

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ  
ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Rešerše jednočipových mikroprocesorů**

**vedoucí práce: Ing. Jan Brož  
autor: Tomáš Soukup**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2011/2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš SOUKUP**  
Osobní číslo: **E09B0052K**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Rešerše jednočipových mikroprocesorů**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Do práce zahrňte následující body:

1. Přehled použitelných jednočipových mikroprocesorů.
2. Porovnání jejich vhodnosti pro různá pole aplikací.
3. Přehled dostupných prostředí pro vývoj kódu pro dané mikroprocesory.
4. Přehled použitelných programátorů.
5. Realizujte aspoň pro 3 mikroprocesory vývojové desky s příkladem jednoduché aplikace kódu.



## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá jednočipovými mikroprocesory. Cílem je seznámit zájemce s dostupnými jednočipovými mikroprocesory na trhu, porovnat jejich vlastnosti a vhodnost použití. Další část práce pojednává o vývojových prostředích a možnostech programování jednočipových mikroprocesorů. Poslední část je věnována realizaci tří vzorků.

## **Klíčová slova**

Jednočipový mikroprocesor, mikrokontrolér, Harvardská architektura, von Neumannova architektura, CISC, RISC, AVR, HC11, PIC, ST7, ARM, programátor

## **Abstract**

This bachelor`s work deals with single-chip microprocessor. The main purpose is to introduce the available single-chip microprocessors on our market, compare their properties and suitability. Next part of this work deals with development environments and programming possibilities of single-chip microprocessor. The last part is devoted to the realization of three samples.

## **Keywords**

Single-chip microprocessor, microcontroller, Harvard architecture, von Neumann architecture, CISC, RISC, AVR, HC11, PIC, ST7, ARM, programmer

## **Prohlášení**

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

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou 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 bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 8.6.2012

Tomáš Soukup

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Brožovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>OBSAH .....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>11</b>
<b>1 MIKROPROCESORY A MIKROKONTROLÉRY.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Historie mikroprocesoru .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Architektura mikroprocesoru.....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Von Neumannova architektura.....	12
1.2.2 Harvardská architektura .....	13
<b>1.3 Instrukční sady .....</b>	<b>13</b>
1.3.1 CISC.....	14
1.3.2 RISC.....	14
<b>2 JEDNOČIPOVÉ MIKROKONTROLÉRY .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Základní struktura mikrokontrolérů .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Procesor .....	15
2.1.2 Operační paměť .....	16
2.1.3 Paměť programu .....	16
2.1.4 Sběrnice .....	16
2.1.5 Vstupně / výstupní rozhraní (porty).....	17
<b>2.2 Ostatní vlastnosti mikrokontrolérů.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Napájecí napětí .....	17
2.2.2 Periferie a mechanismy .....	18
2.2.3 Typ pouzdra .....	18
2.2.4 Cena a dostupnost.....	21
<b>2.3 Dokumentace mikrokontrolérů .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Výrobci mikrokontrolérů .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Atmel Corporation.....	22
2.4.2 Microchip Technology .....	23
2.4.3 Texas Instruments .....	23
2.4.4 STMicroelectronic .....	23
2.4.5 Freescale Semiconductor .....	24

<b>2.5</b>	<b>Přehled 8-bitových mikrokontrolérů.....</b>	<b>24</b>
2.5.1	AVR (Atmel).....	24
2.5.2	HC11 (Freescale) .....	25
2.5.3	PIC (Microchip).....	26
2.5.4	ST7 (STM) .....	30
<b>2.6</b>	<b>Přehled 16-bitových mikrokontrolérů.....</b>	<b>31</b>
2.6.1	MSP430 (Texas Instruments) .....	31
2.6.2	PIC24 (Microchip).....	31
<b>2.7</b>	<b>Přehled 32-bitových mikrokontrolérů.....</b>	<b>32</b>
2.7.1	AVR32 (Atmel).....	32
2.7.2	PIC32 (Microchip).....	33
2.7.3	ARM mikrokontroléry.....	34
<b>2.8</b>	<b>Porovnání vhodnosti jednočipových mikroprocesorů pro různá pole aplikací .....</b>	<b>37</b>
2.8.1	Dle vstupně/výstupních portů .....	37
2.8.2	Dle druhu a velikosti paměti .....	37
2.8.3	Dle provozních podmínek .....	37
2.8.4	Dle možností programování .....	38
2.8.5	Další funkce .....	38
2.8.6	Nízkopříkonové (bateriové) systémy.....	38
2.8.7	DSP.....	39
2.8.8	Přehled: Nejprodávanejší mikrokontroléry .....	39
2.8.9	Zhodnocení .....	40
<b>3</b>	<b>ŮŽIVUJEME MIKROPOČÍTAČ ANEB OD HARDWARE, PŘES SOFTWARE K FUNKČNÍMU CELKU.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>Krok 1: Napsat ve svém počítači program.....</b>	<b>41</b>
3.1.1	Přehled programovacích jazyků a vhodných vývojových prostředí .....	41
3.1.2	Srovnání programovacích jazyků a vývojových prostředí .....	42
<b>3.2</b>	<b>Krok 2: Zkompilovat jej v kompilátoru.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>Krok 3: Pořídít si programátor .....</b>	<b>43</b>
3.3.1	Způsoby programování a ladění.....	43
3.3.2	Přehled použitelných programátorů .....	45
3.3.3	Srovnání použitelných programátorů .....	49
<b>3.4</b>	<b>Krok 4: Připojit mikrokontrolér k programátoru a programátor přes rozhraní k počítači.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5</b>	<b>Krok 5: Nahrát do paměti mikrokontroléru zkompilovaný program.....</b>	<b>50</b>
<b>3.6</b>	<b>Krok 6: Vrátit mikrokontrolér do svého obvodu a spustit jej .....</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>REALIZACE 3 KUSŮ (NÁVRH, NÁKRES, DPS, FOTO) .....</b>	<b>51</b>
4.1	1_PIC16F84_bezici_svetlo .....	51



---

4.1.1	Zadání .....	51
4.1.2	Podklady z návrhového prostředí Eagle .....	51
4.1.3	Výsledek.....	51
<b>4.2</b>	<b>2_Atmega8-16PU_stopky .....</b>	<b>52</b>
4.2.1	Zadání .....	52
4.2.2	Podklady z návrhového prostředí Eagle .....	52
4.2.3	Výsledek.....	52
<b>4.3</b>	<b>3_MSP430F2001 .....</b>	<b>52</b>
4.3.1	Zadání .....	52
4.3.2	Podklady z návrhového prostředí Eagle .....	52
4.3.3	Výsledek.....	52
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>53</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>54</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>56</b>

## Úvod

Jednočipové mikroprocesory jsou již několik desítek let běžnou součástí našeho života. Člověk je tvor od přírody líný a tak si svůj život a pohodlí vylepšuje spoustou techniky a vymožeností, které mu ulehčují práci, zvyšují efektivitu práce, nahrazují rutinní činnosti a dodávají určitý pocit komfortu a vyspělosti. Spousta z nás toto bere jako samozřejmost. Nutno uznat, že vzhledem k technologickým pokrokům to již samozřejmost je. Přesto je však vhodné mít alespoň základní představu, jak tyto přístroje kolem nás vlastně fungují a co skrývají.

Vezměme si jako příklad takový stolní počítač, neboli PC. V současné době již téměř každý člověk ví, co to počítač je. Mnoho z nás jej umí používat a také aktivně používá. Ať již jako součást svého zaměstnání, tak i mimo něj. To, zda jej využívá smysluplně či nikoliv, je již věcí názoru a jistě si mnoho z nás bude stát právě za tím svým využitím. Nicméně už výrazně menší část z těchto uživatelů počítače ví, jak že to vlastně pracuje a proč. Zdaleka ne každý si dokáže svůj počítač rozebrat a vyměnit nefunkční komponent za nový. Již pouze minimum uživatelů zná a chápe zařízení na úrovni mikropočítačů a mikrokontrolérů, které se skrývají ve všech těchto součástkách. Byť se jejich stavba a logika od stolního PC moc neliší, mnoho lidí ani netuší, že něco jako mikropočítač, neboli mikrokontrolér vůbec existuje a že nás denně obklopují desítky až stovky těchto mikrokontrolérů. Toto bylo právě impulsem, který mě podnítil ke vzniku téma „Rešerše jednočipových mikroprocesorů“ pro moji bakalářskou práci. Rád bych Vám všem tuto oblast přiblížil a doporučil Vám, kde začít, jak a s čím.

V práci budou obsaženy jak informace o historii mikrokontrolérů a mikroprocesorů, tak informace o architekturách a instrukčních sadách. Dále bude popsána samotná struktura mikrokontrolérů a jeho jednotlivé části. Hlavním zdrojem informací však bude samotný přehled a doporučení vhodných mikrokontrolérů. Také bude uvedeno, jak vytvořit funkční zapojení a nakonec a samotná realizace.

## Seznam symbolů a zkratk

ALU	.....	aritmeticko-logická jednotka
CEO	.....	výkonný ředitel
CISC	.....	Complex Instruction Set Computer
DDR	.....	Double-Data-Rate
DMA	.....	Direct Memory Access
DSP	.....	digitální signálové procesory
EEPROM	.....	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EPROM	.....	Erasable Programmable Read-Only-Memory
ICSP	.....	In Circuit Serial Programming
IO	.....	integrovaný obvod
ISP	.....	In-System Programming
LED	.....	dioda emitující světlo
MCU	.....	mikrokontrolér
MIPS	.....	milion instrukcí za sekundu
OTP	.....	jednou programovatelné
PC	.....	osobní počítač
PWM	.....	pulsně-šířková modulace
RAM	.....	Random-Access-Memory
RISC	.....	Reduced Instruction Set Computer
ROM	.....	Read-Only-Memory
SDRAM	.....	Synchronous Dynamic Random Access Memory
SPI	.....	sériové paralelní rozhraní

# 1 Mikroprocesory a mikrokontroléry

Výhodou použití mikrokontrolérů je, že dokáží nahradit nesmírně velká a drahá elektronická zapojení složené např. z diskrétních součástek a jednoduchých integrovaných obvodů, jejichž návrh se musel při každé sebemenší změně pracně předělávat. Mikrokontrolér sice v sobě ukrývá podstatně složitější elektronické zapojení, ale díky tomu, že se mikrokontroléry vyrábí ve velkém množství, se podařilo stlačit jejich cenu na přijatelnou úroveň.

Mikropočítač či mikrokontrolér [angl. *microcontroller*] či slangově jednočip je elektronická součástka se zmenšenými tranzistory nejčastěji v podobě integrovaného obvodu (čipu). Tuto součástku lze naprogramovat, aby prováděla určitou úlohu v elektronickém zapojení.

## 1.1 Historie mikroprocesoru

Původní procesory počítačů byly sestaveny z elektronek, později tranzistorů, které byly doplněny rezistory a kondenzátory. Velikost takového procesoru odpovídala několika čtverečním metrům, jednalo se tedy o stroje příliš velké, neflexibilní a tehdy spíše ještě experimentální. Teprve počátkem sedmdesátých let 20. století se s nástupem integrovaných obvodů začaly procesory miniaturizovat. Ve chvíli, kdy došlo k integraci procesoru do jediného čipu, vznikl v roce 1971 mikroprocesor. Tento mikroprocesor nesl označení Intel® 4004.

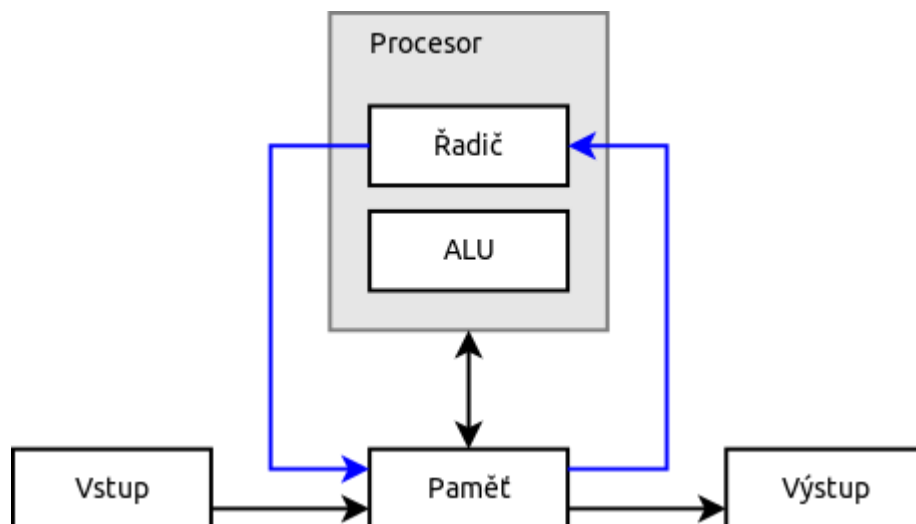
Základní jednotkou všech procesorů jsou tranzistory. Jsou to polovodičové součástky, které tvoří dvojice přechodů PN. Tento přechod se chová jako hradlo a propouští elektřinu pouze jedním směrem. První tranzistory vznikly krátce po druhé světové válce v roce 1947.

## 1.2 Architektura mikroprocesoru

Spíše již z historického hlediska se rozlišují dvě nejběžněji používaná funkční uspořádání [1]:

### 1.2.1 Von Neumannova architektura

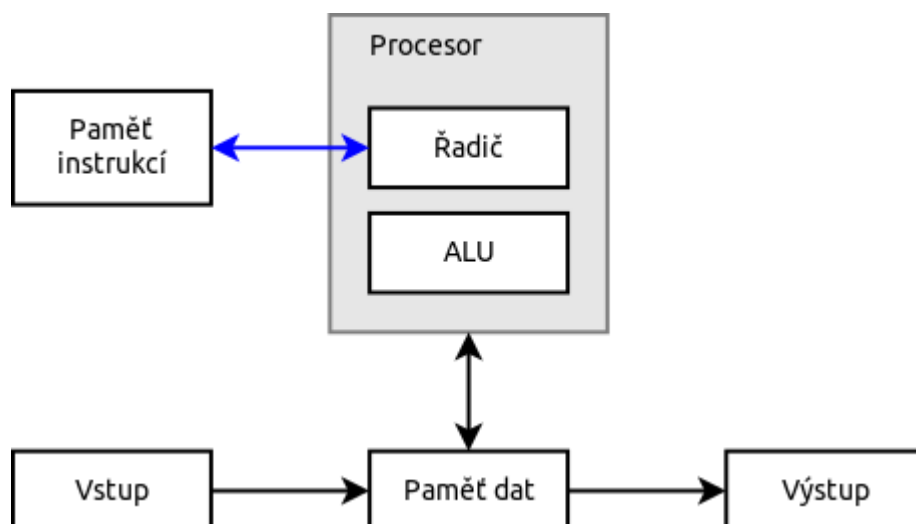
Von Neumannova (někdy také Stanfordská) architektura je pojmenovaná podle slavného američana maďarského původu Johna von Neumanna. V této architektuře jsou instrukce i data uloženy v téže paměti a nejsou nijak explicitně rozlišeny. Paměť je organizována lineárně na buňky stejné velikosti, které jsou adresovatelné celými čísly. Data jsou reprezentována binárně a jejich datové typy se implicitně nerozlišují. Instrukce se provádí jednotlivě a to postupně tak, jak jsou zapsány v paměti, dokud není toto pořadí ovlivněno speciální instrukcí (např. skoky). Von Neumannovská architektura najde využití všude tam, kde je požadována univerzálnost a jednoduchost.



Obr. 1 von Neumannova architektura

### 1.2.2 Harvardská architektura

Hlavním rysem harvardské architektury je fyzické oddělení dat a instrukcí. Proto Harvardská architektura umožňuje, aby data i instrukce měly různou reprezentaci a implementaci. Paměť obsahující instrukce se často realizuje jako ROM, tedy paměť určená pouze pro čtení. Výhodou této architektury je také možnost přistupovat do obou pamětí současně. Harvardská architektura se používá hlavně tam, kde se program téměř nikdy nemění (např. malá včestavěná zařízení).



Obr. 2 Harvardská architektura

### 1.3 Instrukční sady

V průběhu posledních více než třiceti let zkoušeli výrobci mikroprocesorů navrhovat různé varianty uspořádání jejich vnitřních částí. Toto uspořádání, které se někdy nazývá

architektura mikroprocesoru, do značné míry ovlivňuje jeho vlastnosti, způsob programování i rychlost zpracování přerušení či princip připojení mikroprocesoru k operačním pamětem. Prakticky všechny mikroprocesory lze podle použité architektury rozdělit do několika skupin, zde jsou uvedeny dvě základní.

### 1.3.1 CISC

(*Complex Instruction Set Computer*), CISC označuje procesor se „složitým instrukčním souborem“. Procesor podporuje mnoho formátů a druhů instrukcí. Na jednu stranu to znamená úsporu místa v programové paměti (vyšší hustotu kódu), na druhé straně to však znamená komplikovanější dekodér instrukcí ve vlastním mikrokontroléru a pomalejší zpracování instrukcí.

### 1.3.2 RISC

(*Reduced Instruction Set Computer*), RISC označuje procesor s redukovaným instrukčním souborem. Základní myšlenkou je omezení počtu a zjednodušení kódování instrukcí, což vede ke zjednodušení instrukčního dekodéru. Hlavní výhodou tohoto přístupu je rychlost a jednoduchost, na stejné ploše čipu může být místo 16bitového procesoru CISC 32bitový procesor RISC. Nevýhodou je, že pro zakódování instrukce je potřeba více místa, někdy musíme použít dvě instrukce místo jedné, takže klesá hustota kódu.

Jedná se samozřejmě o poměrně hrubé dělení, přičemž některé mikroprocesory mohou spadat do více kategorií a mnohdy také záleží na tom, jestli zkoumáme interní funkci mikroprocesorů, nebo to, jak se procesor její navenek (viz například procesory AMD, které zvenjšku zachovávají veškerou funkcionalitu procesorů řady x86, ovšem interně se jedná o RISC).

Ještě před vznikem mikroprocesorů, tj. v dobách procesorových jednotek, byly preferovány architektury CISC, tj. procesory s mnohdy velmi rozsáhlou sadou složitých instrukcí, protože se věřilo, že tyto instrukce zjednoduší práci jak programátorům, kteří píšou aplikace v assembleru, tak i překladačům. Postupem času se však přišlo na to, že ani programátoři ani překladače celou instrukční sadu nevyužijí, a tak je možné mikroprocesor zjednodušit a ve výsledku tak dosáhnout větší rychlosti provádění jednodušších instrukcí – zhruba takto se zrodila architektura RISC, jejíž zástupci patří mezi nejrozsáhlejší skupinu dnes vyráběných a používaných procesorů (uvádí se, že dnes je cca 70 % všech procesorů typu RISC).

## 2 Jednočipové mikrokontroléry

### 2.1 Základní struktura mikrokontrolérů

Přestože již některé součásti mikrokontroléru byly zmíněny výše, popišme si je nyní detailněji, abychom měli jasnou základní představu o tom, co že se tedy uvnitř mikrokontroléru vlastně ukrývá [2].

#### 2.1.1 Procesor

Procesor (mikroprocesor) je tvořen **programovým řadičem**, řídícím celý počítač i součinnost jednotlivých bloků a **aritmeticko-logickou jednotkou (ALU)**, ve které jsou vykonávány aritmetické a logické operace s registry nebo přímo místy v paměti..

Procesor sám o sobě je nepoužitelný. Celý princip si lze analogicky představit jako velmi zmenšený model klasického stolního PC, který všichni známe. Pokud z PC vyndáte procesor, sám o sobě je Vám k ničemu. Ve spojení s ostatními součástkami se však mění na mozek celého funkčního celku. Toto platí i v případě mikrokontrolérů, který je ve své podstatě takovému stolnímu PC podobný, přestože má nesrovnatelně menší rozměry.

#### Frekvence procesoru

Jedním z hlavních parametrů procesoru a tudíž i celého mikrokontroléru je jeho frekvence, neboli kmitočet.

Během jednoho kmitu provede procesor jednu operaci. Pokud je procesor schopen pracovat s vyšší frekvencí těchto hodinových kmitů, provede za jednu sekundu více operací, tzn. bude vykazovat vyšší výkon oproti stejnému typu procesoru pracujícímu na nižší frekvenci. Čím je vyšší frekvence, tím pracuje mikroprocesor a potažmo zpětně celý mikrokontrolér rychleji.

Běžné frekvence u mikrokontrolérů bývají jednotky až stovky MHz, u mikroprocesorů zejména pro užití v PC se aktuálně pohybujeme řádově v jednotkách až desítkách GHz.

S rostoucí frekvencí však roste úměrně i teplota součástky, proto je nutné zejména u velmi výkonných procesorů brát toto v potaz.

#### Oscilátor

Mikrokontrolér obsahující mikroprocesor ke své činnosti a správné funkci potřebuje nějaký zdroj hodinových (taktovacích) impulzů o určité frekvenci ( $f_{osc}$ ), které využívají vnitřní obvody mikroprocesoru a od kterého je pak odvozena délka trvání strojového cyklu, a tedy i doba vykonávání instrukcí. K taktování (někdy se říká také synchronizaci) mikroprocesoru může využít buď vnitřní obvod oscilátoru (tzv. „krystal“), který je zabudován přímo v čipu mikroprocesoru nebo k taktování můžeme použít externí obvod oscilátoru (nejčastěji „RC obvod“).

### Šířka slova

Tento významný parametr procesoru určuje, jaké největší číslo dokáže procesor zpracovat během jediné operace. Šířka slova se udává v počtech bitů a je jí určeno, kolikabitový daný procesor je. Procesor, který má šířku slova 8 bitů, tedy dokáže v jediné instrukci manipulovat s číslem uloženým maximálně na 8 bitech (tj. číslem z intervalu 0 - 255). Analogicky je tomu u procesorů, jejichž šířka slova je 16, 32 či 64 bitů. Větší čísla musí být rozdělena na menší a musí být zpracována po částech. Výhodou procesoru s větší šířkou slova je, že může v jedné operaci zpracovat větší číslo. Z toho vyplývá i větší rychlost takového procesoru oproti procesoru, který musí toto číslo nejdříve rozdělit a potom v několika instrukcích po částech zpracovat.

#### 2.1.2 Operační paměť

Slouží k uchování zpracovaných dat a výsledků výpočtu. Nejčastěji je typu RAM o kapacitě od jednotek byte po desítky kB.

#### 2.1.3 Paměť programu

Slouží k uchování programu. Tato paměť může být typu ROM, která je neměnná, pouze pro čtení a mikrokontrolér tak vykonává stále jednu činnost a nelze změnit jeho funkci. Mnohem častější jsou však paměti přepisovatelné typu EPROM, EEPROM nebo flash o velikosti řádově desítky až stovky kB. U těchto typů paměti můžeme program a potažmo funkci mikrokontroléru dle potřeby měnit, jsou tedy mnohem univerzálnější.

#### 2.1.4 Sběrnice

Sběrnice zajišťuje komunikaci mezi jednotlivými částmi počítače (mezi procesorem a paměťmi, mezi procesorem a přídatnými zařízeními), protože zajišťuje přenos řídicích signálů (sběrnice řídicí), adres paměťových míst (sběrnice adresová) a dat (sběrnice datová). Dohromady tvoří tyto sběrnice systémovou sběrnici. Můžeme si ji představit jako "centrální dálnici" mezi mikroprocesorem a okolím.

Sběrnice je technicky tvořena měděnými spoji leptanými na desce s plošnými spoji počítače. Tyto spoje přenášejí elektrické signály odpovídající 0 a 1.

Důležitou charakteristikou sběrnice je velikost sběrnice, tzn. kolik bitů najednou sběrnice přenese. Na velikosti sběrnice velmi záleží, protože i ten nejrychlejší procesor není využit, pokud rychle vypočítaná data proudí počítačem pomalu. Podle velikosti (šíře) sběrnice se řídí i množství současně přenášených a zpracovávaných bitů v mikroprocesoru. Hovoří se o slovu mikroprocesoru => podle velikosti slova mikroprocesoru se osobní počítače a mikroprocesory dělí na 8-bitové, 16-bitové, 32-bitové a 64-bitové. Délka slova mikroprocesoru ovlivňuje rychlost mikroprocesoru, velikost adresovatelné operační paměti a souvisí s počtem instrukcí, které je schopen mikroprocesor realizovat.



### 2.1.5 Vstupně / výstupní rozhraní (porty)

Každý mikrokontrolér obsahuje vstupní a výstupní porty. Jeden tzv. port může obsahovat například 8 pinů. V tomto případě by to tedy znamenalo, že data mohou proudit z/do mikrokontroléru přes 8 jeho nožiček (je bráno v úvahu, že všechny piny jsou obousměrné). V závislosti na složitosti a počtu pinů může mikrokontrolér pro komunikaci s okolím používat různá vstupní nebo výstupní zařízení.

- paralelní porty (až desítky pinů)
- sériové porty (asynchronní, synchronní, viz sériový kanál)
- porty komunikačních sběrnic (CAN-BUS, Ethernet)
- A/D převodníky
- D/A převodníky
- PWM výstupy
- vstupy pro zachycování času a počítání událostí (capture)
- aplikačně zaměřené porty (např. vstupy pro čtení čidel polohy rotoru, budiče LCD displejů apod.)

Špičkové jednočipové počítače určené např. pro mobilní telefony nebo pro automobily dnes zasahují do oblasti donedávna vyhrazené pouze pro procesory osobních počítačů, mohou disponovat dokonce rozhraním pro připojení blokových RAM (SDRAM, DDR, ...) nebo pro připojení pevných disků (ATAPI, SATA).

## 2.2 Ostatní vlastnosti mikrokontrolérů

Abychom při svém návrhu zvolili vhodný mikrokontrolér, kromě určení jeho správné struktury samotné je potřeba podívat se i na jeho ostatní vlastnosti, které se samozřejmě opět liší typ od typu, výrobce od výrobce.

### 2.2.1 Napájecí napětí

Většina MCU pracuje s napájecím napětím 5V nebo 3,3V. Mikrokontrolér má samozřejmě ještě svůj práh tolerance, ve kterém je plně provozuschopný, tedy napětí  $V_{min}$  a  $V_{max}$ , které je uvedeno v datasheetu součástky. Je zřejmé, že pokud bychom nedodali do MCU dostatečné napětí, nemohli bychom jej spustit a plnohodnotně používat a stejně tak, kdybychom napětí dlouhodobě překročili, mohlo by a pravděpodobně by došlo k trvalému poškození součástky.

Hladině napájecího napětí a vlastní konstrukci mikrokontroléru bývá následně často úměrná i jeho výsledná spotřeba. Přestože se může zdát mnoha lidem tento rozdíl zanedbatelný, rozdíly ve spotřebě naopak hrají velkou roli zejména po ekonomické stránce návrhu, zvláště pokud má být ve výsledném zařízení více MCU najednou. Uvážíme-li, že tyto MCU jsou nejčastěji napájeny z různých typů akumulátorů, pak je logicky cílem každého návrháře, aby jeho odběr byl co nejmenší a uživatel mohl zařízení naopak používat na jedno nabití co nejdéle.

## 2.2.2 Periferie a mechanismy

Jednočipový počítač může kromě základních součástí obsahovat další periferie a různé mechanismy.

Další možná periferie:

- řadič přerušení
- řadič displeje
- řadič klávesnice
- časovače
- čítače
- programovatelné hradlové pole

Možné bezpečnostní mechanismy:

- Watchdog timer - V každém taktu se inkrementuje jeho čítač. Při jeho přetečení se provede RESET. Je proto potřeba „čas od času“ čítač watchdogu vynulovat. To brání uváznutí programu při SW chybě.
- Prescaler - Pomocí něj lze zajistit, že se watchdog inkrementuje jen jednou za x taktů.
- Low Voltage Detector - Při poklesu napětí může resetovat procesor.
- Oscillator Safeguard - Filtruje výkyvy na oscilátoru. Může plnit i další funkce, např. poskytovat záložní hodinový signál LFAO (Low Frequency Auxiliary Oscillator).
- Code Protection - Ochrana kódu, případně dat, proti čtení.
- Illegal Opcode Detection - Obvod může vyvolat nemaskovatelné přerušení při nepovolené instrukci.

## 2.2.3 Typ pouzdra

[3]

### Dual in-line package (DIP / DIL)

Pouzdro klasické montáže součástek. Vývody procházejí skrz díry v plošném spoji. Je použitelné řádově do 20 pinových součástek, jinak jsou patice moc rozměrné.

Rozteč pinů je 100 milů (0.1") - vzdálenost pinů (šířková rozteč) může být .300", .600" nebo .900". Často používaný název pro toto pouzdro je také DIL.

### Plastic Leaded Chip Carrier (PLCC)

Pouzdro pro povrchovou montáž. Jedná se o všeobecně akceptovaný vedoucí standard. Podstatný je výrobce ale hlavně počet pinů.

Výhodou je možnost umístit PLCC obvody do patice i na desku klasické montáže. Existují však také patice pro povrchovou montáž.

**Thin Small Outline Package (TSOP)**

Pouzdro pro povrchovou montáž, typ malých pouzder s malým počtem vývodů. "T" znamená tenký. Pouzdro je celkem standardní, podstatný je výrobce ale hlavně počet pinů a šířka pouzdra.

**Quad flat pack (QFP: TQFP, MQFP, PQFP)**

Pouzdro pro povrchovou montáž, podstatné je délka pinů, která se může lišit. Pouzdro je celkem standardní, podstatný je výrobce a hlavně kód pouzdra. **TQFP** je tenčí varianta pouzdra.

Existují podtypy:

**PQFP** = Plastic Quad Flat Pack Lidded

**TQFP** = Thin Quad Flat Pack

**TSOP** (Thin Small Outline Package)

**Small Outline IC (SOIC)**

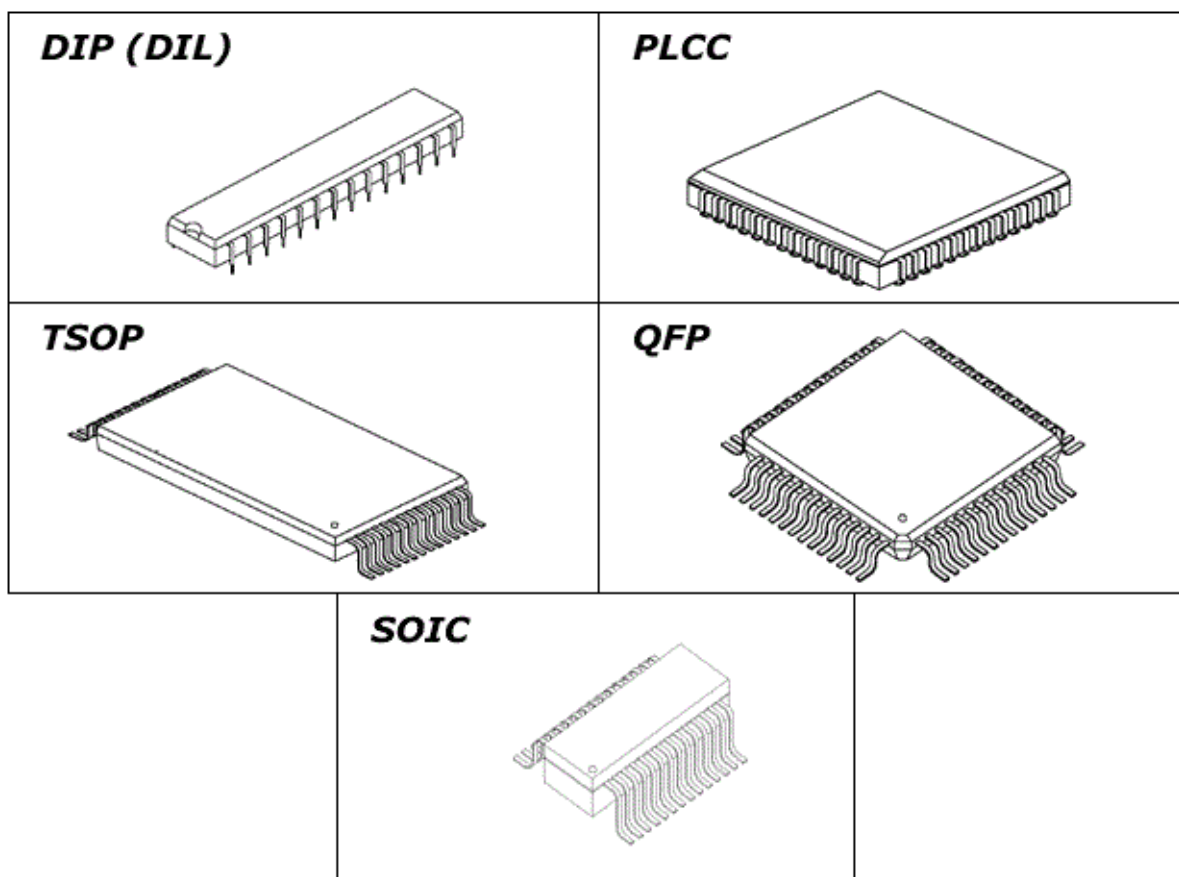
Pouzdro pro povrchovou montáž, různá je délka pinů, výška pouzdra, rozteč atd. Pouzdro je celkem standardní, podstatný je výrobce a hlavně kód pouzdra.

Verze s vyšší hustotou pinů:

**SSOP** (Shrunk Small Outline Package)

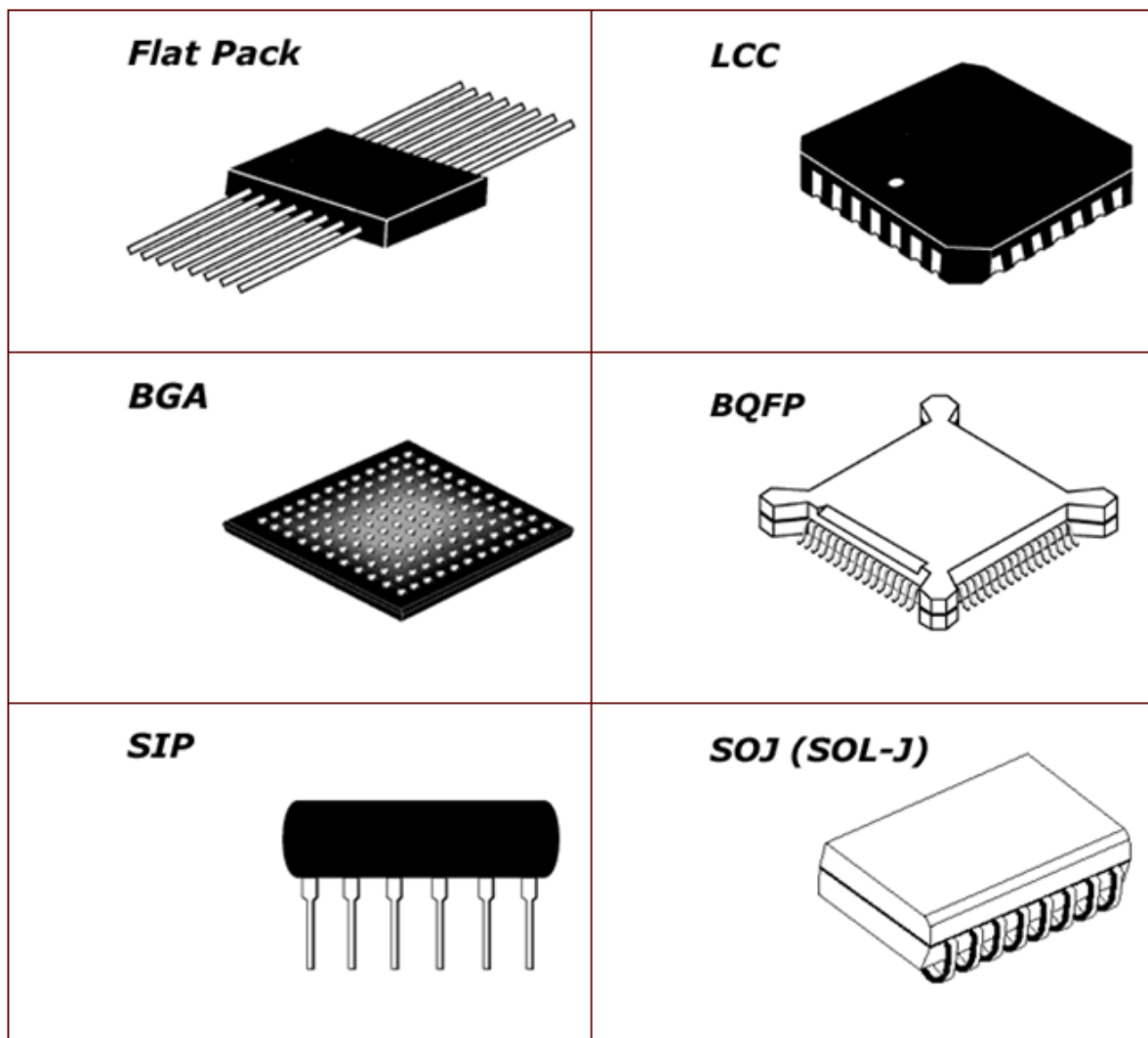
**TSSOP** (Thin Shrunk Small Outline Package).

SOP rozteč je 1.27mm, SSOP rozteč je 0.4, 0.5 nebo 0.65mm.



Obr. 3 Nejčastější pouzdra MCU

## Ostatní pouzdra pro SMT



Obr. 4 Ostatní pouzdra pro SMT

## Doporučení

Pro začátečníky je vhodné pouzdro DIP / DIL. Zároveň je vhodné mikroprocesory s tímto pouzdrem osazovat do připravených patic, abychom jej v případě potřeby mohli vyjmout a vyměnit. Nedoporučuje se pájení přímo do obvodu, i když to zakázáno samozřejmě není.

## 2.2.4 Cena a dostupnost

Pokud bychom pracovali na návrhu součástky, která by v budoucnu měla být ve větším počtu či dokonce masově vyráběna, bude hrát cena jednotlivých součástek nezanedbatelnou roli. Samozřejmě stále musí naše součástka umět zpracovat veškeré potřebné instrukce, takže šetřit lze, ale jen do určité míry. Pro naše studijní (nekomerční) využití však

nejčastěji používáme součástky, jejichž cena se pohybuje řádově v desítkách korun, v případě 32-bitových procesorů ARM pak maximálně ve stokorunách.

Většinu aktuálně a nejčastěji používaných součástek lze objednat z mnoha internetových obchodů, které se na tuto oblast trhu specializují. Pro názornost mohu jmenovat internetové obchody [4], [5] nebo například [6].

Každý solidní výrobce mikrokontrolérů má však své zastoupení téměř po celé Evropě a proto i na webových stránkách uvádí adresy a kontakty těchto partnerských společností, přes které by měli jít součástky teoreticky vždy objednat.

U velmi solidních společností, viz následující kapitola, však lze objednat v omezeném množství vzorek dané součástky, tzv. sample. Tuto možnost využívají v hojné míře zejména studenti nebo příležitostní uživatelé. Samozřejmě bývá vyžadována registrace na webové stránky dané společnosti a vyplnění základního dotazníku, nicméně například pro naše účely se jedná o ideální řešení, které osobně vnímám jako velmi solidní jednání těchto výrobců.

## 2.3 Dokumentace mikrokontrolérů

Dokumentace (tzv. „datasheet“) daného mikrokontroléru obsahuje úplné a veškeré potřebné informace o daném mikrokontroléru. Datasheet je zpravidla umístěn na webových stránkách výrobce daného mikrokontroléru, případně i na stránkách prodejce.

## 2.4 Výrobci mikrokontrolérů

Společností zabývajících se výrobou jednočipových mikrokontrolérů (a nejen tím) je celá řada, nicméně si povězme pár informací o těch nejvýznamnějších z nich, mezi které patří společnosti Atmel Corporation, Microchip Technology, Texas Instruments, STMicroelectronics a Freescale Analog Devices.

### 2.4.1 Atmel Corporation

Atmel Corporation se zabývá výrobou polovodičů a integrovaných obvodů od založení společnosti roku 1984. Hlavními produkty jsou mikrokontroléry (včetně klonů 8051, AT91SAM založených na architektuře ARM), jeho vlastní Atmel AVR a AVR32 architektura, rádiové (RF) zařízení, EEPROM a Flash paměťové čipy, ASIC, WiMAX a mnoho jiných. Je schopen nabídnout řešení 'system on chip'.

Atmel podniká ve velkém okruhu aplikačních segmentů včetně konzumního sektoru, telekomunikací, počítačů a počítačových sítí, průmyslu, zdravotnictví, automobilového, leteckého a vojenského průmyslu. Atmel je vedoucí firmou na trhu bezpečnostních systémů, hlavně díky čipovým kartám smart card a RFID.

Prezidentem a CEO společnosti je George Perlegos. Jeho bratr, Gust Perlegos, je viceprezidentem. Počet zaměstnanců je přibližně 7500. Firma sídlí v San José v Kalifornii.

Oficiální webové stránky společnosti: [7]

### 2.4.2 Microchip Technology

Microchip Technology je výrobce mikroprocesorů a integrovaných obvodů. Firma vznikla oddělením divize mikroelektroniky od společnosti General Instruments. Známy je především produkcí 8bitových mikrokontrolérů PIC. Dále se zabývá vývojem IO pro DSP (Digital Signal Controllers), RF, Security, Battery Management, Analog & Interface, paměťovými IO apod.

Prezidentem a CEO společnosti je Steve Sanghi. Firma sídlí v Arizoně, USA.

Oficiální webové stránky společnosti: [8]

### 2.4.3 Texas Instruments

Texas Instruments (zkratka TI) je americká firma, zabývající se výrobou integrovaných obvodů a počítačové techniky. Byla založena v roce 1941, kdy čtyři přátelé zakoupili firmu Geophysical Service Incorporated. Podnik přejmenovali na současný název v roce 1951. V roce 1958 vynalezl Jack Kilby během práce pro TI integrovaný obvod.

TI vyrobila v roce 1954 první tranzistorový rozhlasový přijímač, v šedesátých letech první obvody TTL, v roce 1967 ruční kalkulačku, v roce 1971 první jednočipový mikropočítač, v roce 1973 získala první patent na mikroprocesor, její rodina logických obvodů 7400 se stala dodnes platným průmyslovým standardem. TI byla rovněž mezi prvními firmami, které začaly vyrábět digitální signálové procesory.

V současné době má společnost hodnotu přibližně 12 mld. dolarů.

Oficiální webové stránky společnosti: [9]

### 2.4.4 STMicroelectronics

Společnost se sídlem v Ženevě (Švýcarsko) vznikla v roce 1987 spojením italské společnosti SGS Microelettronica a francouzské Thomson Semiconducteurs. Již v roce 1999 se společnost ST stala jedním Top 10 dodavatelů polovodičových součástek. Dnes je ST jednou z největších polovodičových firem na světě s více než 50 000 zaměstnanci ve 36 zemích.

ST se snaží být lídrem v oblasti multimediálních aplikací a napájecích řešení. Nabízí proto jedno z nejširších produktových portfolií na světě, včetně aplikace specifických produktů, počínaje zařízení s diskrétními součástkami, přes vysoce výkonné mikrokontroléry, bezpečné čipy karet a MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) zařízení.

Oficiální webové stránky společnosti: [10]

## 2.4.5 Freescale Semiconductor

Společnost Freescale Semiconductor jako odnož Motoroly je jedním z celosvětových průkopníků v oblasti polovodičové techniky a zařízení. Její historie sahá již více jak 50 let do minulosti, konkrétně do roku 1948. Rok 1955 byl zlomovým pro společnost Motorola, jelikož se stala výhradním výrobcem a dovozcem v oblasti tranzistorů a polovodičových součástek. Od té doby se stále drží na popředí trhu a pracují na nových produktech.

V roce 2004 vznikla oddělením polovodičové divize od společnosti Motorola přímo společnost Freescale Semiconductor tak, jak ji známe v dnešní době. Společnost se specializuje na výrobu součástek pro automobilový a telekomunikační průmysl, mikrokontrolérů a mikromechanických senzorů. Freescale Semiconductor je jednou z 20 největších firem v polovodičovém průmyslu na světě.

Oficiální webové stránky společnosti: [11]

## 2.5 Přehled 8-bitových mikrokontrolérů

### 2.5.1 AVR (Atmel)

AVR je označení pro rodinu 8-bitových mikrokontrolérů typu RISC s harvardskou architekturou od firmy Atmel. Instrukční sada byla vyvinuta pro použití s vyššími programovacími jazyky, převážně s jazykem C. Šířka instrukčního slova je 16 bitů, což zvýšilo požadavky na velikost paměti, ale umožnilo také zrychlit načítání instrukcí, které jsou nejčastěji o velikosti jednoho slova, takže je mikrokontrolér dokáže přečíst během jednoho hodinového taktu.

#### 2.5.1.1 TinyAVR

Jedná se o základní a nejjednodušší mikrokontroléry, energeticky nenáročné. Využívají se v jednoduchých a malých elektronických obvodech pro zpracování digitálních i analogových signálů.

- Pro méně náročné aplikace
- Paměť flash pro uložení programu 0,5 – 8 kB
- Menší pouzdro 6 – 32 pinů (orientačně)
- Napájení v rozmezí 1,8 V – 5,5 V dle typu
- Energeticky nenáročné – několik stovek  $\mu\text{A}$
- Omezená sada integrovaných rozhraní
- A/D převodník, napět'ové komparátory, moduly pro PWM

Navzdory svým minimálním rozměrům se ve skutečnosti jedná o plnohodnotné programovatelné čipy, které mohou být i poměrně výkonné. Díky tomu, že většina instrukcí je provedena za jediný takt, dosahuje se při hodinové frekvenci 12 MHz špičkového výpočetního výkonu až 12 MIPS.



### 2.5.1.2 MegaAVR

Výkonné mikročipy, mají JTAG rozhraní, větší flash a RAM, více integrovaných rozhraní. Slouží k ovládání prvků LED, displejů, servomotůrů atd.

- Paměť flash pro uložení programu 4 – 256 kB
- Rozšířená sada instrukcí (instrukce násobení a instrukce pro přístup k větší programové paměti)
- Výpočetní výkon i několik desítek MIPS
- V pouzdrech 23 – 100 pinů (orientačně)
- Napájení v rozmezí 1,8 V – 5,5 V dle typu
- Široká sada integrovaných rozhraní

Rodina ATmega je zřejmě nejznámější a jistě nejrozšířenější od firmy Atmel. Jedná se o výkonné, dostupné a dobře programovatelné mikrokontroléry, které se mohou uplatnit téměř se všech oblastech běžných aplikací. Ve své nabídce je má mnoho českých i zahraničních společností.

### 2.5.1.3 XMEGA

Rodina mikrokontrolérů Atmel AVR XMEGA obsahuje výkonné 8/16bitové MCU postavené na technologii picoPower a disponující unikátním Event Systémem, který umožňuje meziperiferijní komunikaci bez nutnosti zatěžování CPU nebo DMA. To zajistí stoprocentně předvídatelnou a krátkou dobu odezvy. Díky druhé generaci technologie picoPower je zajištěna delší životnost baterií. Dále jsou mikrokontroléry XMEGA vybaveny 12bitovým ADC převodníkem s rychlostí 2 Msps a podporou pro oversampling – lze tedy zvýšit rozlišení až na 16 bitů. Rodina XMEGA obsahuje i dva 12bitové DAC převodníky s rychlostí 1 Msps a nabízí tak značné analogové funkce.

- Paměť pro uložení programu 16 – 384 kB
- 44–64–100 - pinová pouzdra (A4, A3, A1)
- Frekvence až 32 MHz
- Napájecí napětí 1,6 V – 3,6 V dle typu
- Vlastnosti zvyšující výkon jako DMA, "Event System" a podpora kryptografie
- Široká sada integrovaných rozhraní s DAC

Mikrokontroléry Xmega jsou vhodné do zařízení, která jsou napájena z baterií. Vzhledem k dalšímu technologickému pokroku a následnému vzniku ARM procesorů, je však již jejich současný podíl na trhu menší.

### 2.5.2 HC11 (Freescale)

Procesory řady 68HC11xx navazují vývojově na velmi rozšířené procesory 68HC01xx a 68HC05 a jsou stěžejním produktem společnosti Freescale Semiconductor (dříve Motorola) v oblasti 8-bitových mikrokontrolérů. Oproti svým předchůdcům však mají dle očekávání vyšší výkon a širší spektrum interních funkčních bloků. Instrukční soubor obsahuje instrukce procesorů M6801 a M6801 + 91 nových.

Mikrokontrolér a jeho procesor je technicky řešen jako 8-bitový, přesto však jeho ALU provádí násobení a dělení celých 16-bitových a 32-bitových čísel. Jádro procesoru tvoří mikroprogramový řadič, aritmetickologická jednotka a skupina uživatelsky přístupných registrů. Jádro je s interními periferiemi spojeno prostřednictvím interní datové, adresové a řídicí sběrnice (modifikovaná von Neumannova architektura). Vnitřní registry jsou statické a vnitřní hodinový kmitočet je možno snižovat až na nulu a příkon procesoru lze, mimo úsporné standardní režimy snížit i snížením vnitřního synchronizačního kmitočtu.

- Modifikovaná von Neumannova architektura
- Většina verzí pracuje s napájecím napětím 3 a 2,7 V
- k dispozici CPU řady 11 na jediné naprogramování uživatelem - OTP (One Time Programmable Device - EPROM místo ROM), které jsou vhodné pro malé série mikro počítačů s CPU MC68HC11xx
- Pracovní teplota -40°C až +125°C
- 5 osmibitových portů

### 2.5.3 PIC (Microchip)

Osmibitové mikrokontroléry PIC jsou velmi oblíbené mezi amatéry a začátečníky, ale nalezneme je i v mnohých profesionálních aplikacích. Nabízí se v mnoha variantách, které se od sebe liší velikostí datové a programové paměti, počtem vývodů a typem pouzdra, maximální taktovací frekvencí, počtem a typem integrovaných periférií a samozřejmě také cenou. V nabídce naleznete několik set mikrokontrolérů se 6 až 100 vývody a až 128 KB programové paměti FLASH, ze kterých lze snadno vybrat ten, který nejlépe splňuje požadavky vaší aplikace. Mikrokontroléry nabízí širokou škálu periférií, modul PWM, analogově-digitální převodník, komparátory a dále specializované periferie jako USB, mTouch™, LCD, CAN nebo Ethernet. [12]

8bitové mikrokontroléry PIC se nabízí ve čtyřech verzích architektury jádra:

#### 2.5.3.1 Baseline

- Základní řada 8-bitových MCU od firmy Microchip
- 12-bitová délka slova
- 33 instrukcí
- Maximální rychlost je 5 MIPS
- Programová paměť do 3 kB
- Datová paměť do 134 B
- dvouúrovňový hardwarový zásobník, nejsou vybaveny přerušením
- 6-40 pinové
- řada zahrnuje typy PIC10xx a některé PIC12xx (PIC12F5xx) a PIC16xx (PIC16F5xx)

Mezi nejčastější aplikace řady baseline patří různé pomocné elektronické obvody, logické řídicí obvody jako náhrada klasických (neprogramovatelných) logických obvodů

(enkodéry, dekodéry, programovatelná hradla, jednoduché automaty apod.), inteligentní elektronika na jedno použití (různé testery), generátory periodického signálu a pulsní generátory (např. jako náhrada za klasický časovač 555, PWM generátory, pulsní generátory, oscilátory, enkodéry dálkových ovládaní), atd.

### 2.5.3.2 Mid-Range

- 14-bitová délka slova
- 35 instrukcí
- maximální rychlost je 5 MIPS
- Programová paměť až 14 kB
- Datová paměť až 368 B
- jsou vybaveny přerušením a osmi úrovněm hardwarovým zásobníkem
- 8-64 pinové
- řada zahrnuje většinu mikrokontrolérů PIC12xx a naprostou většinu mikrokontrolérů PIC16xx

Řada mid-range se dobře uplatní např. v aplikacích komunikujících prostřednictvím některého z podporovaných sériových rozhraní, v aplikacích s analogovými periferiemi apod. V nabídce nalezneme mikrokontroléry s velikostí pouzdra již od 3×3 mm (8 vývodů), 4×4 mm (28 vývodů) nebo 5×5 mm (40 vývodů). Mikrokontroléry PIC této řady jsou tak vhodné pro aplikace, které vyžadují vysoký výkon při zachování velmi malých rozměrů.

### 2.5.3.3 Enhanced Mid-Range

- maximální rychlost je 8 MIPS
- Programová paměť až 28 kB
- Datová paměť až 1,5 kB
- 8-64 pinové
- Interní oscilátor s maximálním kmitočtem 16 MHz nebo 32 MHz
- většina mikrokontrolérů disponuje technologií nanoWatt XLP

Řada Enhanced Mid-Range vychází z řady mid-range a nabízí vyšší výkon a lepší optimalizaci pro programování s využitím překladače jazyka C.

### 2.5.3.4 PIC18 (dříve též označovaná High-End)

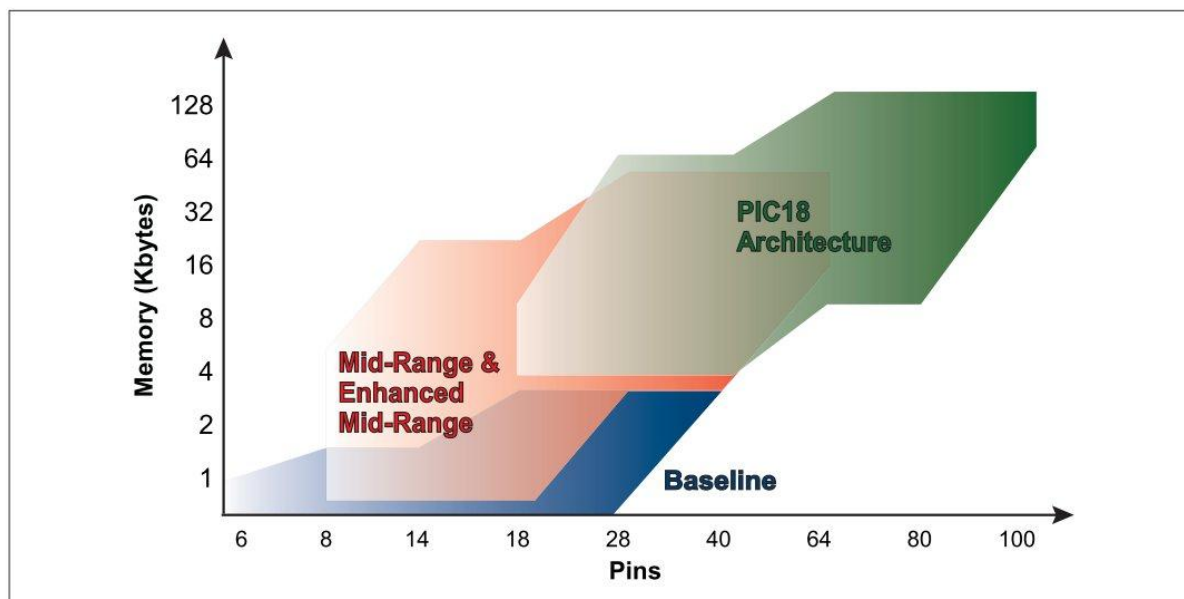
- 16-bitová délka slova
- Více než 80 instrukcí
- Nejvýkonnější řada osmibitových mikrokontrolérů PIC - maximální rychlost je až 16 MIPS
- Programová paměť až 128 kB
- Datová paměť až 4 kB
- Obsahují mnoho pokročilejších funkcí, např. osmibitovou hardwarovou násobičkou, velké množství vnitřních i vnějších zdrojů přerušení s nastavením priority, 32úrovněm zásobník apod.

- 18-100 pinové
- Přes 200 druhů mikrokontrolérů v nabídce

Jedná se o nejvýkonnější řadu 8-bitových mikrokontrolérů PIC.

### 2.5.3.5 Srovnání jednotlivých řad PIC

mikrokontrolérů podle typu architektury jádra je patrné z následujících dvou obrázků:



Obr. 5 Srovnání řad PIC

	Baseline Architecture	Mid-Range Architecture	Enhanced Mid-Range Architecture	PIC18 Architecture
<b>Pin Count</b>	6-40	8-64	8-64	18-100
<b>Interrupts</b>	No	Single interrupt capability	Single interrupt capability with hardware context save	Multiple interrupt capability with hardware context save
<b>Performance</b>	5 MIPS	5 MIPS	8 MIPS	Up to 16 MIPS
<b>Instructions</b>	33, 12-bit	35, 14-bit	49, 14-bit	83, 16-bit
<b>Program Memory</b>	Up to 3 KB	Up to 14 KB	Up to 28 KB	Up to 128 KB
<b>Data Memory</b>	Up to 134B	Up to 368B	Up to 1.5 KB	Up to 4 KB
<b>Hardware Stack</b>	2 level	8 level	16 level	32 level
<b>Features</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparator</li> <li>• 8-bit ADC</li> <li>• Data Memory</li> <li>• Internal Oscillator</li> </ul>	In addition to Baseline: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SPI/I<sup>2</sup>C™</li> <li>• UART</li> <li>• PWMs</li> <li>• LCD</li> <li>• 10-bit ADC</li> <li>• Op Amp</li> </ul>	In addition to Mid-Range: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiple Communication Peripherals</li> <li>• Linear Programming Space</li> <li>• PWMs with Independent Time Base</li> </ul>	In addition to Enhanced Mid-Range: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8x8 Hardware Multiplier</li> <li>• CAN</li> <li>• CTMU</li> <li>• USB</li> <li>• Ethernet</li> <li>• 12-bit ADC</li> </ul>
<b>Highlights</b>	Lowest cost in the smallest form factor	Optimal cost to performance ratio	Cost effective with more performance and memory	High performance, optimized for C programming, advanced peripherals
<b>Total Number of Devices</b>	16	58	29	193
<b>Families</b>	PIC10, PIC12, PIC16	PIC12, PIC16	PIC12F1XXX, PIC16F1XXX	PIC18

Obr. 6 Základní vlastnosti jednotlivých řad PIC

Společnou vlastnosti všech 8bitových mikrokontrolérů PIC je:

- nízká spotřeba - proud v aktivním režimu od 50  $\mu\text{A}/\text{MHz}$ , v režimu spánku od 9 nA
- integrované periferie - jediné 8bitové mikrokontroléry, které nabízí USB rozhraní, řízení LCD, Ethernet, podporu dotykového snímání nebo CAN
- nízká cena
- malé rozměry

Hlavní výhody mikrokontrolérů PIC:

- Jednoduchost - Díky architektuře RISC s pouhými 35 instrukcemi (u řady PIC16) je programování velice snadné i pro úplného začátečníka. Integrované periferie zase umožňují snadno realizovat zajímavá zapojení s minimálním množstvím externích součástek.
- Výkon - Díky optimalizované architektuře jádra vycházející z Harvardské architektury a díky redukované instrukční sadě RISC se tyto mikrokontroléry řadí mezi nejvýkonnější osmibitové mikrokontroléry.
- Přijatelná cena - Cena mikrokontrolérů je již dnes takřka srovnatelná s některými jinými logickými obvody a pohybuje se řádově v desítkách až stovkách korun.
- Flexibilita - Jednoduchá instrukční sada a společné základní rysy spolu s širokou nabídkou typů umožňují snadnou migraci mezi jednotlivými typy v závislosti na požadovaných vlastnostech.
- Programování - Většina mikrokontrolérů je nabízena ve verzi s pamětí FLASH (indikováno písmenem F, např. PIC16Fxxx), která umožňuje velice snadné přeprogramování obvodu (až sto tisíc programovacích cyklů). Díky přítomnosti rozhraní ICSP (In-Circuit Serial Programming) je možné mikrokontrolér naprogramovat bez nutnosti jeho vyjmutí z desky plošných spojů.
- Podpora - Společnost Microchip nabízí zdarma ke stažení vývojové prostředí MPLAB a na českém trhu je k dispozici množství cenově dostupných programátorů i vývojových desek. Na internetu a v literatuře lze navíc najít mnoho zajímavých aplikací využívajících mikrokontroléry PIC.

#### 2.5.4 ST7 (STM)

Řada mikrokontrolérů ST7 od firmy STMicroelectronics je založena na Von Neumannově architektuře. Instrukční soubor má celkem 63 instrukcí, možnost využít dvou index registrů a široké množství adresování. Dále jsou k dispozici dva 8-bitové ukazatele X a Y a 16-bitový ukazatel zásobník odkazující do paměti RAM. Jako zdroje hodinového taktu lze využít interní i externí RC oscilátor nebo záložní hlídací zdroj hodinového taktu, který běží interně na pozadí mikrokontroléru a využívá se při výpadku hlavního oscilátoru.

- Von Neumannova architektura
- 63 instrukcí
- 2 index registry, široké množství adresování

- Dva 8-bitové ukazatele, jeden 16-bitový ukazatel
- Interní a externí RC oscilátor, záložní hlídací zdroj hodinového taktu
- Programová paměť typu EPROM nebo Flash do velikosti 64 kB
- Datová paměť do 2 kB

ST7 je přímým nástupcem řady ST6, která však byla založena na architektuře harvardské.

## 2.6 Přehled 16-bitových mikrokontrolérů

### 2.6.1 MSP430 (Texas Instruments)

MSP430 (Mixed-Signal Processor) je řada 16-bitových procesorů od společnosti Texas Instruments. Jedná se o mikrokontroléry s von Neumannovou architekturou a obsahují instrukční sadu typu RISC. Vyznačují se zejména velmi nízkou spotřebou. Z tohoto důvodu jsou tyto procesory předurčeny pro použití v konstrukcích s bateriovým napájením, kde je vyžadováno zpracování analogových i digitálních signálů. Řada MSP430 je vhodná pro aplikace jako je měření jednotek, přenosné měřicí přístroje či inteligentní senzory.

Hlavní rysy jsou:

- Velmi malá spotřeba prodlužující životnost baterií
  - Udržovací proud RAM 0.1uA
  - Proud v módu RTC 0.8uA (real-time-clock)
  - 250uA / MIPS v aktivním módu
- Vysoce výkonná analogová část je ideální pro přesné měření
- Von Neumannova architektura
- Moderní 16-bitová RISC architektura CPU umožňuje psaní nových aplikací s podstatně menší velikostí zdrojového kódu.
- Programová paměť FLASH o kapacitě až 8 kB s možností programování v systému dovoluje pružné změny kódu, načítání dat a změny polí dat.
- Datová paměť SRAM o kapacitě 256 B
- Kompletní integrované vývojové prostředí v ceně od \$49
- Cena obvodu od \$0.99

### 2.6.2 PIC24 (Microchip)

Šestnáctibitové mikrokontroléry PIC jsou určeny pro náročnější aplikace, kde nestačí výpočetní výkon osmibitových mikrokontrolérů. Ačkoliv se mohou zdát tyto mikrokontroléry velmi podobné, ve skutečnosti jsou 16-bitové MCU PIC od jejich 8-bitových značně odlišné.

Mikrokontroléry disponují šestnácti pracovními registry, plně podporují softwarový zásobník v RAM a umožňují přímý přístup k programové paměti jak pro zápis, tak pro čtení. Většina instrukcí je vykonávána v jednom instrukčním cyklu. Architektura je navržena s

ohledem na co nejmenší velikost kódu při kompilaci programu napsaného v jazyce C. Mikrokontroléry disponují propracovaným systémem přerušení, různými typy obvodů resetu, různými komunikačními moduly (SPI, I2C, USART, CAN), paralelními porty, obvody reálného času, přímým přístupem do paměti (DMA), analogově-digitálními převodníky a různými dalšími specifickými obvody, jako např. rozhraním pro řízení motorů, rozhraním USB apod.

Mikrokontroléry PIC24 se nabízí ve dvou kompatibilních řadách. Řada PIC24F s maximální rychlostí 16 MIPS (milionů instrukcí za sekundu) je navržena zejména s ohledem na nízký příkon. U řady PIC24H s maximální rychlostí 40 MIPS stojí v popředí zájmu zejména výkon. Mikrokontroléry PIC24H jsou tedy primárně určeny pro aplikace vyžadující vysoký výkon. Obě řady jsou vybaveny stejnou instrukční sadou, mají stejné základní periferie a podobné rozložení vývodů. Obě řady jsou kompatibilní s šestnáctibitovými digitálními signálovými kontroléry dsPIC.

### **PIC24F**

- Výchozí řada šestnáctibitových mikrokontrolérů PIC24 s bohatou výbavou periferních obvodů
- Více než 70 typů MCU
- Maximální rychlost 16 MIPS
- Paměť programu typu flash až 256 kB
- Paměť datová až 96 kB
- Pouzdra se 14 až 100 vývody
- Napájecí napětí 2,0-3,6V

### **PIC24H**

- Výkonné šestnáctibitové mikrokontroléry PIC24H
- Maximální rychlost 40 MIPS
- Paměť programu typu flash až 256 kB
- Paměť datová až 16 kB
- Pouzdra s 16 až 100 vývody
- Napájecí napětí 3,0-3,6V, pracovní teploty -40 až +125°C (vybrané do max +150°C)

## **2.7 Přehled 32-bitových mikrokontrolérů**

### **2.7.1 AVR32 (Atmel)**

AVR32 jsou 32-bitové RISC mikrokontroléry od společnosti Atmel.

Jejich hlavním zástupcem je řada mikrokontrolérů s označením AT32UC3L, jež byla na trh uvedena v roce 2010. Tyto obvody se vyznačují výrazně nižší spotřebou při plném



využití tzv. „picoPower“ technologie, až 1,5 DMIPS na 1 MHz a její obvody jsou vybaveny rozhraním pro kapacitní dotykové senzory.

Řada obvodů AT32UC3L na jediném čipu integruje jak vysoký výkon, tak i nízký příkon, to vše v maximálně kompaktním provedení s rozměry jen 5,5 x 5,5 mm pouzdra TLLGA, QFP a QFN se 48 piny. Obvody jsou tak vhodné i do prostorově omezených, přenosných aplikací. Mezi cílové aplikace lze však zařadit i produkty implementující zpracování audio signálu, jako jsou například USB a Bluetooth headsety, herní podložky a pokročilé hlasová nebo dotyková rozhraní. [13]

Základní vlastnosti řady AT32UC3L jsou:

- 64 MIPS, až 1,5 DMIPS na 1 MHz
- 16k KB datové SRAM
- 64 KB programové FLASH
- 36 GPIO
- Integrovaný UART
- Pracovní frekvence max. 50 MHz
- Snížení statického příkonu až o 90% (9 nA)
- Snížení aktivního příkonu až o 45% (165 $\mu$ A / MHz)

### 2.7.2 PIC32 (Microchip)

Po úspěších společnosti Microchip s vývojem a prodejem 8-bitových a následně 16-bitových MCU přišla dle očekávání tato společnost v roce 2007 s novou rodinou 32-bitových MCU s jádrem RISC nazvaných PIC32. Tyto nové mikroprocesory nabízí opět ještě vyšší výkon a velký rozsah paměti pro vzrůstající nároky na integrovaná řešení.

Základní vlastnosti řady PIC32 jsou:

- Vysoce výkonné jádro (MIPS32® M4K 32bitové jádro s 5stupňovou pipeline, bylo dosaženo výkonu 1.5DMIPS na 1MHz)
- Taktovací frekvence až 72 MHz
- 32-512kB paměti Flash a 8-32kB paměti RAM
- Dodatečných 12 kB paměti Boot Flash (určena pro Bootloadery)
- Rozsah napájecích napětí: 2.5V až 3.6V
- Pinově kompatibilní s většinou PIC24/dsPIC®
- Několik módů pro správu napájení
- Mnoho vektorů přerušení s programovatelnou prioritou
- Konfigurovatelný Watchdog Timer s vlastním nízko-příkonovým RC oscilátorem na čipu
- Pouzdro TQFP se 64 nebo 100 piny

Pro svůj vysoký výkon jádra, široký rozsah paměti a dostupných periférií jsou tyto obvody určeny pro použití do embedded řešení. Velkou výhodou je přítomnost paralelního master a slave portu, který může sloužit jak pro připojení externí paměti (vynikající funkce automatické detekce velikosti paměti), tak pro externí LCD displeje. Další skvělý počín je uvedení PIC32 Starter Kitu, který obsahuje vše potřebné pro rychlý vývoj aplikací s těmito MCU. [14]

### 2.7.3 ARM mikrokontroléry

ARM je architektura procesorů vyvinutá ve Velké Británii firmou ARM Limited. První mikroprocesor s architekturou ARM byl navržen již v roce 1984. Jeho návrh se odvíjel od architektury typu RISC. Na dobu svého vzniku však již dosahovaly tyto mikroprocesory díky použití GaAs polovodičů vysokých frekvencí. Rovněž použitá 32-bitová šířka slova nebyla v době vzniku ARM mikroprocesorů samozřejmostí. I proto se ARM mikroprocesory v několika směrech výrazně podíleli na revoluci v informačních technologiích. [15], [16], [17], [18]

Firma ARM Limited se časem rozhodla soustředit pouze na vývoj dalších mikroprocesorů ARM architektury a upustila již od jejich samotné masové výroby, kterou nadále zajišťuje mnoho různých společností. Proto dnes nalezneme ARM mikroprocesory v nabídce desítek výrobců, samozřejmě pod různými firemními a obchodními označeními. Jednotliví výrobci ARM mikroprocesorů tak hradí poplatek firmě ARM Limited za licence za jeho použití.

Mikroprocesory ARM je dnes možné najít ve všech odvětvích spotřební elektroniky a to zejména od mobilních telefonů (v roce 2007 byla architektura ARM zastoupena z 98 % ve více než jedné miliardě každoročně prodaných mobilů), tablety, multimediálních přehrávačů, herních konzol až po počítačové periferie (routery, pevné disky).

Vysoký výkon při nízké spotřebě má zásadní význam hlavně v zařízeních napájených bateriemi, zejména v embedded systémech, je však výhodou i u zařízeních pracujících v náročných tepelných podmínkách. Nízkopříkonové procesory totiž nepotřebují složité a přitom relativně nespolehlivé chlazení a přesto již dnes dosahují dostatečného výkonu i pro použití v jednodušších osobních počítačích.

Základní vlastnosti mikroprocesorů ARM architektury jsou:

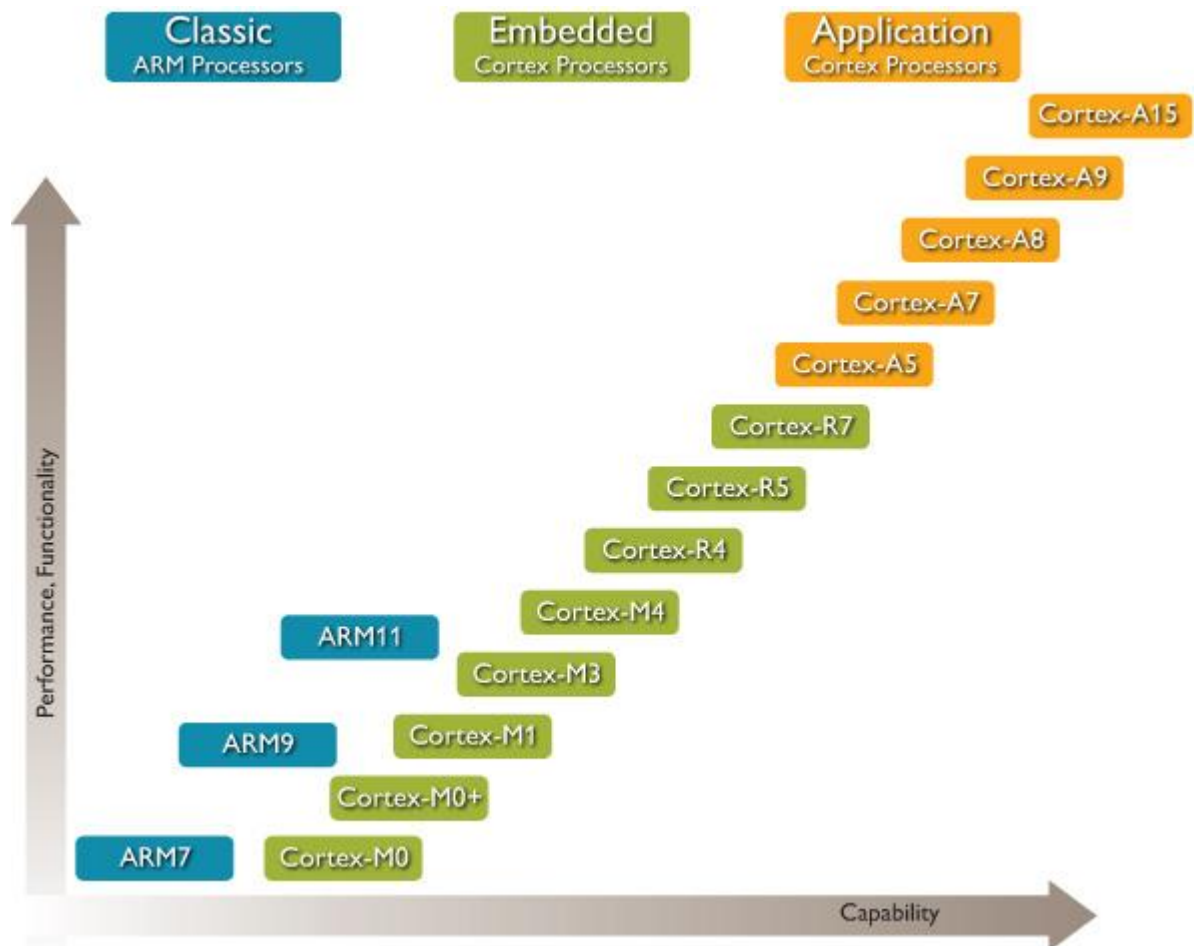
- malé energetické nároky
- 44 základních instrukcí o jednotné šířce 32 bitů
- 32-bitová vnitřní architektura
- 32-bitová datová sběrnice s propustností 32 MB/s
- 26-bitová adresová sběrnice (dostupný lineární adresní prostor 64 MiB)
- 25 vnitřních 32-bitových registrů
- přístup do paměti pouze instrukcemi Load/Store

- částečné překrývání vnitřních registrů
- nejdelší doba reakce na přerušení 3 milisekundy
- možnost podmíněného vykonání instrukcí
- možnost připojení standardních pamětí DRAM
- jednoduchý a výkonný instrukční soubor, jednoduše využitelné kompilátory vyšších programovacích jazyků

Níže je pro úplnost uveden přehled architektur mikroprocesorů ARM a příslušné rodiny.

Architektura	Rodina
<b>ARMv1</b>	ARM1
<b>ARMv2</b>	ARM2, ARM3
<b>ARMv3</b>	ARM6, ARM7
<b>ARMv4</b>	StrongARM, ARM7TDMI, ARM9TDMI
<b>ARMv5</b>	ARM7EJ, ARM9E, ARM10E, XScale
<b>ARMv6</b>	ARM11, ARM Cortex-M
<b>ARMv7</b>	ARM Cortex-A, ARM Cortex-M, ARM Cortex-R

Následující přehled znázorňuje poměr schopností mikrokontroléru ve srovnání s jeho výkonem a funkcemi.



Obr. 7 Srovnání jednotlivých ARM architektur

Obecně lze říci, že klasické procesory s ARM technologií (**Classic ARM Processors**) jsou ekvivalentem výše zmíněných AVR32 či PIC32.

Oproti tomu procesory s ARM technologií rodiny Cortex (**Embedded Cortex Processors** a **Application Cortex Processors**) jsou využívány zejména, jak již název vypovídá, ve vestavěných (embedded) systémech, nejčastěji ve spotřební elektronice bateriového typu, viz výše, ale i v set-top boxech, digitálních televizorech či DVD a Blue-ray přehrávačích.

Je patrné, že procesory ARM architektury si drží poměr výkonu ke schopnostem mikrokontroléru přibližně v ideálním poměru 1:1, což je to naprosto logické. Pokud bychom měli málo výkonný mikrokontrolér plný náročných funkcí, pak jejich zpracování bude zdoluhavé a mikrokontrolér tak nebude zajímavý. Naopak, pokud budeme mít velmi výkonný mikrokontrolér s velmi omezenými funkcemi, resp. s funkcemi matematicky jednoduchými, pak s největší pravděpodobností neužijeme naplno jeho možnosti.

Mezi nejznámější výrobce ARM procesorů se řadí opět firmy Atmel Corporation (AVR SAMx Family), STMicroelectronics (STM32 ARM Cortex MCUs) či Texas

Instruments (Stellaris ARM Cortex-M, Sitara ARM Cortex-A8, Hercules ARM Safety MCUs).

## 2.8 Porovnání vhodnosti jednočipových mikroprocesorů pro různá pole aplikací

Jak již bylo řečeno výše, výrobců mikrokontrolérů je mnoho. Zmíněni byli pouze ti nejznámější z nich (dle našeho subjektivního pocitu). Každý nejen z výše uvedených výrobců nabízí desítky až stovky různých mikrokontrolérů, které se někdy zcela minimálně, někdy naprosto zásadně liší a nabízejí různé funkce, aby si každý zákazník mohl vybrat přesně svůj potřebný mikrokontrolér.

Vždy bychom si měli předem rozmyslet, na co bude přesně nás mikrokontrolér použit, určit si požadavky na mikrokontrolér a poté vybrat z nabídky ten pravý. Vybírat lze dle mnoha požadavků.

### 2.8.1 Dle vstupně/výstupních portů

Mikrokontroléry mají různý počet obecně použitelných vstupně/výstupních pinů. Skupina  $n$  pinů tvoří  $n$ -bitový port. Vyspělejší typy mívají portů několik. Pokud však některý takový pin plní jinou funkci (vstup/výstup hodinového signálu, externí reset,...), přestává být vstupně/výstupním pinem. Čím více vstupně/výstupních portů a pinů má mikrokontrolér, tím více zařízení lze na něho připojit a jím ovládat.

Některé piny mohou sloužit přímo pro ovládání LED, k němuž je třeba vyšších proudů (20 mA).

### 2.8.2 Dle druhu a velikosti paměti

Dle své aplikace volíme mezi procesory jednou programovatelnými (OTP) a opakovaně programovatelnými (nejčastěji s flash nebo EEPROM pamětí). Pokud je předem zřejmé, že MCU bude využit pouze pro vykonávání stejné rutinní činnosti a nepočítá se s jinou variantou, můžeme použít OTP mikrokontroléry. Je-li však určitá možnost nebo je dokonce plánováno, že časem bude potřeba funkci zařízení změnit, jednoznačně volíme MCU s opakovaně programovatelnou pamětí. I přes jejich vyšší cenu se při častých změnách programu uživateli mnohonásobně vyplatí. Proto se v současnosti nejvíce prodávají jednoznačně MCU opakovaně programovatelné. Běžně lze jednotku přeprogramovat až 10 000x. Lze pořídit i speciální MCU, které lze přeprogramovat i více než milionkrát.

Velikost paměti MCU je v dnešní době obecně dostatečná a vždy přibližně úměrná schopnostem MCU. Je však dobré vědět, že i velikost paměti ovlivňuje jeho celkovou cenu.

### 2.8.3 Dle provozních podmínek

Přestože napájecí napětí má být pokud možno maximálně stabilizované, tak je dobré vědět, že máme jistou rezervu a MCU bude pracovat i při poklesu napětí (nemusí však být plně zaručeny všechny funkce). Platí, že čím vyšší napětí, tím je provoz stabilnější. Od napájecího napětí se bude pravděpodobně ve většině případů odvíjet i celková spotřeba jednotky. Nejprodávanější MCU mají rozsah napětí 2 – 6 V.

Teplotní rozmezí se pohybuje v průměru kolem  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $90^{\circ}\text{C}$ , což pro většinu aplikací dostatečné. Vyrábí se však i MCU, která jsou schopná pracovat v extrémním mrazu např.  $-60^{\circ}\text{C}$ , což lze v určitých případech také využít.

#### 2.8.4 Dle možností programování

Standardem v dnešní době je programování bez nutnosti vyjmutí MCU z pozice. Proto většina MCU dnes již disponuje ISP/ICSP, případně JTAG programováním.

Mikrokontroléry podporující opakované dálkové programování přes komunikační kanály typu Ethernet nebo sériové linky jsou velmi vyhledávané zejména pro výrobní haly a továrny. Pokud mikrokontroléry tuto možnost podporují, můžeme pak například “operativně” měnit programy ve více mikrokontrolérech najednou, čímž můžeme snadno přejít na jiný druh výrobku a přepnout tak celou linku najednou bez nutnosti toho, aniž bychom ji museli na dlouhou dobu odstavit a kus od kusu jednotlivá MCU v zařízeních přeprogramovávat nebo dokonce měnit. Celá výrobní linka je tak výrazně efektivnější, univerzálnější a zvyšuje se její hodnota pro firmu.

#### 2.8.5 Další funkce

Běžným standardem se dnes stávají **A/D převodníky**, **analogové komparátory** a **podpora sériových rozhraní** pro komunikaci a programování. MCU by také měl obsahovat některé z tzv. “**bezpečnostních mechanismů**“, jako je například Watchdog timer nebo Prescaler.

Pro menší potřebu jsou vhodné funkce “**úsporných režimů**”:

- Wait (Idle) - Procesor se zastaví, ale hodiny běží dál. Probudit procesor může přerušení nebo reset.
- Stop (Power Down) - Zastaví se i hodiny. Běžet dál (a vzbudit procesor přerušením) mohou pouze periférie s jiným zdrojem hodinového signálu.

#### 2.8.6 Nízkopříkonové (bateriové) systémy

Vysoký výkon při minimální spotřebě je obecný požadavek, který je kladen na mikrokontroléry. V bateriových zařízeních (nejsou tedy napájena ze sítě) toto pravidlo platí dvojnásob. Je naprosto logické, že při polovičním stand-by příkonu nám vydrží MCU a potažmo celé zařízení dvakrát déle v pohotovostním režimu. Proto se v této oblasti prosazují zejména ARM mikroprocesory. Jejich pokročilá konstrukce dovoluje dosahovat vysokých

výpočetních výkonu i při minimálním odběru energie a mají mnoho druhů úsporných režimů, než např. mikroprocesory 8-bitové. Proto se ARM mikroprocesory hojně využívají ve všech embedded (vestavěných) a zejména bateriových zařízeních, např. v mobilních telefonech, kde je jejich podíl až 98%. Často používané mikroprocesory v bateriových zařízeních jsou i AVR Xmega od Atmelu.

### 2.8.7 DSP

DSP (digitální signálové procesory) jsou specializované procesory, jejichž architektura je optimalizována pro rychlé provádění algoritmů používaných při zpracování číslicových signálů. Zpracováváné číslicové signály obvykle reprezentují analogové signály (např. audio nebo video), které jsou digitalizovány pomocí analogově-digitálního převodníku (ADC), číslicově zpracovány a následně opět převedeny do analogové podoby pomocí digitálně-analogového převodníku (DAC). Aby mohl být signál zpracován v reálném čase, musí být digitální signálový procesor schopen velice rychle zpracovat velké množství dat. Digitální signálové procesory jsou typicky schopné vynásobit dvě čísla v jediném instrukčním cyklu. Tyto procesory však nejsou cílem této práce, proto nebudou dále rozváděny. Více lze zjistit na webové adrese [19].

### 2.8.8 Přehled: Nejprodávanější mikrokontroléry

V tabulce níže je uveden orientační seznam v současnosti nejprodávanějších mikrokontrolérů, jejich základních vlastností a jejich cena. Tento seznam je sestaven na základě prodeje na webu [5], nicméně věrohodně zobrazuje prodeje na současném trhu s mikrokontroléry v České republice. Na konec seznamu byl pro porovnání přidán MCU MSP430F2001 od firmy Texas Instruments. Tento MCU byl použit níže v realizaci, proto je vhodné zmínit se i o něm. Cena není uvedena, protože na českém trhu je hůře dostupný a námi použitý kus byl sample objednaný přímo od Texas Instruments.

Mikrokontrolér	Pouzdro	I/O porty	Programová paměť, typ	Operační paměť, typ	Pracovní napětí [V]	Max. frekvence [Mhz]	Rozsah pracovních teplot [°C]	Cena [Kč]
<b>PIC16F628A-I/P</b>	DIP18	16	2 kB, flash	224 B SRAM, 128 B EEPROM	2.0 - 5.5	20	-40 až +125	56,00
<b>ATMEGA8A-PU</b>	DIP28	23	8 Kb, flash	1 kB SRAM, 512 B EEPROM	2.7 - 5.5	16	-55 až + 125	63,60
<b>ATmega8-16PU</b>	DIL28	22	8 Kb, flash	1 kB SRAM, 512 B EEPROM	4.5 - 5.5	16	-55 až +120	83,00
<b>PIC16F84A</b>	DIP18	13	1 kB, flash	68 B SRAM, 64 B EEPROM	2.0 - 5.5	4	-55 až + 125	74,60
<b>ATTINY2313-20PU</b>	DIL20	18	2 Kb, flash	128 B SRAM, 128 B EEPROM	2.7 - 5.5	20	-55 až + 125	57,40
<b>PIC12F629-I/P</b>	DIP8	6	1 kB, flash	64 B SRAM, 128 B EEPROM	2.0 - 5.5	20	-40 až +125	31,80
<b>ATmega32-16PU</b>	DIL40	32	32 kB, flash	2 kB SRAM, 1 kB EEPROM	4.5 - 5.5	16	-55 až + 125	144,00
<b>AT89C2051-24PU</b>	DIL20	15	2 kB, flash	128 B RAM	2.7 - 6.0	24	-20 až +85	32,80
<b>ATTINY85-20PU</b>	DIL8	6	8 kB, flash	256 B SRAM, 512 B EEPROM	2.7 - 5.5	20	-40 až +85	49,20
<b>MSP430F2001</b>	DIP14	10	1 kB, flash	128 B RAM	1.8 - 3.6	16	-40 až +85	neuveveno

Obr. 8 Nejprodávanejší MCU a jejich základní vlastnosti

### 2.8.9 Zhodnocení

Jak je patrné, mezi nejžádanější MCU patří jednoznačně rodiny Attiny nebo Atmega od Atmelu a PICy od Microchipu. Důvod je prostý. Jedná se totiž o MCU, která jsou relativně levná, snadno programovatelná, dobře dostupná s velmi rozsáhlou podporou v České republice. A to jak ze strany výrobců, tak ze strany uživatelů prostřednictvím mnoha veřejných webových stránek a diskuzí. Informací k těmto MCU je skutečně mnoho.

Který mikrokontrolér je však nejlepší? Naprosto obecně - ten, který umíme a kterému rozumíme!



## 3 Oživujeme mikropočítač aneb od hardware, přes software k funkčnímu celku

V této části práce se zaměříme na to, jakým způsobem můžeme do našeho mikrokontroléru „vdechnout život“. Pokud by někdo čekal, že postačí pouze naše součástky správně pospojovat a zařízení bude fungovat dle zadání, tak se až na výjimky mýlí. Ještě předtím, než náš mikrokontrolér zapojíme do elektronického obvodu, je potřeba jej naprogramovat tak, aby mikrokontrolér věděl, co má obsluhovat a jak si k tomu pomůže. Postup naprogramování je popsán v následujících šesti krocích.

Jedná se o postup, kdy je program napsán v některém z vyšších jazyků a následně kompilován, méně používaná varianta přímého programování v assembleru je potlačena.

### 3.1 Krok 1: Napsat ve svém počítači program

Program, který společně vytvoříme (napíšeme) a později nahrajeme do mikrokontroléru bude zásadně ovlivňovat jeho chování. Proto je třeba mít důkladně promyšleno, k čemu přesně budeme mikrokontrolér používat a měli bychom si jej dokázat představit za provozu, abychom mohli odladit případné neplánované chyby a možnosti zaseknutí, ke kterým může vlivem neznámých faktorů dojít.

Softwaru, ve kterém náš program námi zvoleným programovacím jazykem píšeme a většinou i poté kompilujeme, uceleně říkáme vývojové prostředí. Vývojové prostředí obsahuje i svůj debugger, tedy počítačový program, který hledá chyby v jiných programech. Většinou je možné pomocí něho zobrazit zdrojový kód laděného programu, takže je ihned možné vidět místo, kde se objevila programátorská chyba.

#### 3.1.1 Přehled programovacích jazyků a vhodných vývojových prostředí

Program lze svým způsobem napsat v jakémkoliv programovacím jazyce, budeme-li mít kompilátor (překladač), který jej zvládne správně přeložit do strojového kódu námi použitého mikrokontroléru. Každý z jazyků je odlišný, některé mají určité zvyky programování společné. Z nejvíce používaných programovacích jazyků a jejich vývojových prostředí lze uvést tyto nejpoužívanější:

##### Assembler

Assembler (JSA – Jazyk symbolických adres) je nižší programovací jazyk, v němž se píšou konkrétní kroky, které má procesor provést. Je vhodný tam, kde je třeba psát velmi úsporný a rychlý kód.

Mezi nejpoužívanější vývojová prostředí pro Assembler patří AVR Studio, Avra či MP Lab.

## C/C++

C nebo C++ [20] je již vyšší programovací jazyk vyvinutý počátkem 70. let 20. století původně pro potřeby operačního systému Unix. Jeho autory jsou Ken Thompson a Dennis Ritchie. V současnosti je to jeden z nejoblíbenějších jazyků pro tvorbu systémového softwaru, ale i pro jiné aplikace. Z jeho základů následně vycházejí další jazyky, jako např. Java, Pearl či PHP.

Mezi nepoužívanější vývojová prostředí pro jazyk C/C++ patří WinAVR či MP Lab.

## Basic

Basic [21] je rodina vyšších programovacích jazyků, která byla zavedena jako jednoduchý nástroj pro výuku programování. Klíčová slova jazyka vychází z běžné angličtiny, což přispívá k jeho srozumitelnosti. Basic byl navržen v roce 1963 programátory John G. Kemeny a Thomas E. Kurtz z Dartmouthské univerzity (Hanover, New Hampshire). BASIC je zkratkou anglických slov *Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*.

Mezi nepoužívanější vývojová prostředí pro Basic patří Bascom.

## Ostatní programovací jazyky

Z mnoha dalších programovacích jazyků patří mezi nejznámější jazyky Java, Pascal nebo Fortran. Stále však platí, že může být použit jakýkoliv programovací jazyk, pokud k němu budeme mít vhodný kompilátor, který program správně přeloží do strojového kódu.

Seznam všech běžně používaných programovacích jazyků je na webové adrese [22].

### 3.1.2 Srovnání programovacích jazyků a vývojových prostředí

Při použití Assembleru máme největší kontrolu nad tím, co jednočip dělá, a hlavně, jak to dělá (ideálně tak, jak jsme mu to do programu napsali). Máme přímou kontrolu nad vstupy i výstupy, nad umístěním objektů v paměti, sami si zařizujeme obsluhu přerušení. Pro běžné uživatele však není Assembler nejvhodnější, jelikož chování mikrokontroléru není z programu zejména začátečníkům tak snadno čitelné.

K běžnému programování se nejčastěji používá jazyk C/C++. V programu psaném v jazyce C/C++ jsou přehledněji patrné funkční a logické celky, než při použití assembleru. Kódy však lze do programu také vkládat (tzn. „inline assembler“). Použití jazyka C/C++ nebo jiného vyššího jazyka s sebou přináší několik výhod, a zároveň i nevýhod. Například odpadá nutnost učit se instrukční soubor daného procesoru. Stačí umět daný jazyk a osvojit si knihovní funkce nebo povely specifické pro daný kompilátor a cílovou platformu. Na druhou stranu, jste závislí na tom, jak dobře ovládá daný kompilátor instrukční sadu daného procesoru. Také vykonávání programu psaného ve vyšším jazyce bude obecně pomalejší. Přesto však je jazyk C/C++ výrazně přehlednější, jednodušší a lze jej přenést na jiné platformy. Hodí se proto zejména pro začátečníky v oblasti programování a i zkušeným uživatelům.

Vhodná vývojová prostředí jsou ta, která kromě přívětivého programovacího jazyku mají debugger s možností “krokování programu”. Tuto funkci mohou využít zejména začínající programátoři pro bližší pochopení programu a jeho odladění, protože si díky tomu můžeme zobrazit obsah jednotlivých proměnných krok po kroku, resp. příkaz za příkazem a sledovat jejich změnu. Mnohdy se tak podaří odhalit programátorské chyby, které vzniknou naší neznalostí nebo nepozorností. Program, který budeme kompilovat by měl právě být debuggerem zkontrolován, tj. odladen a bez chyb.

## 3.2 Krok 2: Zkompilovat jej v kompilátoru

Jak již bylo uvedeno výše, kompilátor neboli překladač je softwarový nástroj neboli utilita, která je nejčastěji přímo součástí vývojového prostředí a zajistí přeložení programu z námi zvoleného programovacího jazyka do strojového kódu našeho mikrokontroléru, aby do něho mohl být později program nahrán. Zvykem je, že kompilujeme až debuggerem zkontrolované programové kódy a výstupem překladu je soubor formátu Intel Hex, tedy s příponou HEX.

## 3.3 Krok 3: Pořídit si programátor

Programátor je elektronické zařízení, které sloučí k propojení počítače a mikrokontroléru tak, aby se do něho mohl nahrát program.

Způsobů, jak získat vhodný programátor je mnoho. Nejjednodušší je si hotový programátor koupit a to buď přímo od výrobce mikrokontroléru nebo z mnoha dalších obchodů s elektronikou. K dispozici jsou nejen samotné programátory s cenou v řádech sta korun, ale často i celé vývojové kity s cenou mnohdy v řádech tisíců korun (viz. níže vývojový kit STK500). Funkční programátor si však lze také postavit doma svépomocí výrazně nižší náklady. Na internetu je k dispozici mnoho schémat ověřených programátorů a mnohdy není jejich stavba nijak zvlášť složitá, což ocení zejména příležitostní či začínající programátoři.

### 3.3.1 Způsoby programování a ladění

#### ISP / ICSP programování

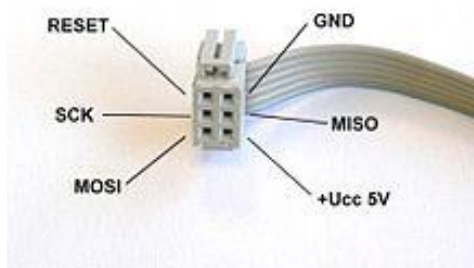
ISP - In System Programming (resp. ICSP - In-Circuit Serial Programming u procesorů PIC) je schopnost některých jednočipů a programovatelných logických obvodů být programovány bez nutnosti jejich vyjmutí. Tato vlastnost je velmi ceněna zejména u embeded (vestavěných) systémů, kde by vyjmutí mikrokontroléru a jeho následné přeprogramování bylo velmi složité, mnohdy s nevratnými škodami na zařízení, v němž je osazen. Pro ISP/ICSP se využívá SPI (Serial Programming Interface) rozhraní.

Každý výrobce mikrokontrolérů má svůj vlastní způsob a schéma zapojení ISP/ICSP programátoru, které pak bývá shodné většinou pro celou procesorovou řadu.

Velmi používané je zapojení ISP programátoru pro AVR mikroprocesory od Atmelu. K tomu slouží kromě napájení čtyři datové signály:

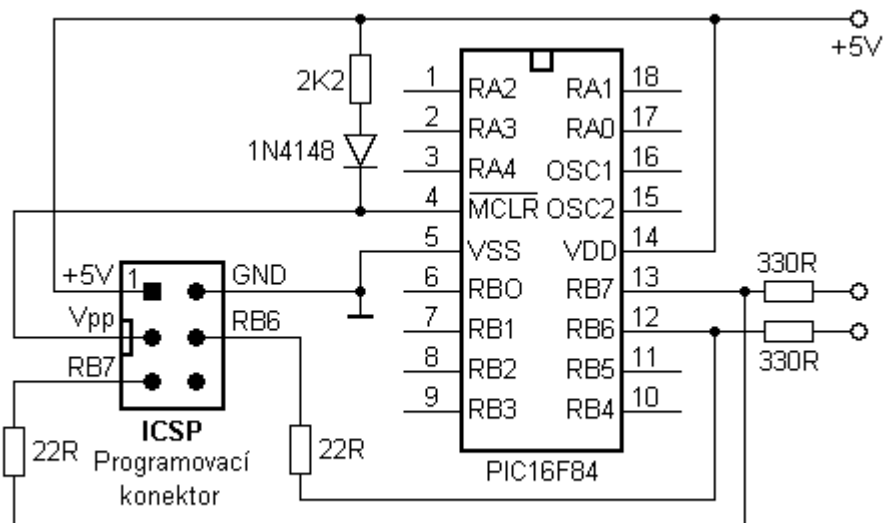
- MOSI (Master Out – Slave In) – sériový vstup dat do mikroprocesoru,
- MISO (Master In – Slave Out) - sériový výstup dat z mikroprocesoru,
- SCK (Serial clock) – sériové hodiny (synchronizace komunikace),
- RESET – nulování mikroprocesoru

ISP konektor pro AVR má tedy celkem 6 pinů. Rozmístění programovacích pinů na ISP konektoru:



Obr. 9 Rozmístění pinů na programovacím ISP konektoru

Pro mikrokontroléry PIC se zapojení mírně liší, resp. je použit jiný konektor. Konkrétně pro PIC16F84 je ICSP zapojení k MCU následující:



Obr. 10 ISP zapojení s MCU PIC16F84

## Programování přes sériový port nebo Ethernet

V návaznosti na ISP lze obdobně programovat mikrokontroléry i přes ethernetové (síťové) rozhraní. Není tedy nutná manuální obsluha nebo výměna, ale vše lze řídit operativně dálkově z velína.

### debugWire (Atmel AVR)

debugWIRE [23] je jednodrátové ladicí rozhraní pro vybrané procesory od firmy Atmel, pomocí kterého se propojí vstup Reset AVR procesoru (například ATmega88 a ATmega168) s programátorem AVR Dragon. Z programu AVR Studio pak lze ladit a krokovat programy přímo v reálném jednočipovém mikroprocesoru a vidět při tom do registrů a do paměti podobně jako v simulátoru AVR. Většinou bývá potřeba ještě debugWire zapnout například přes ISP.

### JTAG programování a ladění

JTAG [24] je rozhraní k mikroprocesorům, které umí vše co debugWire a ještě něco navíc. Také pro něj lze použít více různých programátorů než pro debugWire. Nejlevnější JTAG programátor je několikrát levnější než nejlevnější debugWire programátor. Přes JTAG rozhraní je tedy možné nahrávat a ladit programy levněji než například s programátorem AVR Dragon. JTAG konektory bohužel nejsou zcela standardizovány, takže lze sehnat mnoho JTAG programátorů, které budou mít rozdílné konektory podle toho, na jaké procesory jsou určeny. Většina JTAG programátorů je určena pro procesory AVR od Atmelu, ale lze snadno sehnat i MSP430-JTAG pro procesory od Texas Instruments a dalších výrobců.

Funkční umístění JTAG programátoru (na obrázku AVR JTAG programátor) a obecně všech programátorů je patrné na následujícím obrázku.



Obr. 11 Znáznornění zapojení JTAG programátoru

### 3.3.2 Přehled použitelných programátorů

#### AVRProg (Atmel)

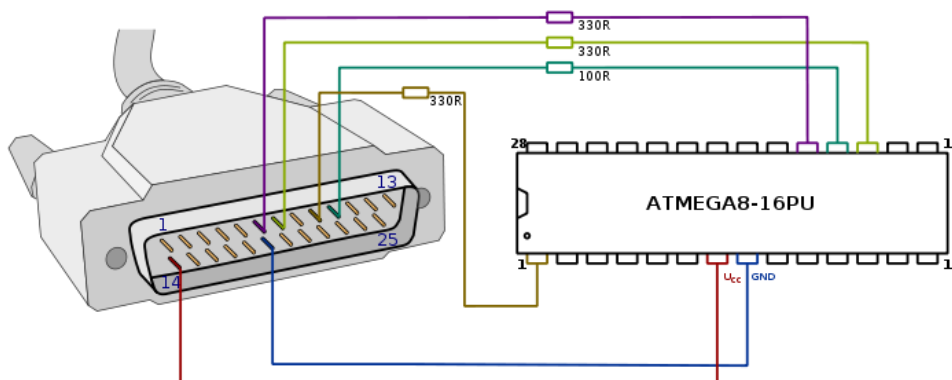
AVRProg je určen k programování AVR mikroprocesorů od společnosti Atmel. Spolupracuje například s prostředím Bascom, AVRStudiem a dalšími programy a je kompatibilní i s programem AVRDUDE pro OS Linux. K počítači se připojuje přes USB, popř. miniUSB konektor. Orientační cena na internetu je kolem 460 Kč.



Obr. 12 Programátor AVRProg

### STK200 (Atmel)

STK200 [25], [26] je jednoduchý programátor na programování 8-bitových ATmega mikrokontrolérů od Atmelu. S počítačem je mikrokontrolér spojen paralelním portem. Atmega musí být při programování napájena napětím 5V, které lze použít např. z pinu č. 14 paralelního portu. Zároveň musí být země mikrokontroléru a paralelního portu spojeny. Jeho výhodou je, že sám neobsahuje další mikrokontrolér a lze si jej tak snadno sestavit doma ze minimum peněz. Schéma zapojení je znázorněno na obrázku.



Obr. 13 Zapojení vlastního programátoru kompatibilního s STK200

### STK500 (Atmel)

STK500 je vývojový kit určený pro programování MCU firmy Atmel a následné ladění vytvořených aplikací. Standardně obsažený a plně kompatibilní software je AVR Studio, lze však použít i WinAVR, Bascom a další. S PC je spojen sériovým rozhraním RS232. Současná cena originálního kitu se pohybuje kolem 2 500 Kč. Na internetu lze však nalézt mnoho návodů, jak tento kompatibilní programátor sestavit levněji, mnohdy i přes USB port. Případně lze použít převodník RS232/USB, pokud máme např. novější PC nebo notebook, kde se již často sériové porty nevyskytují.



Obr. 14 Vývojový kit STK500 pro MCU Atmel

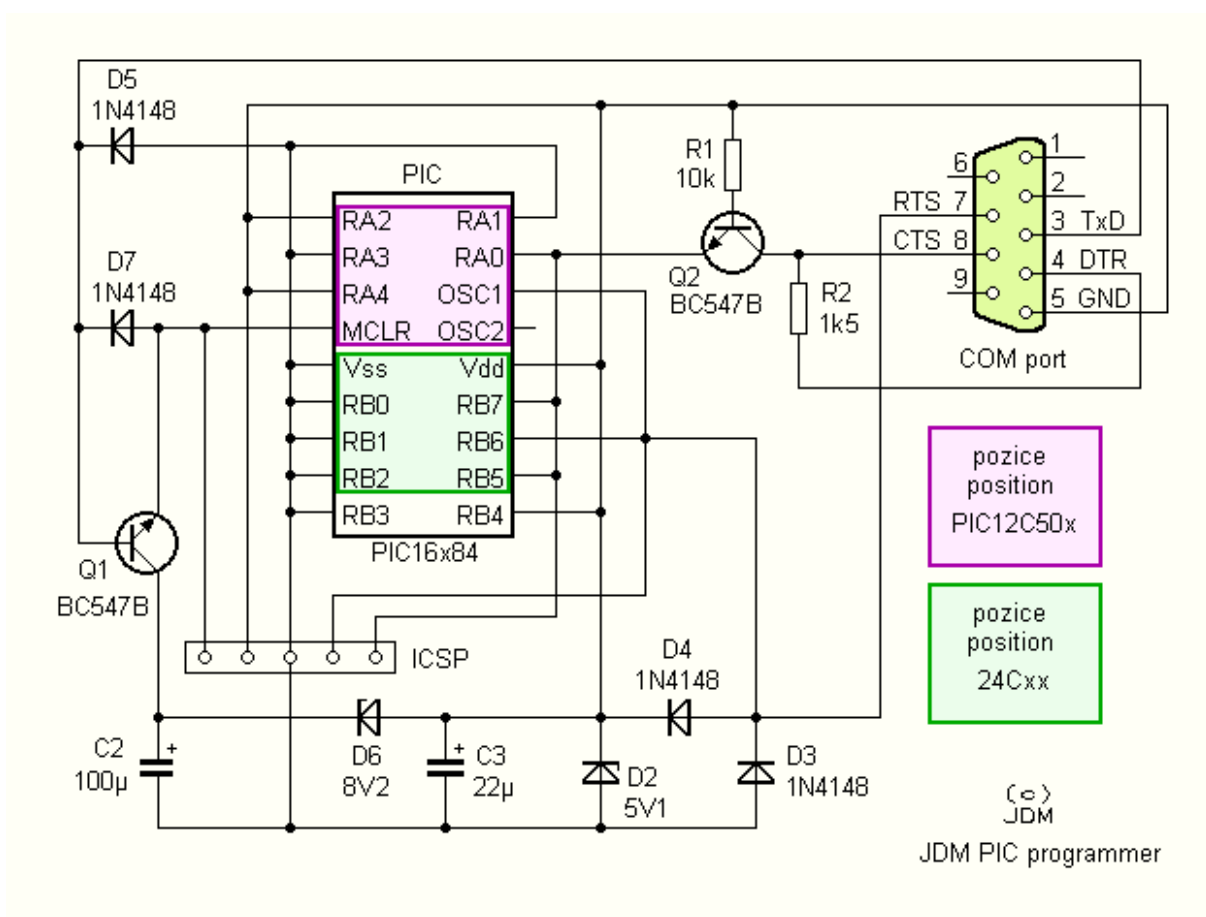
### AVR Dragon (Atmel)

Tento programátor nad rámec běžného nahrání programu do MCU umožňuje také krokovat program přímo v reálném mikroprocesoru pomocí debugWIRE a prohlížet při tom obsah paměti a registrů. Dragon umí také ISP programování a JTAG ladění. S počítačem je spojen USB portem. Cena na internetu se pohybuje kolem 1 900 Kč.

### JDM PIC programátor (Microchip Technology)

JDM je programátor procesorů PIC od firmy Microchip Technology. Tento programátor lze v několika různých variantách zapojení sestavit svépomocí za několik málo korun. Příklad možného odzkoušeného zapojení je níže na obrázku. Programátor umožňuje programovat obvody PIC12C5XX, 12C67X, 16C55X, 16C61, 16C62X, 16C71, 16C71X, 16C8X, 16F8X, sériové paměti EEPROM 24CXX. Zároveň umožňuje programovat mikrokontroléry přímo v zapojení (ICSP) a s adaptérem i další sériově programovatelné součástky, např. karty ISO.

JDM programátor dobře spolupracuje s například s freeware aplikacemi WinPIC nebo PICProg4U.



Obr. 15 Schéma zapojení JDM PIC programátoru

### FlashPro430 (Texas Instruments)

FlashPro430 je profesionální programátor určený pro programování mikrokontrolérů rodiny MSP430Fxx od firmy Texas Instruments. FlashPro430 disponuje vysokou komunikační rychlostí. Právě pro svoji rychlost je vhodný i pro programování flash zařízení během výrobního procesu. Další výhodou je možnost výmazu/zápisu buď celkové paměti nebo jen její části a zachování zbytku kódu. Cena programátoru se však pohybuje kolem 9 000 Kč. Více na adrese [27].

### Presto

Presto je programátor od firmy ASIX, programující osazené součástky ISP. Lze jím naprogramovat mnoho MCU, například PIC od Microchipu, AVR od ATMElu, MSP430 od Texas Instruments apod. Presto je vybaveno konektorem ICSP (In-Circuit Serial Programming), umožňujícím programování obvodů přímo v aplikaci. Tak je doba vlastního vývoje zkrácena na minimum, a proto je hlavním specifikem Presta vysoká rychlost. Pracuje jak pod operačním systémem Microsoft Windows, tak pod Linuxem. Presto je napájeno pomocí USB přímo z počítače.

Presto programátor lze koupit od výrobce zde [28].





Obr. 16 Presto programátor od firmy ASIX

### 3.3.3 Srovnání použitelných programátorů

Zřejmě nejzásadnější roli při volbě programátoru bude ve většině zájemců hrát jeho cena.

Pokud se mikrokontroléry zabývám pravidelně či mě práce s nimi živí, pak lze uvažovat nad koupí některého z originálních vývojových iktů. Za svou vyšší cenu nabízejí větší kompatibilitu a univerzálnost, lze s nimi programovat více mikrokontrolérů většinou stejného výrobce a nabízejí mnoho dalších možností, které zkušený programátor může využít.

Dobrym kompromisem mezi cenou a kvalitou se jeví Presto programátor od firmy Asix. Za cenu těsně pod 2 000 Kč nabídne širokou škálu programovatelných procesorů od více výrobců a také slušnou podporu ze strany prodejce a distributora. Tím pádem je velmi oblíbený jak mezi programátory preferující MCU Atmel AVR, ale i u těch, co preferují například PICy od Microchipu.

Jako začátečník či příležitostný uživatel jistě nebudu ochoten investovat velké peníze do profesionálního či poloprofesionálního zařízení, které plně nevyužiji. V případě AVR od Atmelu proto ještě zvážím možnou koupí hotového ARVProg za relativně rozumnou cenu. Pokud skutečně nechci programátor kupovat, volím stavbu vlastního jednoduchého programátoru. Pro procesory AVR od Atmelu nejspíše programátor kompatibilní s STK200 přes LPT. V případě MCU PIC padá volba například na osvědčený JDM programátor podporující ISP programování.

Dalším možným řešením, než programátor kupovat nebo vyrábět, je samozřejmě se zeptat po svém okolí a programátor si můžeme vypůjčit od známého. Tak či onak se bez programátoru neobejdeme.

## 3.4 Krok 4: Připojit mikrokontrolér k programátoru a programátor přes rozhraní počítač

Programátor lze připojit k počítači pouze takovými konektory, kterými disponuje stolní počítač nebo programátor samotný. Dříve se programátory připojovaly hlavně přes

paralelní nebo sériové porty, v současnosti se preferuje připojení přes USB nebo jeho upravené miniUSB. V případě paralelních a sériových portů bychom měli programátor připojovat pouze k vypnutému počítači, což ostatně platí pro všechny periferie připojitelné na tato rozhraní. K USB lze programátor a jiná zařízení připojovat i při zapnutém PC.

### **3.5 Krok 5: Nahrát do paměti mikrokontroléru zkompilovaný program**

Přesun programu z PC do mikrokontroléru se po hardwarové stránce provádí samozřejmě přes programátor, softwarově zpravidla opět využitím vývojového prostředí, ve kterém jsme program psali a kompilovali. Pokud jsme si sestavili programátor vlastní a zdrojový kód psali například pouze v textovém editoru v assembleru, lze z internetu najít mnoho freeware programů, které přesun zkompilovaného programového kódu do mikrokontroléru zařídí (například AVRdude při použití STK200). Většina těchto programů má natolik intuitivní ovládání, že je bezpředmětné je dále rozebírat [29].

### **3.6 Krok 6: Vrátit mikrokontrolér do svého obvodu a spustit jej**

Finálním krokem je pouze vrácení mikrokontroléru do vypnuté obvodu a poté jej spustit. Pokud jsme využili ISP programátor, nemuseli jsme tedy ani vyndat mikrokontrolér z obvodu, takže pouze připojíme napájení do obvodu. Pokud jsme postupovali správně, měl by obvod vykazovat námi požadovanou a naprogramovanou činnost.

## 4 Realizace 3 kusů (návrh, nákres, DPS, foto)

Jako vzorové mikroprocesory pro realizaci jsem si vybral PIC16F84A, ATmega8-16PU a MSP430F2001.

Mikroprocesory PIC16F84A a ATmega8-16PU jsou levné, dobře dostupné a velmi rozšířené. I proto je jejich podpora veliká a množství informací na internetu dostatečné. Mikroprocesor MSP430F2001 je mírně jiný, než předchozí. Mnoho informací o něm je pouze v angličtině, mezi českými uživateli není moc rozšířen. Nicméně firma Texas Instruments mi ochotně poslala dva vzorky tohoto mikroprocesoru, tudíž jsem se rozhodl pro zkušební zapojení i s tímto mikroprocesorem.

Celý proces mé realizace mohu popsat v několika po sobě jdoucích krocích:

- vymyšlení výsledné názorné aplikace (co se chystám vyrobit a co to bude dělat)
- vybrání vhodného mikroprocesoru (s ohledem na obtížnost, cenu a dostupnost)
- tvorba schématu zapojení, desky a seznamu součástek v návrhovém prostředí Eagle
- tvorba gerberů a podkladů v návrhovém prostředí Eagle pro následné zhotovení desky na fakultě elektrotechnické, ZČU
- osazení desky všemi součástkami a jejich kontrola a přeměření
- ISP naprogramování mikroprocesoru
- odzkoušení funkčnosti zapojení a jeho případné odladění

### 4.1 1\_PIC16F84\_bezici\_svetlo

#### 4.1.1 Zadání

Mikroprocesor PIC16F84A bude ovládat 8 diod. Tyto diody budou připomínat blikáčku na kole, tzn. že se budou postupně rozsvěcet a zhasínat jedna po druhé zleva doprava. Po stisknutí tlačítka se směr obrátí. V jeden okamžik tedy svítí vždy maximálně jedna dioda.

#### 4.1.2 Podklady z návrhového prostředí Eagle

Schéma zapojení a návrh desky plošného spoje jsou součástí přílohy (přílohy A1-A3).

#### 4.1.3 Výsledek

Výsledný produkt bude předveden u státní závěrečné zkoušky.

## **4.2 2\_Atmega8-16PU\_stopky**

### **4.2.1 Zadání**

Druhé zapojení bude simulovat funkci stopek. Mikroprocesor ATmega8-16PU bude ovládat 4-místný sedmi segmentový displej. Pomocí dvou tlačítek (start/stop a reset) budou stopky ovládány.

### **4.2.2 Podklady z návrhového prostředí Eagle**

Schéma zapojení a návrh desky plošného spoje jsou součástí přílohy (přílohy B1-B3).

### **4.2.3 Výsledek**

Výsledný produkt bude předveden u státní závěrečné zkoušky.

## **4.3 3\_MSP430F2001**

### **4.3.1 Zadání**

Mikroprocesor PIC16F84A bude ovládat 2 diody, které budou střídavě blikat ve smyslu blikaček na železničních přejezdech. Stisknutím tlačítka se bude volit režim rychlosti blikání.

### **4.3.2 Podklady z návrhového prostředí Eagle**

Schéma zapojení a návrh desky plošného spoje jsou součástí přílohy (přílohy C1-C3).

### **4.3.3 Výsledek**

Výsledný produkt bude předveden u státní závěrečné zkoušky.

## **5 Závěr**

Tato práce je zaměřena na vysvětlení a popis jednočipových mikrokontrolérů. Důraz je kladen zejména na 8-bitové mikrokontroléry nejznámějších výrobců, které jsou v současnosti na běžné uživatelské úrovni stále nejpoužívanější. Po přečtení práce by uživatel měl být schopen základního přehledu v nabízených mikrokontrolérech a dle svého cíle si vybrat jeden vhodný mikrokontrolér.

Nabídka mikrokontrolérů se samozřejmě dynamicky mění a lze logicky očekávat, že staré modely budou nahrazeny novými, a tak postupem času nebudou mnou nabízená řešení optimální.

Součástí práce je i stručný popis, jakým lze mikrokontroléry programovat a jak vytvořit funkční celek. Tento postup je obecný, platný již několik let a troufám si říci, že ještě několik dalších let platný a plně použitelný bude.

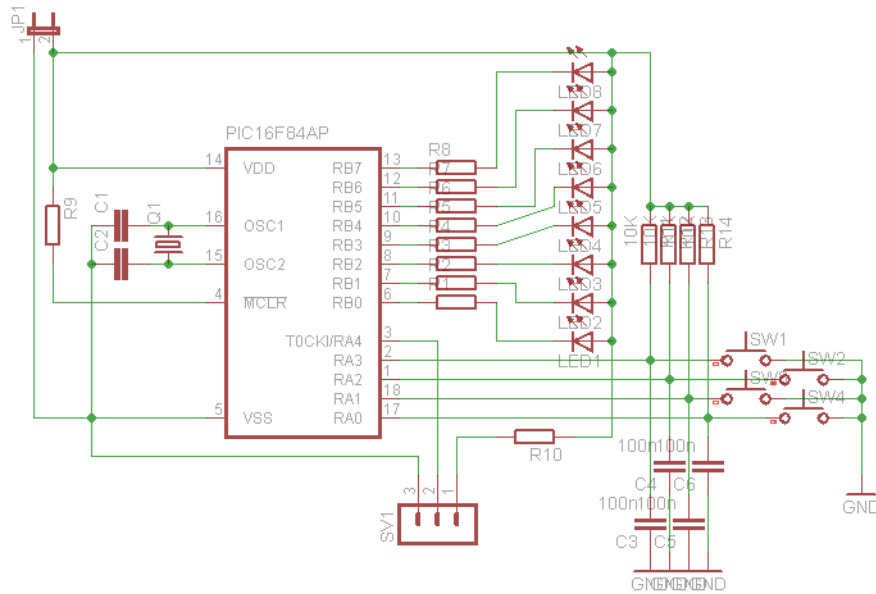
## Použitá literatura

- [1] <http://voho.cz/wiki/informatika/pocitac/>
- [2] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Jednočip>
- [3] <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/prehled-pouzder-soucastek-smd.html>
- [4] <http://www.ges.cz/cz/>
- [5] <http://www.gme.cz/>
- [6] <http://www.tme.eu/cz/>
- [7] <http://www.atmel.com/>
- [8] <http://www.microchip.com/>
- [9] <http://www.ti.com/>
- [10] <http://www.st.com/>
- [11] <http://www.freescale.com/>
- [12] <http://mikrokontrolery-pic.cz/katalog/8bitove-mikrokontrolery-pic/>
- [13] [http://pandatron.cz/?1503&nova\\_generace\\_32-bit\\_avr\\_mcu\\_uc3l](http://pandatron.cz/?1503&nova_generace_32-bit_avr_mcu_uc3l)
- [14] <http://www.hw.cz/soucastky/32bitove-mikrokontrolery-od-microchipu.html>
- [15] [http://en.wikipedia.org/wiki/ARM\\_architecture#CPU\\_modes](http://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture#CPU_modes)
- [16] [http://cs.wikipedia.org/wiki/ARM#P.C5.99ehled\\_procesor.C5.AF\\_ARM](http://cs.wikipedia.org/wiki/ARM#P.C5.99ehled_procesor.C5.AF_ARM)
- [17] <http://www.arm.com/index.php>
- [18] <http://www.arm.com/products/processors/index.php>
- [19] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Digitální\\_signálový\\_procesor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Digitální_signálový_procesor)
- [20] [http://cs.wikipedia.org/wiki/C\\_\(programovac%C3%AD\\_jazyk\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/C_(programovac%C3%AD_jazyk))
- [21] <http://cs.wikipedia.org/wiki/BASIC>
- [22] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_programovac%C3%ADch\\_jazyk%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_programovac%C3%ADch_jazyk%C5%AF)
- [23] <http://noel.feld.cvut.cz/vyu/a2m99mam/index.php/DebugWIRE>
- [24] [http://noel.feld.cvut.cz/vyu/a2m99mam/index.php/JTAG\\_lad%C4%9Bn%C3%AD](http://noel.feld.cvut.cz/vyu/a2m99mam/index.php/JTAG_lad%C4%9Bn%C3%AD)
- [25] <http://martin.vancl.eu/avr-1-stk200-programator>

- [26] <http://www.folcom.cz/?page=stk200/stk200>
- [27] <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/software/flashpro430-usb-flash-programator-a-jtag-debugger.html>
- [28] [http://www.asix.cz/prg\\_presto.htm](http://www.asix.cz/prg_presto.htm)
- [29] <http://www.bezstarosti.cz/elec/picprog/picprog.htm>

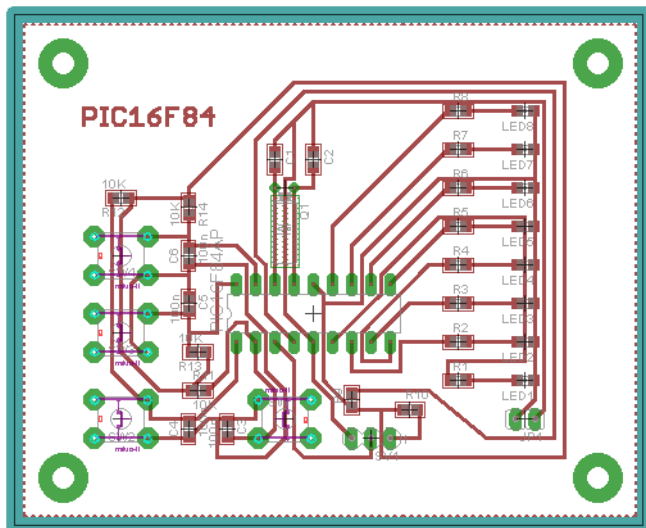
## Přílohy

### Příloha A1 - schéma zapojení s MCU PIC16F84A v návrhovém prostředí Eagle

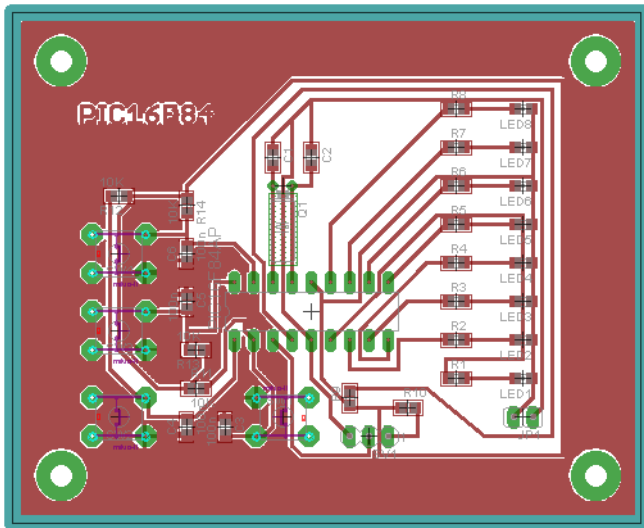




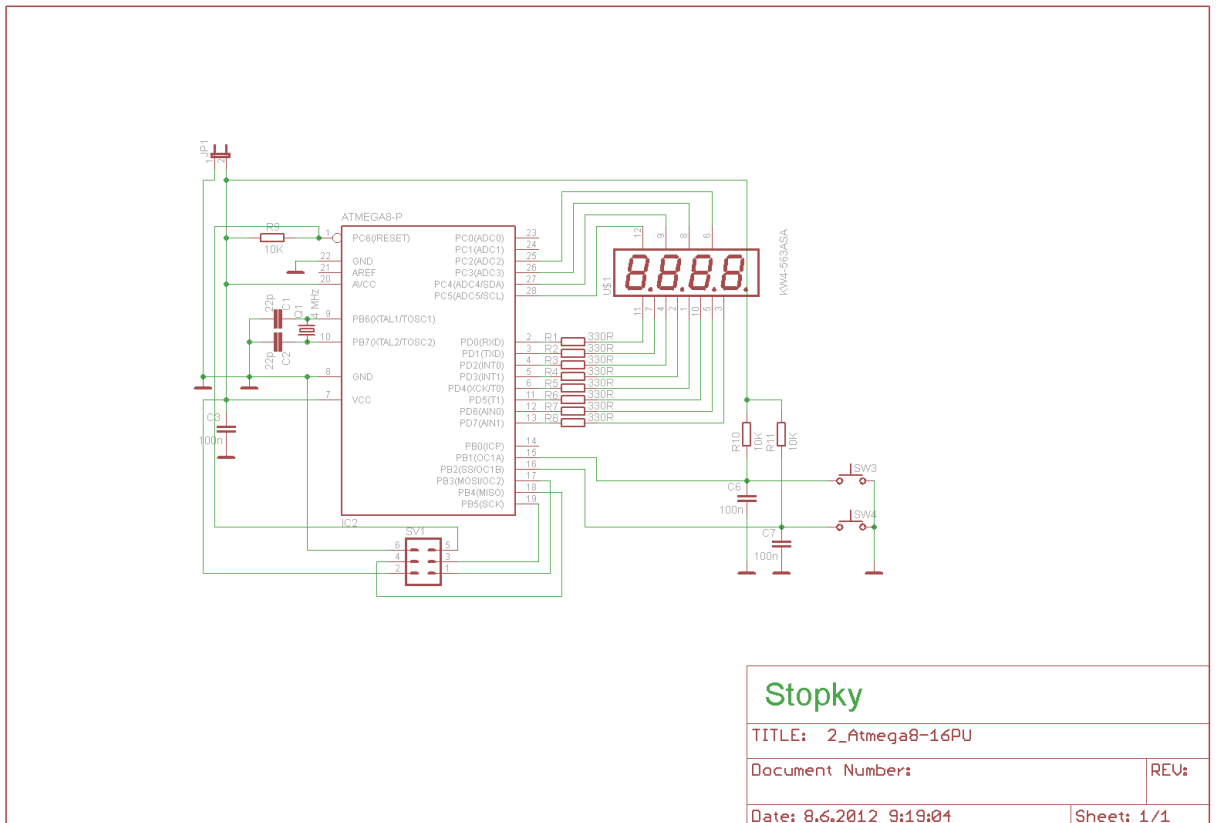
**Příloha A2 - návrh desky plošného spoje s MCU PIC16F84A v návrhovém prostředí Eagle**



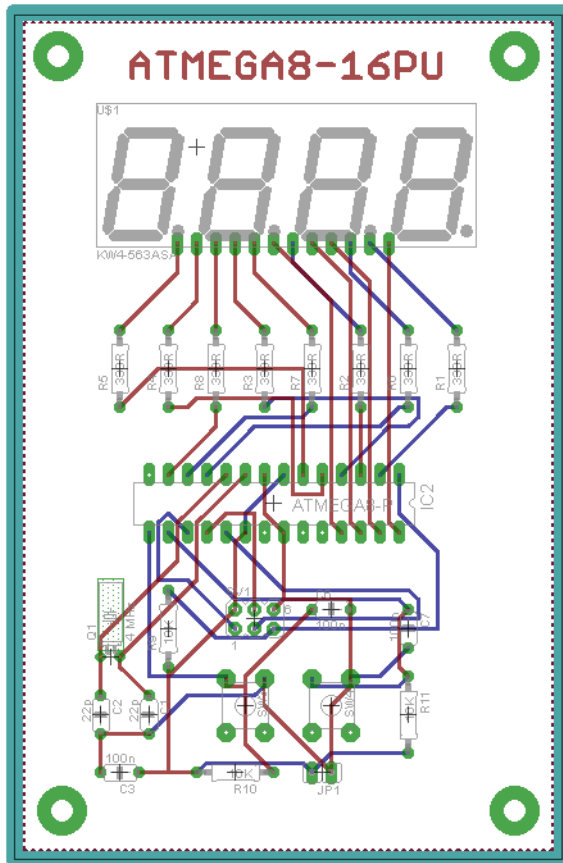
**Příloha A3 - návrh desky plošného spoje s MCU PIC16F84A s rozlitou mědí v návrhovém prostředí Eagle**



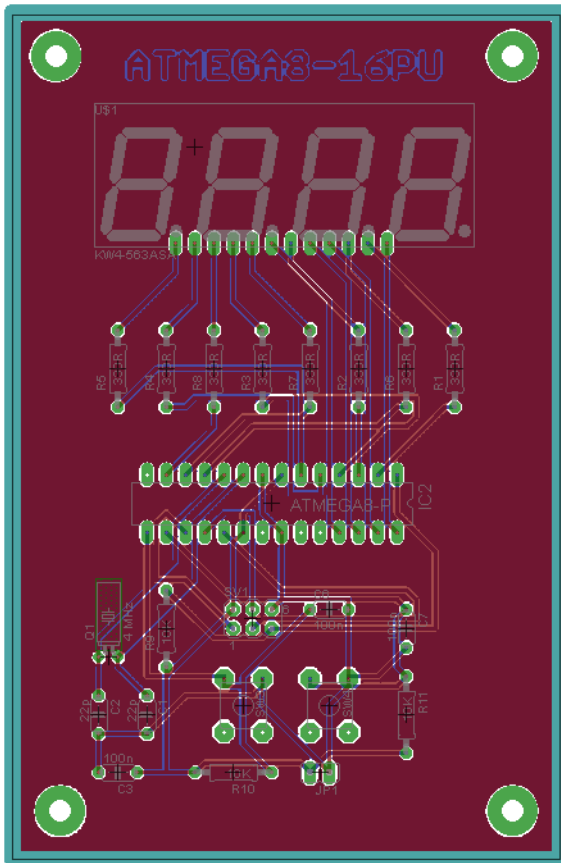
**Příloha B1 - schéma zapojení s MCU ATmega8-16PU v návrhovém prostředí Eagle**



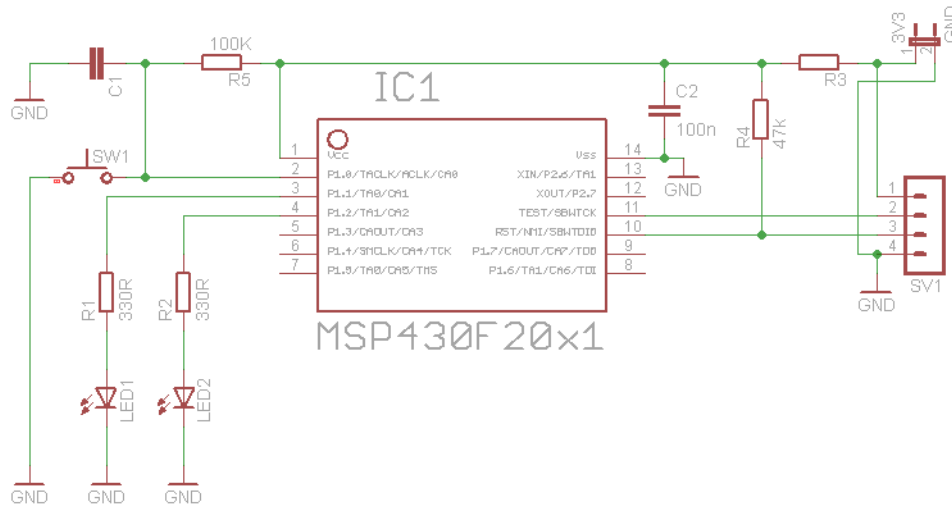
**Příloha B2 - návrh desky plošného spoje s MCU ATmega8-16PU v návrhovém prostředí Eagle**



**Příloha B3 - návrh desky plošného spoje s MCU ATmega8-16PU s rozlitou mědí v návrhovém prostředí Eagle**



**Příloha C1 - schéma zapojení s MCU MPS430F2001 v návrhovém prostředí Eagle**



**Příloha C2 - návrh desky plošného spoje s MCU MPS430F2001 v návrhovém prostředí Eagle**

