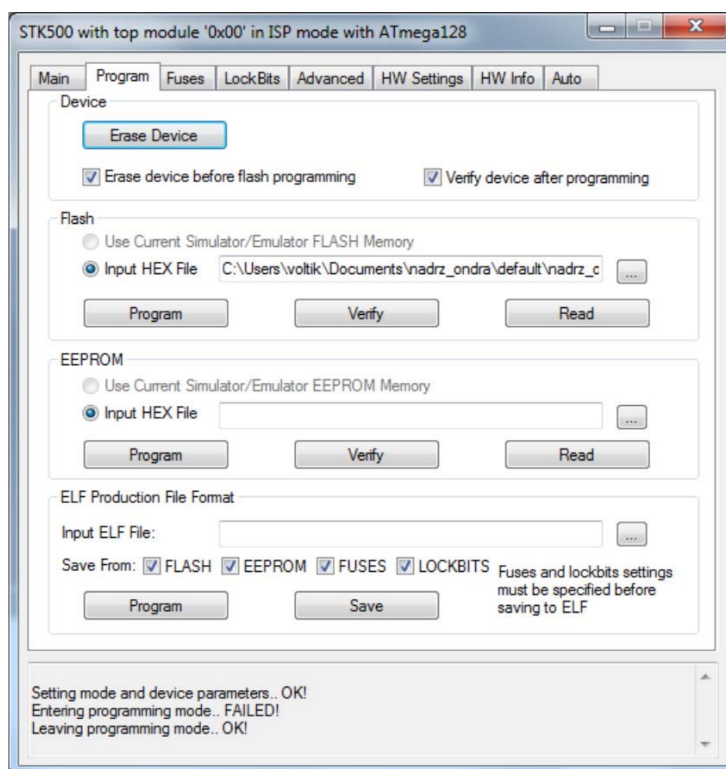
AVR Studio je vývojové prostředí pro vytváření programových projektů, které je volně dostupné.

Základní funkce prostředí jsou:

- Spravování projektů
- Simulátor procesorů a debugger
- Integrovaný překladač assembleru do strojového kódu
- Integrace kompilátoru jiného jazyka

Prostředí obsahuje textový editor pro vytváření kódu, který automaticky rozeznává části kódu jako jsou instrukce, komentáře, čísla atd., které barevně zvýrazňuje, což zvyšuje přehlednost a usnadňuje orientaci v kódu. Okno editoru je užíváno i při ladění kódu, kde je možné nastavit trasu v kódu nebo do něj přidávat breakpointy.

Pomocí AVR Studia je možné spravovat nejen programový kód, ale také informace o projektu nebo související textové soubory.



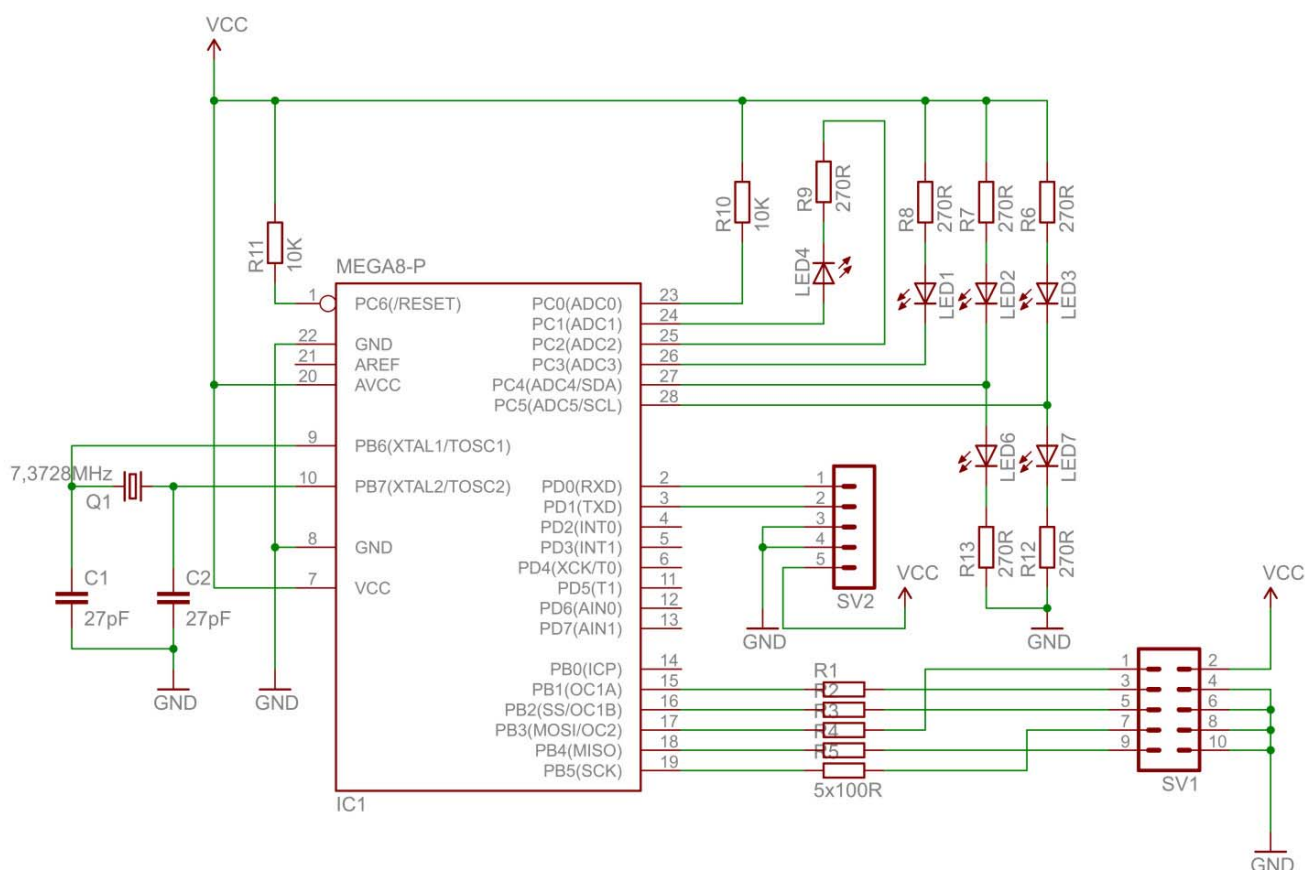
Obr. 19 Nahrání zkompilevaného programu (\*.HEX) do FLASH paměti

#### 4.4.2 Programátor Biprog

V „amatérských“ podmínkách je výhodnější využít sériových programátorů, které mají na rozdíl od paralelních jednodušší konstrukci a jsou cenově nenáročné. Pro potřeby této práce jsem zvolil programátor Biprog. Biprog je ISP programátor mikrokontrolerů Atmel navržený panem Lubošem Rucklem, volně nabízen na internetu jako cardware pro nekomerční použití.

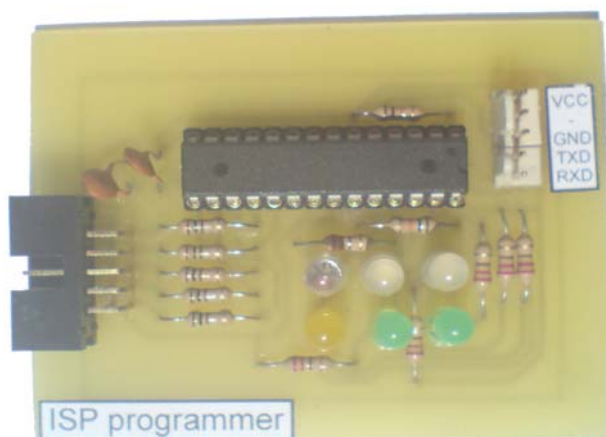
Firmware je napsán na základě aplikační poznámky AVR068 a je řízen plug-inem AVRstudia STK500. Jako řídicí program je také možno využít AVRUDE.

Srdcem biprogu je mikrokontroler ATmega8, jehož kapacita plně postačuje požadavkům na programátor. Díky tomu je možné využít mikrokontroler zároveň i pro jinou aplikaci. Od této možnosti bylo při realizaci upuštěno. ATmega8 je užita pouze pro potřeby programátoru, proto byla konstrukce mírně změněna. Upravené schéma je na obr. 20.



Obr. 20 Upravená konstrukce programátoru

Pro nahrání firmwaru do mikrokontroleru programátoru byl využit již funkční programátor, pomocí kterého byl zaveden bootloader. Celý postup oživení programátoru je dobře popsán v dokumentaci programátoru.



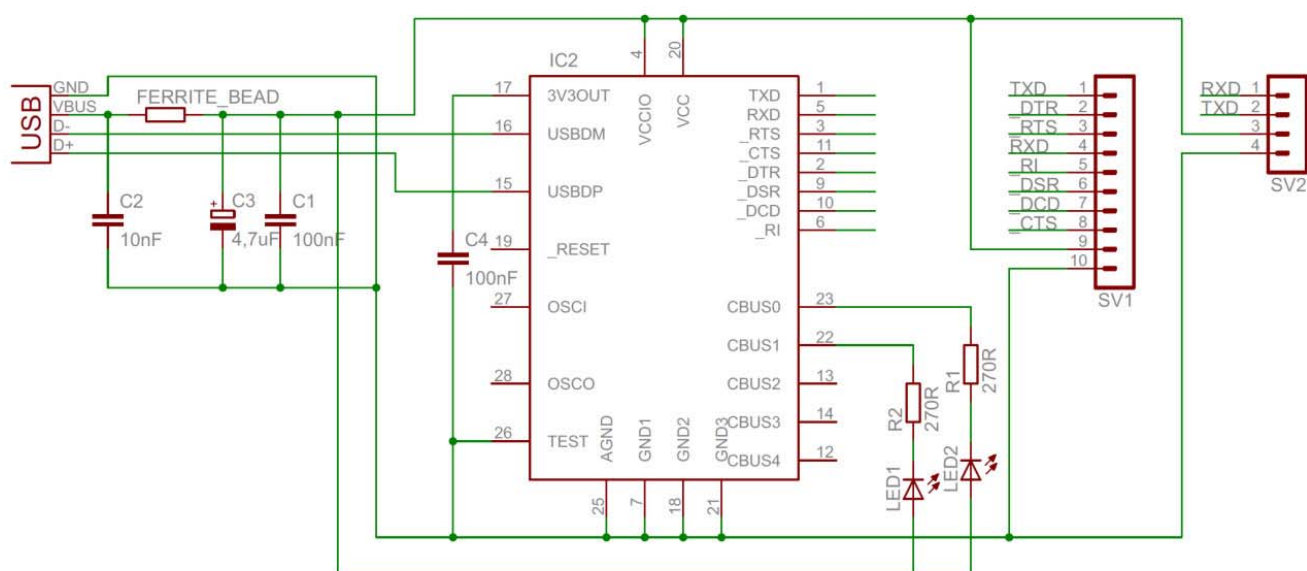
Obr. 21 Vyrobený programátor

#### 4.4.3 Převodník USB RS232

Aby bylo možné připojit programátor k PC bez sériového portu, byl vytvořen převodník z USB na RS232. Modul byl vystavěn na jednočipovém převodníku FT232RL, který je kompatibilní s USB1.1 a USB2.0. V případě, že systém vyžaduje ovladač, je nutné nainstalovat Virtual Port Com Driver dle typu systému a architektury procesoru.

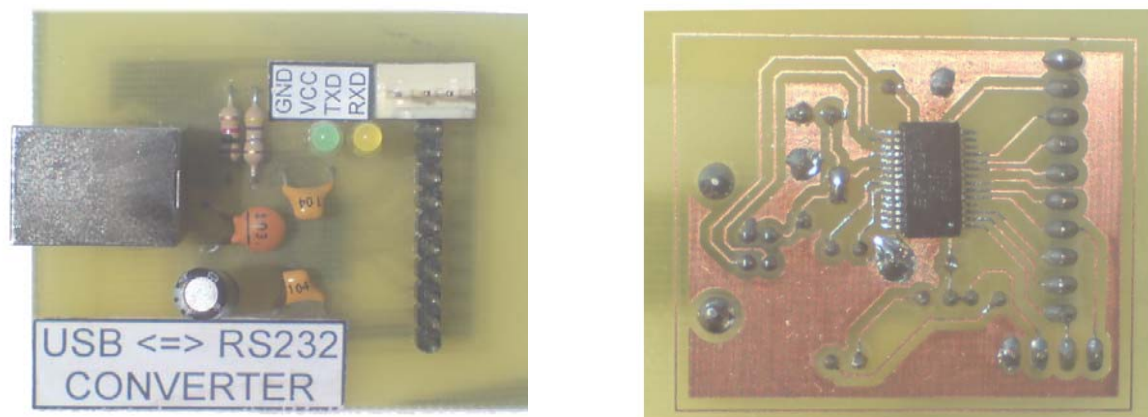
Obvod FT232RL je jednočipový převodník USB na asynchronní sériový přenos. Rychlost přenosu dle dokumentace je od 300 baud do 3 Mbaud na principu fronty FIFO. Čip může být napájen z USB nebo externě, a obsahuje brány pro signalizaci RD# a TD#

Schéma zapojení vyrobeného převodníku je na obr. 22.



Obr. 22 Schéma převodníku s FT232RL



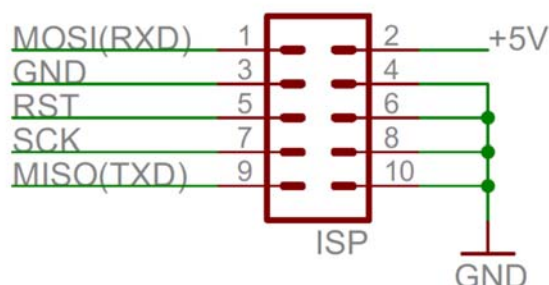


Obr. 23 Vyrobený převodník

#### 4.4.4 Protokol ISP

ISP je protokol pro sériový zápis do paměti mikrokontroleru vyvinutý firmou ATMEL. Protokol ISP je realizován 6 vodičovým propojením programátoru s programovaným mikrokontrolerem. Rozhraní obsahuje 2 vodiče pro napájecí napětí, ovládání pinu /RESET procesoru, vodiče pro sériový zápis (MOSI) a čtení (MISO) obsahu interních pamětí FLASH a EEPROM a jeden vodič pro synchronizaci přenosu (SCK). [12] Připojení programátoru zabere tedy pouze 3 vývody mikrokontroleru využitelné k jiným účelům, dá se předpokládat, že mikrokontroler bude možné programovat přímo v aplikaci. Odtud tedy plyne význam zkratky ISP - In System Programming. (V překladu programování v aplikaci.) Díky definici rozhraní je možné napájet aplikační destičku z desky programátoru nebo naopak. Takto je tedy umožněno jednoduché a velmi rychlé ladění řídicího programu mikrokontroleru.[12]

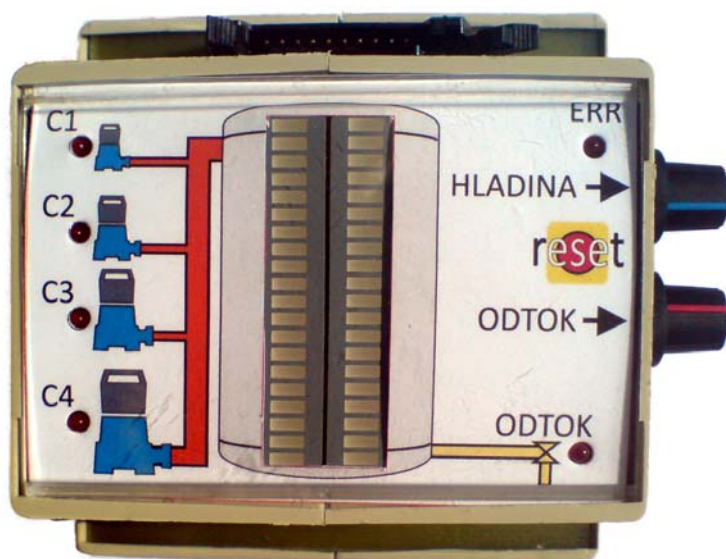
Pro propojení programátoru s mikrokontrolerem se využívá 6 nebo 10 pinových konektorů. Rozložení jednotlivých pinů je na obr. 24.



Obr. 24 Konektor ISP

#### 4.5 Popis funkce modelu

Model navržený v této práci simuluje nádrž s kapalinou.



*Obr. 25 Vyrobený model nádrže*

Objem nádrže je 100 jednotek.

Nádrž může být napouštěna pomocí čerpadel CER1, CER2, CER3 a CER4. Tato čerpadla jsou ovládána připojeným řídicím systémem. Jejich chod je indikován sepnutím příslušné LED. Po zapnutí kteréhokoli čerpadla se nádrž začne napouštět. Napouštění je zobrazováno na levém bargrafu jako zvyšování aktuální hladiny. Rychlost plnění nádrže je závislá na počtu běžících čerpadel. Čerpadla CER1, CER2 a CER3 plní nádrž rychlostí 5 jednotek/ t. Čerpadlo CER4 zajišťuje přítok rychlostí 10 jednotek/ t.

Vypouštění kapaliny z nádrže je realizováno odtokem. Rychlost vypouštění může být nastavena uživatelem pomocí potenciometru ODTOK a to v rozmezí 0 jednotek/ t až 25 jednotek/ t. Současný běh všech čerpadel tedy dokáže kompenzovat maximální nastavitelný odtok. Při nastavení rychlosti odtoku různého od 0, je sepnuta LED ODTOK.

Aktuální výška hladiny v nádrži je kontrolována pomocí tří senzorů. Minimální hladina HL\_MIN, maximální hladina HL\_MAX a požadovaná hladina HL\_POZ. Dosáhne-li hladina těchto senzorů, na jejich výstupech se objeví logická 1. Požadovaná výška hladiny může být měněna uživatelem pomocí potenciometru HLADINA.

Kromě binárních výstupů senzorů disponuje také model 2 výstupy, na kterých je možné číst pulzy o frekvencích od 487 Hz do 1182 Hz. Frekvence 487 Hz v případě odtoku informuje o vypnutém odtoku. S rostoucí rychlostí odtoku se zvyšuje frekvence až do 1182 Hz. V případě výšky hladiny frekvence 487 Hz značí nejnižší aktuální výšku hladiny v nádrži a s rostoucí hladinou se zvyšuje frekvence až do 1182 Hz.

Poslední funkcí modelu je vyhodnocování chyby v řízení. LED ERR se rozsvítí v případě poklesu aktuální hladiny pod minimální hladinu, nebo v případě, kdy je nádrž napuštěna na maximum a napouštění není ukončeno. Jedná se o opravitelné chyby, proces tedy není nutné ukončovat.



#### 4.6 Modifikace vlastností

Program mikrokontroleru lze upravit pro změnu rychlosti napouštění, rychlosti průtoku jednotlivých čerpadel, rychlosti odtoku a jeho průtoku. Změna se provede změnou příslušných definovaných konstant v řídicím programu.

Možné alternativní nastavení:

- CER1 – rychlost plnění 1 jednotka/t
- CER2 - rychlost plnění 2 jednotky/t
- CER3 - rychlost plnění 4 jednotky/t
- CER4 - rychlost plnění 8 jednotek/t

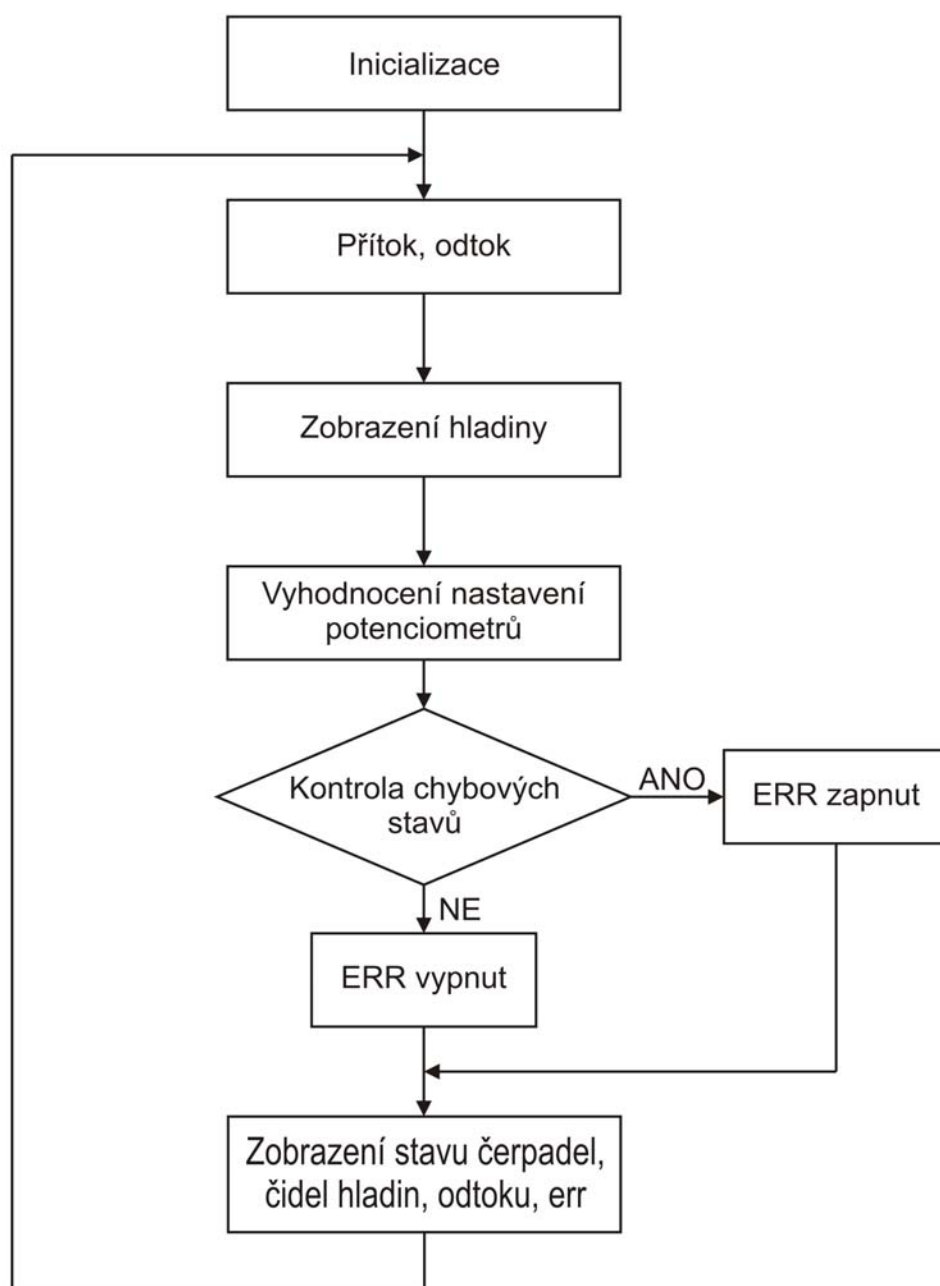
Tím by bylo možné napouštět nádrž libovolným přítokem 0 – 15 jednotek/t. V tomto případě by byl odtok nastaven na 0 – 15 jednotek/t.

Nastavení těchto parametrů nádrže by vedlo k možnosti navrhnout další úlohy pro tento model.

#### 4.7 Napájecí požadavky

Model je možné připojit k řídicímu systému v případě, že je schopen dodávat při napájecím napětí 24 V proud nejméně 750 mA. To je maximální proud při zobrazení plné nádrže, sepnutých čerpadel a odtoku.

Řídicí program modelu je popsán na obr. 26 a je přiložen k této práci.



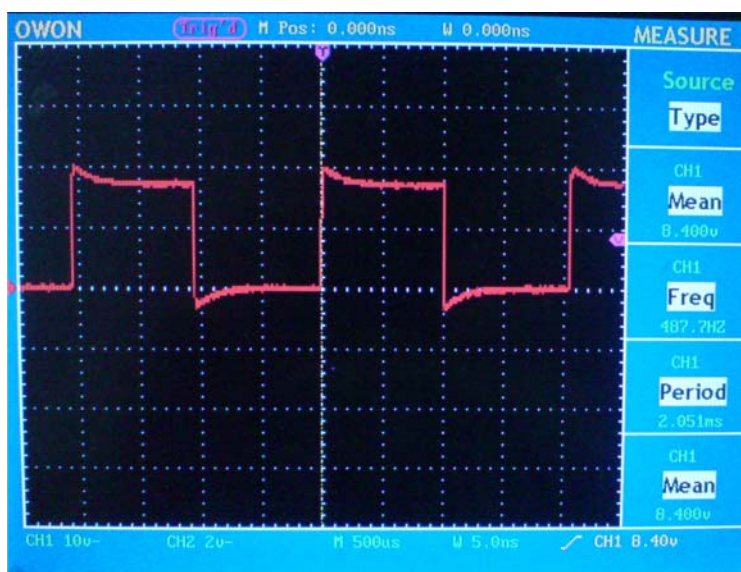
Obr. 26 Schéma řídicího programu

#### 4.8 Ověření funkce modelu

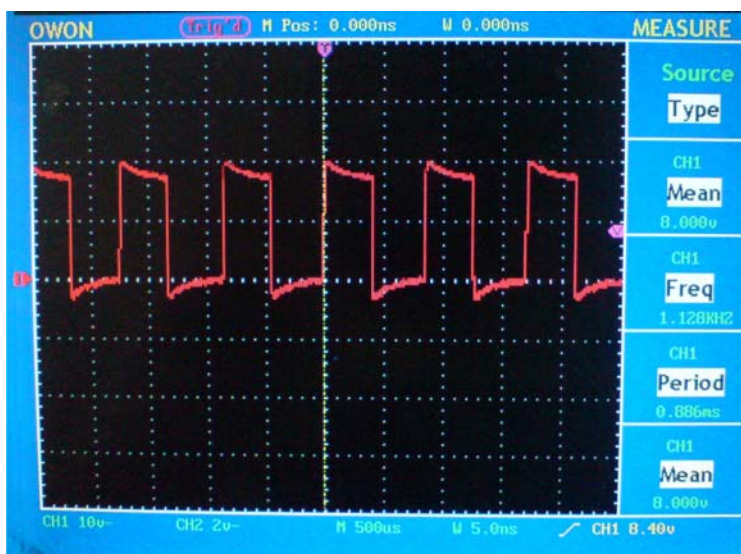
Po dokončení sestavovacích prací byl model před připojením k PLC otestován a proměřen.

Při testování řízením z PLC, byl upraven výstupní proud na pinech 13 – 17 výstupního konektu z původně navrhovaných 2,5 mA na 10 mA. Při napětí 23,3 V a proudu 10 mA již PLC bezpečně detekoval logickou 1.

Frekvence na pinech 13 a 14 byly změřeny pomocí osciloskopu. Na obr. 27 jsou zobrazeny pulzy pro uzavřený odtok. Frekvence pulzů je 487,7 Hz. Na obr. 28 jsou pulzy generované mikrokontrolerem při maximálně otevřeném odtoku. V tomto případě je frekvence pulzů 1,128 KHz.



Obr. 27 Frekvence uzavřeného odtoku



Obr. 28 Frekvence maximálního odtoku

Správná indikace stavů LED diodami, byla ověřena řízením z PLC při vypracování vzorových úloh.

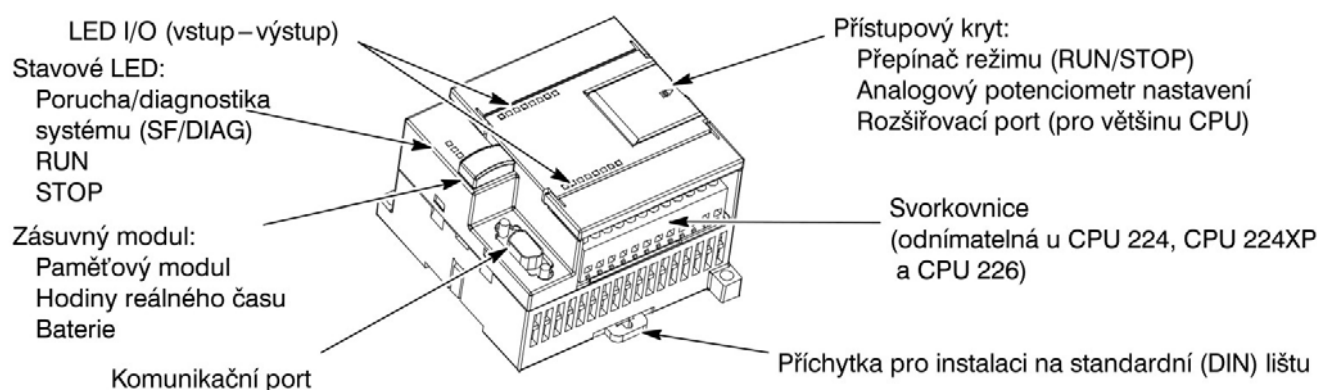
## 5 NAVRŽENÍ A VYPRACOVÁNÍ ÚLOH

### 5.1 Specifikace Siemens Simatic S7 (CPU224XP)

Série S7-200 je řada malých programovatelných automatů (mikro-PLC) určených k řízení v různých automatizačních aplikacích. Díky kompaktnímu designu, nízkým nákladům a výkonnému instrukčnímu souboru je S7-200 perfektním řešením pro řízení malých aplikací. [13]

Zařízení S7-200 monitoruje vstupy a řídí výstupy pomocí uživatelského programu, který může obsahovat Booleovu logiku, počítání, časování, složité matematické operace a komunikaci s jinými inteligentními zařízeními. [13]

Základní popis PLC Simatic S7-200 je na obr. 29.



Obr. 29 Popis SIEMENS Simatic S7-200 [14]

Jednotka použitá pro ověření funkce je s CPU 224XP a má následující parametry.

- paměť pro program až 12288 bytů
- paměť pro data 8192 bytů
- Vstupy
  - 14 digitálních
  - 2 analogové
- Výstupy
  - 10 digitálních
  - 1 analogový
- Vysokorychlostní čítače
  - jednofázové
    - 4 při 30 kHz
    - 2 při 200 kHz
  - dvoufázové
    - 3 při 20 kHz
    - 1 při 100 kHz
- Komunikační porty - 2 x RS-485
- Rychlost booleovských instrukcí - 0,22 mikrosekund/instrukce

## 5.2 STEP7

STEP 7 je základní software pro konfiguraci a programování řídicích systémů SIMATIC. Obsahuje výkonné nástroje a funkce pro řadu úloh spojených s automatizačními projekty. Nabízí uživatelsky příjemný způsob práce ve všech fázích vývoje projektu jakými jsou obvykle konfigurace a parametrizování hardwaru, definování komunikace, programování, testování a oživování projektu, servis, správa dokumentace a archivování, provozní a diagnostické funkce. [13]

Základní části programu jsou:

- SIMATIC Manager ( pro správu nástrojů a dat daného projektu)
- Programový editor ( pro jazyky LAD, FBD, STL)
- Editor symboliky (pro správu globálních proměnných)
- Diagnostika hardwaru
- NetPro (pro nastavování datových spojení přes MPI a PROFIBUS)

Při vypracování zadaných úloh bylo využito nástrojů:

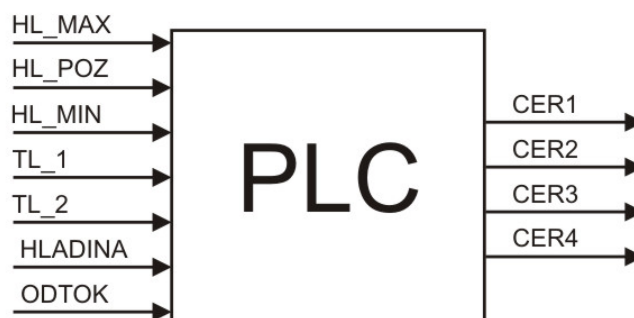
- Symbol Table - pro pojmenování vstupů, výstupů a definování globálních proměnných
- Program Block - pro tvorbu programu v jazyku STL
- Status Chart – po nahrání programu do PLC pro monitorování stavů vstupů, výstupů, aktuálních hodnot proměnných, časovačů a čítačů.

## 5.3 Zadání a vypracování úloh

Vypracované úlohy jsou přiloženy k práci na CD jako projekty pro STEP 7 Micro/WIN. Úlohy jsou v projektu okomentovány. V práci je popsáno řešení úlohy 3.

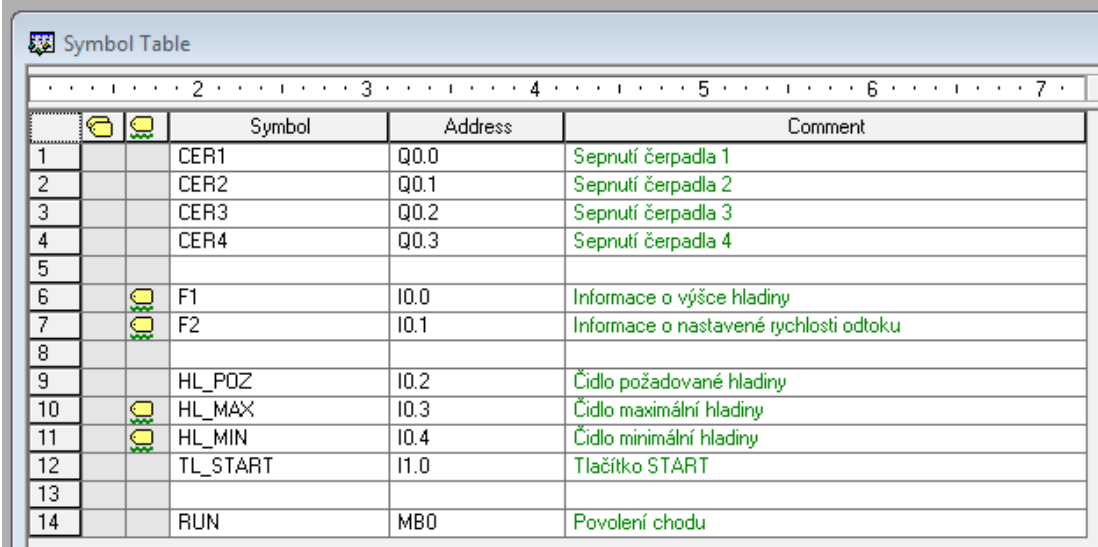
Úlohy jsou za sebou seřazeny tak, aby došlo k postupnému seznámení se s funkcí modelu a rozšiřování již hotového programu o další zadání. Kromě modelu nádrže se také počítá s připojeným panelem se spínači.

Pro všechny úlohy lze využít schéma na obr. 30.



Obr. 30 Schéma pro navržené úlohy

Symbol table vytvořená pro zpracování úloh je na obr. 31. Využitím tohoto nástroje je program přehlednější a usnadní práci například označením vstupů, výstupů atd.



		Symbol	Address	Comment
1		CER1	Q0.0	Sepnutí čerpadla 1
2		CER2	Q0.1	Sepnutí čerpadla 2
3		CER3	Q0.2	Sepnutí čerpadla 3
4		CER4	Q0.3	Sepnutí čerpadla 4
5				
6		F1	I0.0	Informace o výšce hladiny
7		F2	I0.1	Informace o nastavené rychlosti odtoku
8				
9		HL_POZ	I0.2	Čidlo požadované hladiny
10		HL_MAX	I0.3	Čidlo maximální hladiny
11		HL_MIN	I0.4	Čidlo minimální hladiny
12		TL_START	I1.0	Tlačítko START
13				
14		RUN	M0.0	Povolení chodu

Obr. 31 Symbol table pro řešené úlohy

### 5.3.1 Úloha č. 1

Jedná se o základní úlohu pro seznámení se s chováním modelu.

Zadání:

Vytvořte program podle následujícího zadání. Je-li zapnut spínač TL\_START, napouštějte nádrž na požadovanou hladinu. Použijte čerpadlo CER1 a CER3.

### 5.3.2 Úloha č. 2

Tato úloha je modifikací úlohy 1, rozšířena o další požadavky. Při vypracování je výhodné užít speciální markery a pomocné proměnné.

Zadání:

Vytvořte program pro udržování hladiny v nádrži s těmito pravidly:

- Čerpadla mohou být zapnuta pouze při zapnutém TL\_START.
- Při prvním zapnutí TL\_START naplňte nádrž na maximální hladinu všemi čerpadly.
- V případě, že je zapnut spínač TL\_START a zároveň spínač TL\_STAND\_BY, udržujte maximální hladinu v nádrži pomocí čerpadel CER1 a CER3.
- V případě, že hladina klesne pod požadovanou, sepněte všechna čerpadla dokud nádrž nebude naplněna na maximum a to i v případě, že je vypnut spínač TL\_STAND\_BY.

### 5.3.3 Úloha č. 3

Jedná se o úlohu s využitím vysokorychlostních čítačů, seznámení se s jejich nastavením a určení konstant použitých pro další úkol. Konstanty naměřené v této úloze se mohou lišit podle různých řešení.

Zadání:

Vytvořte program, pro měření počtu impulzů na vstupu I0.1. Využijte nástroje Status Chart pro zobrazení hodnot. Určete hodnotu pro zavřený odtok a pro nejvyšší rychlost odtoku.

Na obr. 32 - 35 je vypracováno jedno z možných řešení.

```

LD      SM0.1                //Bit prvního programového cyklu
R       T32, 1               //Reset časovače T32 (1ms)
R       T96, 1               //Reset časovače T96 (1ms)

MOVE    2#11111100, SMB137   //Konfigurace čítače
HDEF    3, 0                 //Výběr čítače 3 v režimu 0
MOVD    0, SMD138            //Aktuální hodnota čítače nastavena na 0
MOVD    1000, SMD142         //Inicializace čítače a provedení instrukcí konfigurace
HSC     3
```

Obr. 32 Network 1 úlohy 3

Provedení pouze v prvním programovém cyklu je zajištěno nahráním na vrchol zásobníku speciální marker SM0.1. V tomto cyklu jsou resetovány použité časovače. Poté je nakonfigurován vysokorychlostní čítač HSC3 konfiguračním bytem SMB137. Příkazem HDEF vybereme čítač a příslušný režim. Aktuální hodnota čítače HSC3 je 32bitová hodnota na adrese SMD138. Je nastavena na 0. Aby byl čítač nakonfigurován a požadované hodnoty byly uloženy, je nutné provést instrukci HSC pro zvolený čítač.

```

LD      SM0.0
TON     T96, 1000            //Odměření 1s, během které HSC počítá impulzy
```

Obr. 33 Network 2 úlohy 3

V druhém Networku je spuštěn časovač T96 pro odměření doby počítání pulzů. Speciální marker SM0.0 zaručuje 1 na prvním místě zásobníku.

```

LD      SM0.0
A       T96
TON     T32, 100            //Odměření 100ms pro přesun hodnoty z HSC a
                             //znovunastavení citace
```

Obr. 34 Network 3 úlohy 3

```
LD      T32                                //Při sepnutí časovače T32
MOVD    HC3, ATK_ODTOK                    //se aktuální hodnota čítače HSC3 přesune do ATK_ODTOK
R        T32, 1                           //vyresetuje se časovač T32
R        T96, 1                           //a T96
HSC      3                               //a znovu se provedou požadované instrukce pro HSC3
```

*Obr. 35 Network 4 úlohy 3*

Zpožděné zapnutí časovače T32 z Networku 3 zajistí přesun aktuální hodnoty z čítače HC3 do proměnné ATK\_ODTOK. Poté jsou vyresetovány časovače a spolehlivě je vymazán obsah čítače novou konfigurační příkazem HSC.

Naměřené pulzy jsou monitorovány pomocí Status Chart.

### 5.3.4 Úloha č. 4

Tato úloha je rozšířením úlohy č.3. Výsledky v ní dosažené jsou použity pro rozhodování při řízení programem vytvořeným podle úlohy 4.

Zadání:

Vytvořte program, který bude udržovat hladinu v nádrži na požadované hladině pomocí čerpadel CER1 a CER2. V případě, že bude nastaven maximální odtok sepněte všechna čerpadla.



## 6 ZÁVĚR

Cíle této práce byly seznámit se s modely EDU-mod, navrhnout a realizovat model, který by bylo možné připojit a řídit pomocí PLC. Funkčnost modelu měla být ověřena řízením z PLC prostřednictvím zpracování navržených úloh. Pro potřeby této práce byl také vyroben programátor pro mikrokontrolery Atmel s převodníkem USB RS232.

Druhá kapitola se věnuje vybraným modelům, používaných pro výuku na Ústavu automatizace FSI. Popisuje jejich funkci a chování.

V třetí kapitole je popsán návrh modelu nádrže. Zde byla mimo jiné zdárně vyřešena problematika napájení modelu i zobrazování aktuálních stavů. Jsou zde také řešeny obvody zajišťující komunikaci mezi řídicím systémem a modelem.

V čtvrté kapitole je popsán celý postup výroby DPS od návržení až po otestování řídicího programu modelu tak, jak byl model vyráběn.

Poslední kapitola se věnuje řídicímu systému Simatic S7-200 s vývojovým prostředím STEP7. Tento systém byl použit pro ověření správné funkce komunikace a pro vypracování navržených úloh.

Zadané cíle se podařilo splnit. Tento model by zařazením do výuky jistě výukové kurzy obohatil například o zkušenosti s vysokorychlostními čítači nebo PID regulátory.

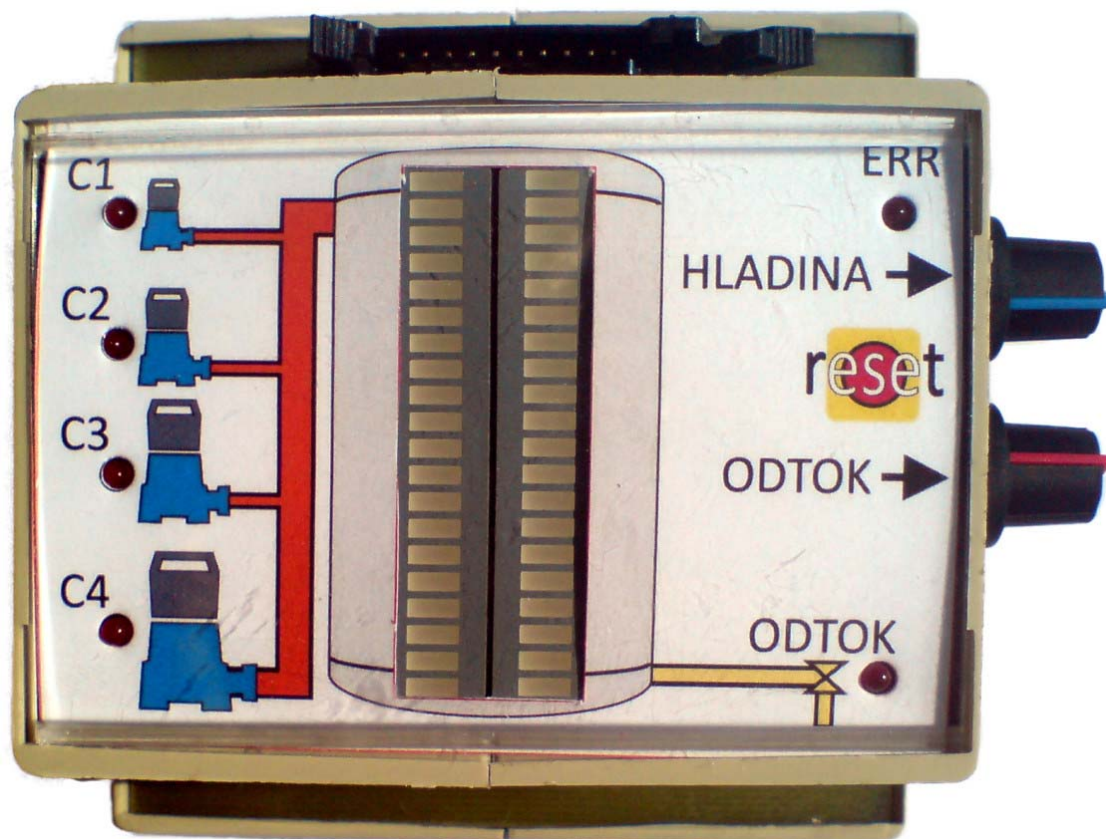
## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

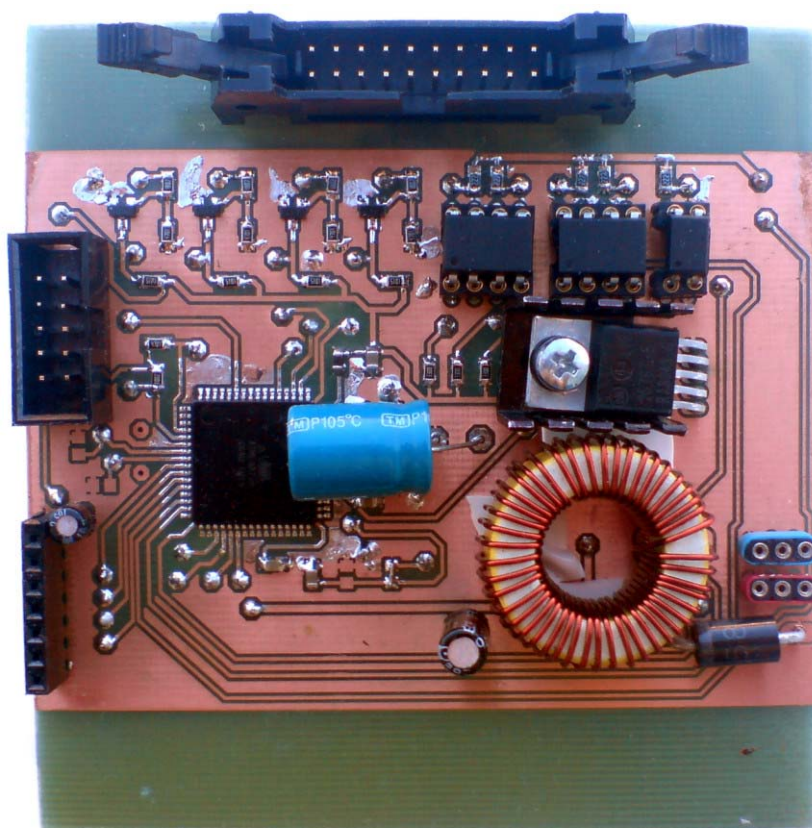
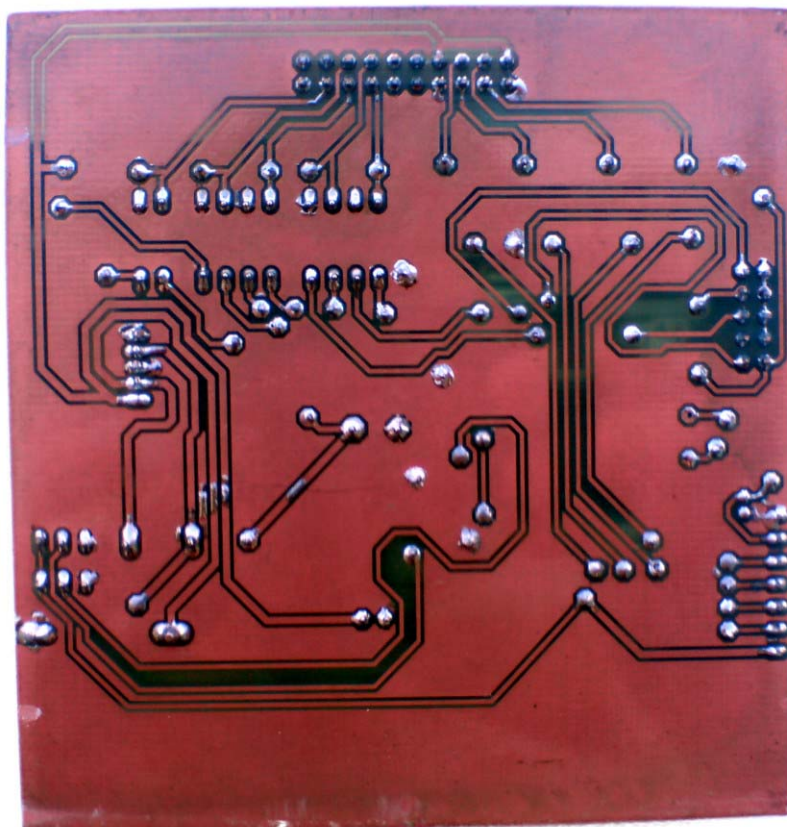
- [1] ATmega128 : Datasheet [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. ATMEL.  
Dostupné z WWW: <[www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2467.pdf](http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2467.pdf)>.
- [2] FT232TL : Datasheet [online]. 2005 [cit. 2011-05-23].  
Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/cz/ft232rl-p959-303.html>>.
- [3] LM2576 : Datasheet [online]. 2004 [cit. 2011-05-23]. National Semiconductor.  
Dostupné z WWW: <[www.national.com/ds/LM/LM2576.pdf](http://www.national.com/ds/LM/LM2576.pdf)>.
- [4] M5451 : Datasheet [online]. 1993 [cit. 2011-05-23].  
Dostupné z WWW: <[www.grifo.com/PRESS/DOC/ST/M5450\\_51.pdf](http://www.grifo.com/PRESS/DOC/ST/M5450_51.pdf)>.
- [5] Dvoubarevný displej řízený sériově jedním signálním vodičem.  
Praktická elektronika A Radio. 2001, 8, s. 21.
- [6] Základy programování jednočipových mikropočítačů : Učební text. Rožnov pod Radhoštěm : 2006. s. 108.
- [7] Práce v návrhovém systému Eagle : Učební text. Sezimovo Ústí : 2006. s. 4.
- [8] KOHOUT [online]. 2008 [cit. 2011-05-23]. Modely EDU-mod. Dostupné z WWW:  
<<http://www.edumat.cz/produkty.php?produkt=edumod>>.
- [9] TTL (logika). In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 4.4.2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:  
<[http://cs.wikipedia.org/wiki/TTL\\_\(logika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/TTL_(logika))>.
- [10] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky 2. 1. české. [s.l.] : BEN, 2010. 208 s.  
ISBN 978-80-7300-287-9.
- [11] Pertinax (materiál). In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-23].  
Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Pertinax\\_\(materiál\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Pertinax_(materiál))>.
- [12] Hw.cz : Hardwarové prostředky [online]. 2000 [cit. 2011-05-23]. AVR. Dostupné z  
WWW: <<http://avr.hw.cz/programy/startujeme.html>>.
- [13] Simatic S7-200 : Řídicí systém Simatic S7-200 [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. SIEMENS. Dostupné z WWW: <<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=86f90bfae0&ctxp=home>>.
- [14] Programovatelný automat S7-200 Systémový manuál : SIEMENS. Programovatelný  
automat S7-200 Systémový manuál. Nürnberg : [s.n.], 2004. s. 534.
- [15] Výroba plošných spojů [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. MLAB online.  
Dostupné z WWW: <[http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How\\_to\\_make\\_PCB/DOC/HTML/How\\_to\\_make\\_PCB.cs.html](http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How_to_make_PCB/DOC/HTML/How_to_make_PCB.cs.html)>.

## SEZNAM PŘÍLOH

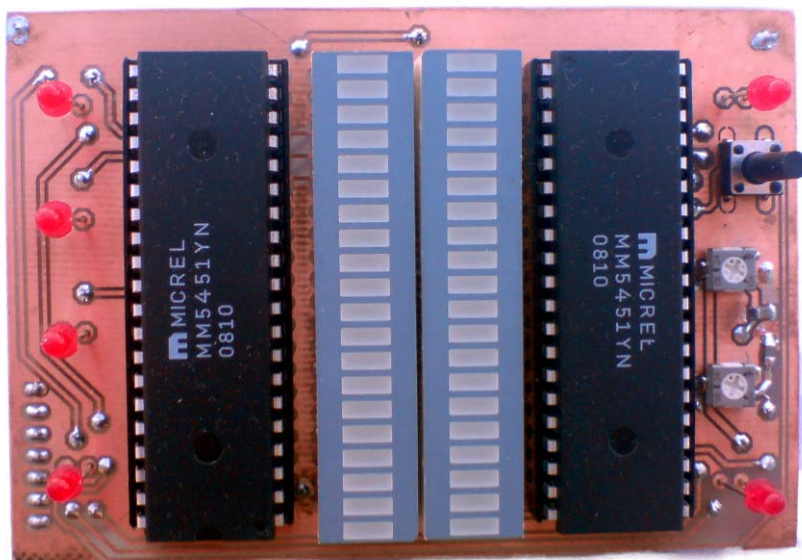
- Příloha 1: Výsledná realizace
- Příloha 2: Řídící deska (vrchní strana)
- Příloha 3: Řídící deska (spodní strana)
- Příloha 4: Zobrazovací deska (vrchní strana)
- Příloha 5: Zobrazovací deska (spodní strana)

## Příloha 1:



**Příloha 2:****Příloha 3:**



**Příloha 4:****Příloha 5:**