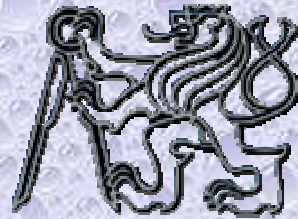


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

Fakulta elektrotechnická  
Katedra teorie obvodů



Úvod do mikrokontrolérů  
ATMEL AVR  
Konkrétně klonů řady ATmega

Martin Pokorný  
31SCS – 2004

# ÚVOD

Rodina mikrokontrolérů AVR s RISC architekturou je velmi zdařilým výsledkem architektury mikrokontrolérů přizpůsobených jazyku C. Rodina AVR se ovšem se 120-ti instrukcemi u výkonnějších typů velmi přibližuje CPU s architekturou CISC. Všechny ostatní charakteristiky, jako stejná bitová šířka instrukcí a zpracování instrukcí v jednom hodinovém cyklu jsou naopak typické vlastnosti architektury RISC. Proto je možno říci, že rodina AVR využívá výhod obou architektur: výkonnosti RISC s rozsahem instrukční sady blíží se CISC. Zdá se, že to je klíčem k moderním architektuám MCU. Tak je možno udržet nízkou velikost programu, při větší rychlosti zpracování. Instrukční kód má šířku 16 bitů a je tedy dostatečně velký, aby mohl v jednom instrukčním slově pojmout jak instrukci, tak operand.

Jednostupňové zřetězení instrukcí (pipeline) podporuje zpracování instrukčního slova, přečtení, interpretaci a provedení v jediném hodinovém cyklu.

32 univerzálních pracovních registrů, které všechny mohou pracovat jako 8-bitový akumulátor, umožňuje vyhnout se zbytečnému přemísťování obsahu registrů u aritmetických operací.



# Základní rozdělení architektur MCU

- Harwardská architektura  
oddělené sběrnice paměti programu a dat
- Von Neumannovská architektura  
společná sběrnice programové a datové paměti
- CISC ( Complex Instruction Set Computer )  
kompletní instrukční sada
- RISC ( Reduced Instruction Set Computer )  
redukovaná instrukční sada
- CISP ( Configurable Instruction Set Processor )  
instrukční sada a architektura registrů jsou volně  
definovatelné uživatelem

# Základní charakteristika ATMEL AVR

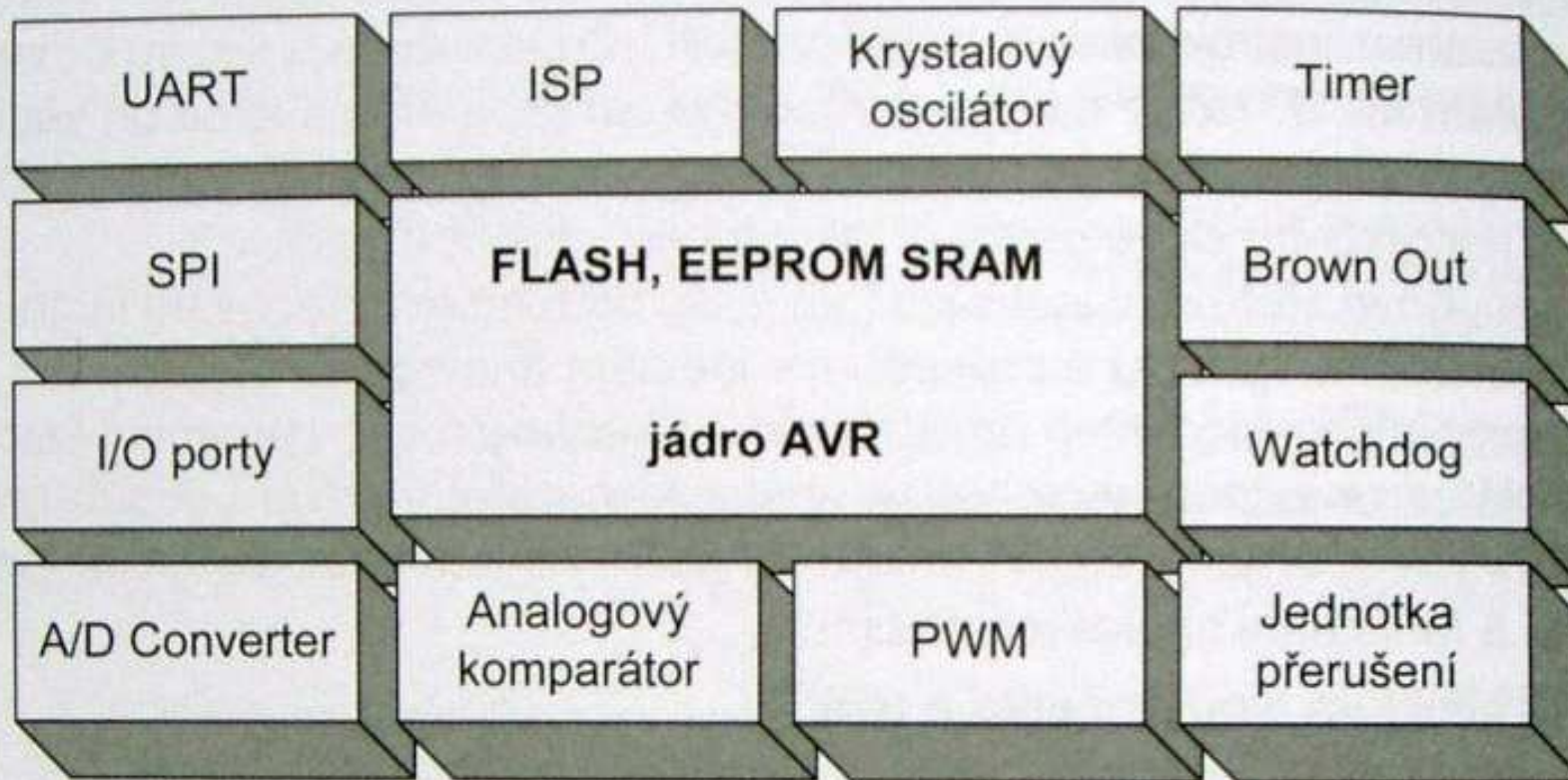
- Architektura typu Harvard a RISC
- 32 identických 8-bitových registrů pro všeobecné použití, které jsou všechny použitelné jako akumulátor
- Ukazatel na zásobník (stack pointer) a tři adresní ukazatele X, Y, Z, které jsou vytvářeny z registrů  $R26/27=X$ ,  $R28/29=Y$ ,  $R30/31=Z$
- Pro registry ukazatelů Y a Z je možná indexace polí pomocí 6-ti bitové relativní adresy (displacement)
- Všechny registry jsou adresovatelné prostřednictvím standardních paměťových přístupů
- Bitové adresování pro všechny registry
- S výjimkou čtyř 32bitových instrukcí mají všechny délku 16 bitů
- Lineární adresní prostor pro datovou paměť navzdory funkčnímu rozdělení
- Interní paměť:
  - FLASH pro program
  - SRAM pro registry, oblast I/O a data
  - EEPROM pro ukládání dat



# Základní charakteristika AVR -pokračování

- Externí paměť: RAM rozšiřitelná v závislosti na typu MCU
- 64 paměťových míst vstupu/výstupu (prostřednictvím instrukce I/O nebo adresní přístup 0x20 až 0x5F)
- Ochrana před poklesem napájecího napětí (brown-out)
- Žádné další dělení hodinového cyklu krystalu
- K dispozici jsou jádra RTOS
- AVR 1200 má jen 3úrovňový zásobník a žádnou přídavnou RAM
- Mnoho funkčních bloků a periférií podle typu MCU

# Funkční bloky u jednotek MCU typu AVR



## Význam zkratk:

UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (univerzální asynchronní přijímač/vysílač)
ISP	In-System Programming (programování v systému)
SPI	Serial Peripheral Interface (sériové rozhraní přídavných zařízení)
I/O	Input/Output Port (vstupní/výstupní port)
A/D	Analog to Digital Converter (analogově digitální převodník)
PWM	Puls Width Modulator (modulátor šířky impulzu)
RTC	Real Time Clock (hodiny reálného času)



# Stručný popis jednotlivých funkčních bloků

- UART – *Univerzální sériový přijímač/vysílač*  
Plně duplexní sériový kanál, umožňující komunikaci ve standardním 8 a 9bitovém asynchronním režimu. Obsahuje detekci falešného start-bitu, detekci chybného znaku a přetečení datového registru, filtraci šumu. Disponuje 3 vektory přerušení: *vysílání dokončeno, vysílací vyrovnávací registr prázdný a příjem kompletní.*
- ISP – *In-system programming*  
Tento blok umožňuje programování MCU přes jednoduché sériové rozhraní přímo v aplikaci
- Brown Out – *Podpět'ová ochrana*
- Watchdog – *Hlídací obvod*  
Je časovač, který je spuštěn po resetu, nebo později z programu a po vypršení časového limitu vyvolá automatické přerušení, pokud ho nějakým podmíněm (signálem, hodnotou zapsanou do řídicího registru, speciální instrukcí) nevrátíme do počátečního stavu

# Stručný popis jednotlivých funkčních bloků

- Čítač/časovač - může mít několik funkcí:  
Klasický čítač/časovač
  1. Output Compare - Porovnává hodnotu čítače s hodnotou v Output Compare Registru a v případě shody může vyvolat přerušení
  2. Input Capture - Jednotka záchytu hrany - zachycuje stav čítače okamžiku kdy se změní stav na pinu ICP do aktivní úrovně
  3. PWM – Tento blok může sloužit i ke generování signálu PWM (Pulsně Šířková Modulace)
- SPI – Synchronní sériový port (Serial Peripheral Interface)  
Master/Slave, různé přenosové rychlosti + další standardní možnosti nastavení tohoto rozhraní



# Stručný popis jednotlivých funkčních bloků

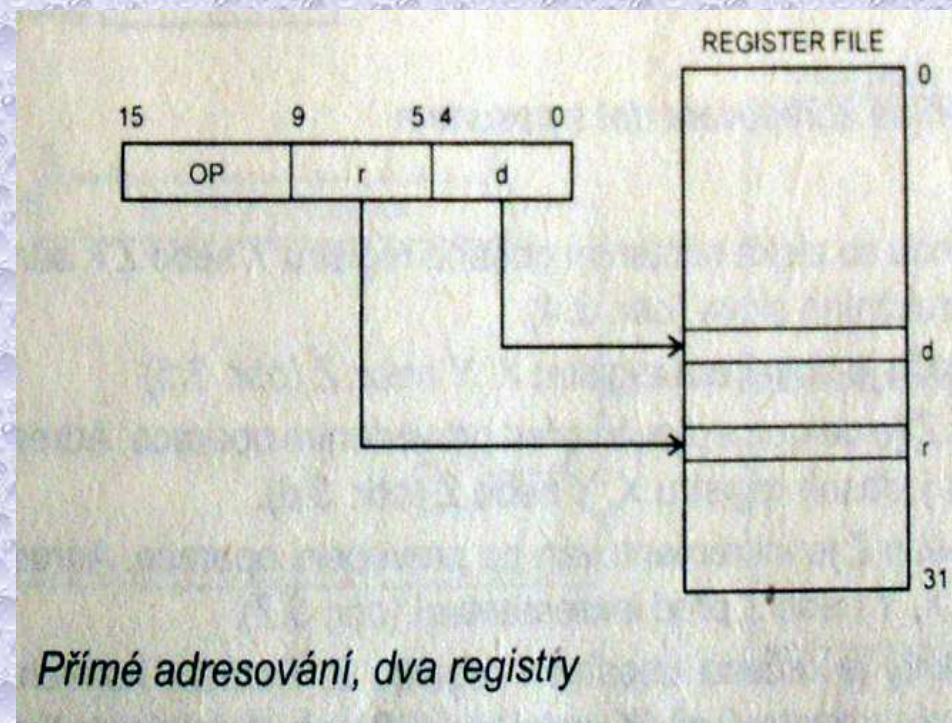
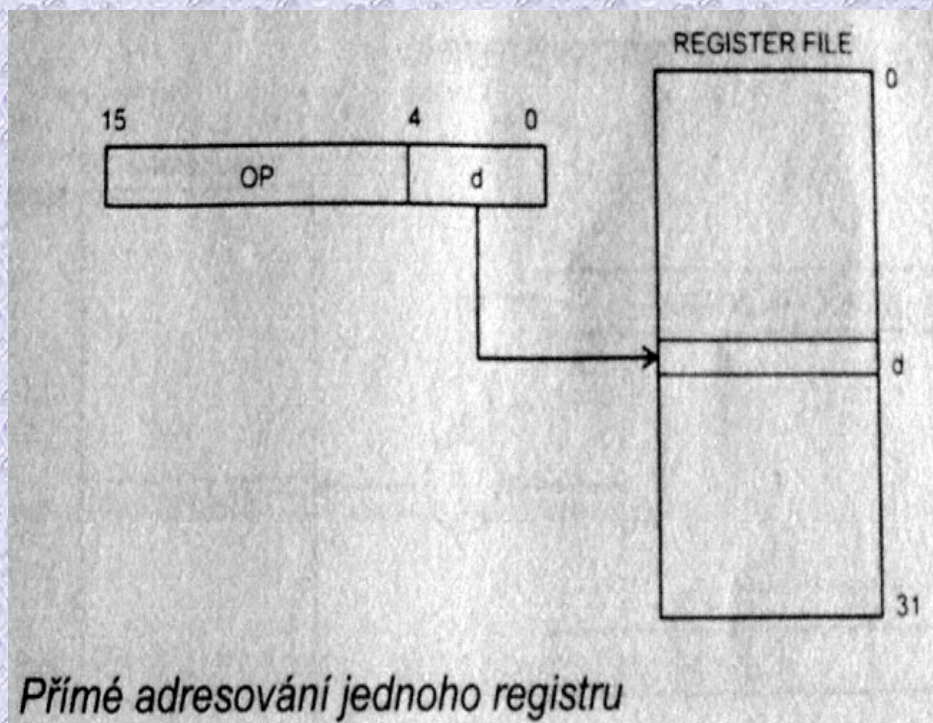
- Analogový komparátor – může se využít například pro méně přesný A/D převodník
- A/D převodník – ve většině MCU ATmega kombinace 10 bitový + 8 bitový převodník s několika přepínatelnými vstupy, s možností omezení šumu
- Přerušovací systém (Interrupts)  
Adresy vektorů přerušení (pomocí kterých se přerušení obsluhuje) jsou uspořádány za sebou od začátku paměťového prostoru.  
Jejich počet a funkce závisí na dostupných perifériích daného MCU.

# Ukázka vektorů přerušení a jejich umístění pro ATmega8

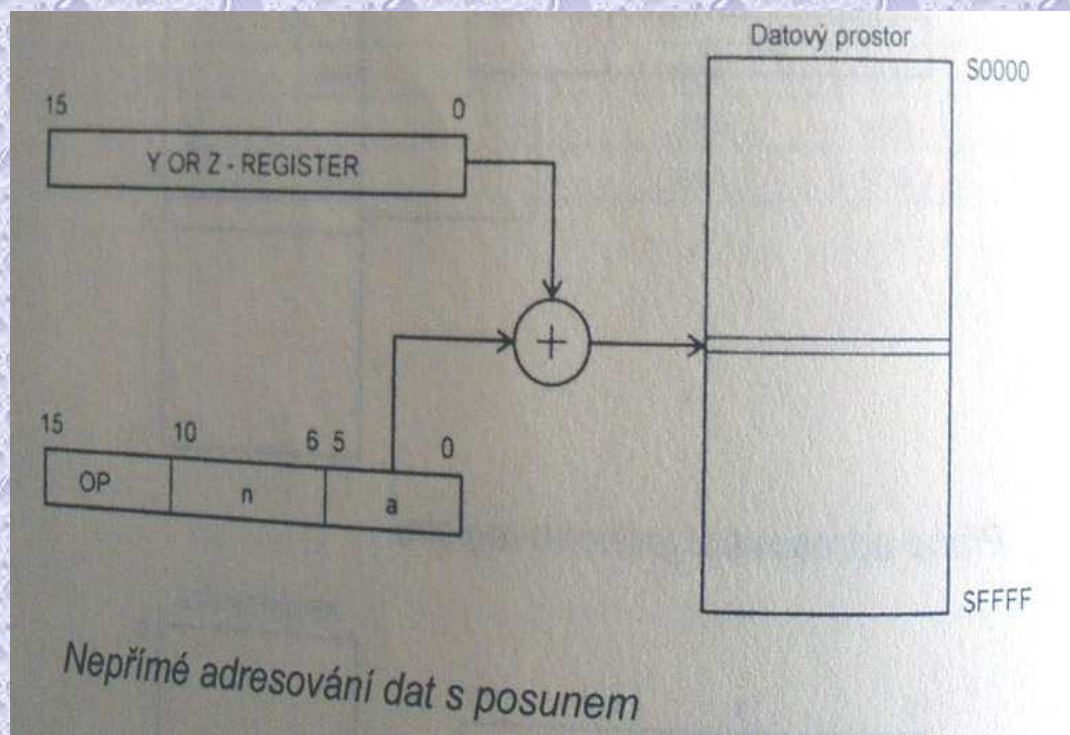
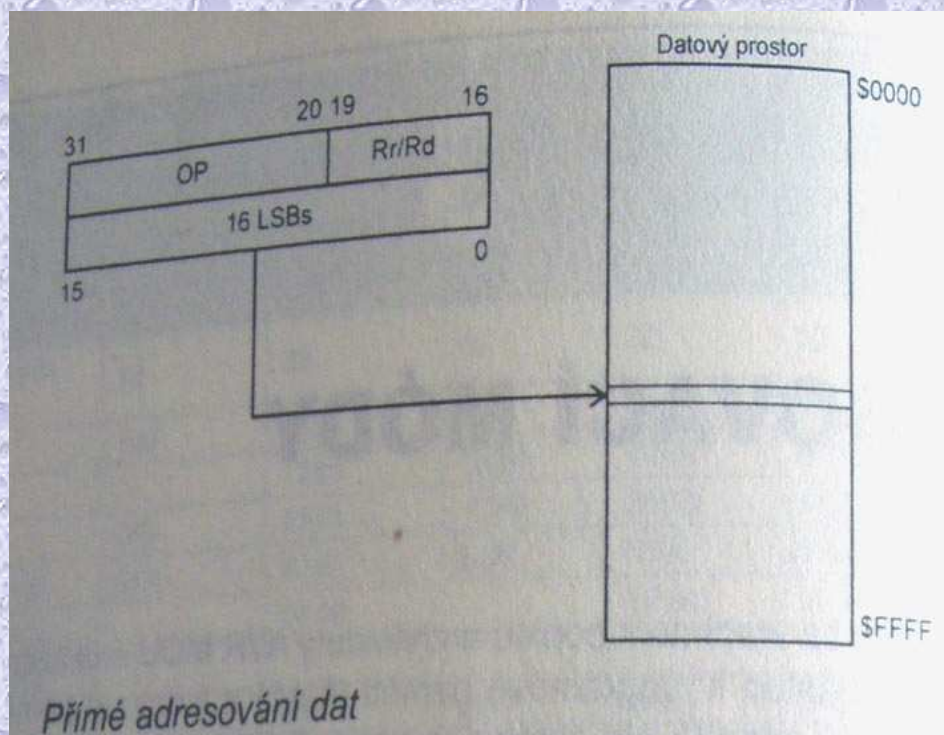
Vector No.	Program Address <sup>(2)</sup>	Source	Interrupt Definition
1	0x000 <sup>(1)</sup>	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, and Watchdog Reset
2	0x001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x003	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
5	0x004	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
6	0x005	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
7	0x006	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
8	0x007	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
9	0x008	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
10	0x009	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
11	0x00A	SPI, STC	Serial Transfer Complete
12	0x00B	USART, RXC	USART, Rx Complete
13	0x00C	USART, UDRE	USART Data Register Empty
14	0x00D	USART, TXC	USART, Tx Complete
15	0x00E	ADC	ADC Conversion Complete
16	0x00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	0x010	ANA_COMP	Analog Comparator
18	0x011	TWI	Two-wire Serial Interface
19	0x012	SPM_RDY	Store Program Memory Ready



# Adresovací módy pro přístup k programové a datové paměti

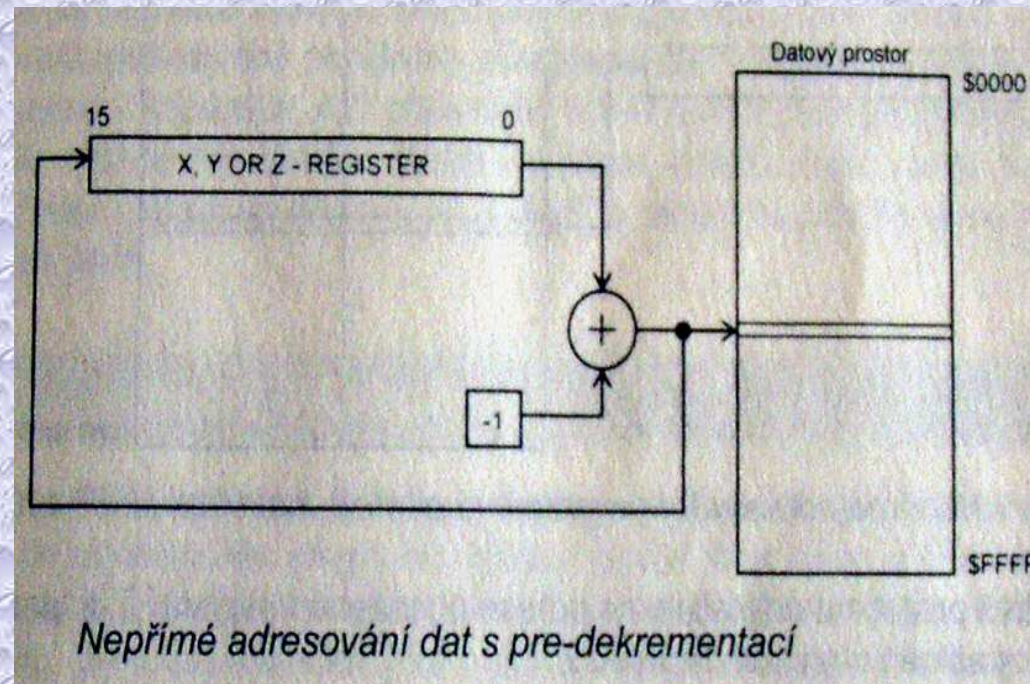
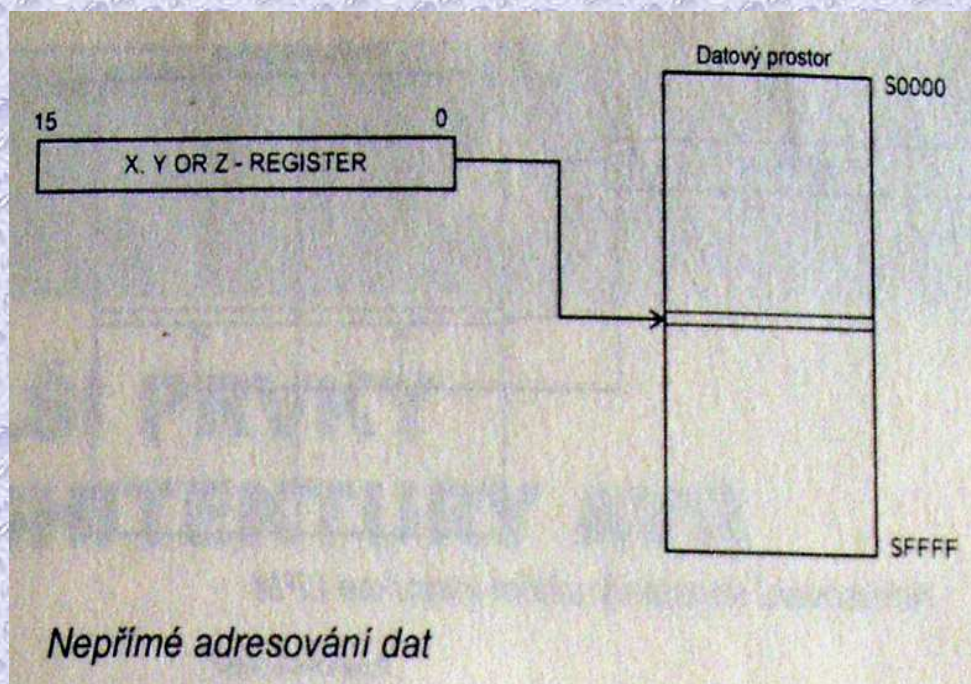


# Adresovací módy pro přístup k programové a datové paměti



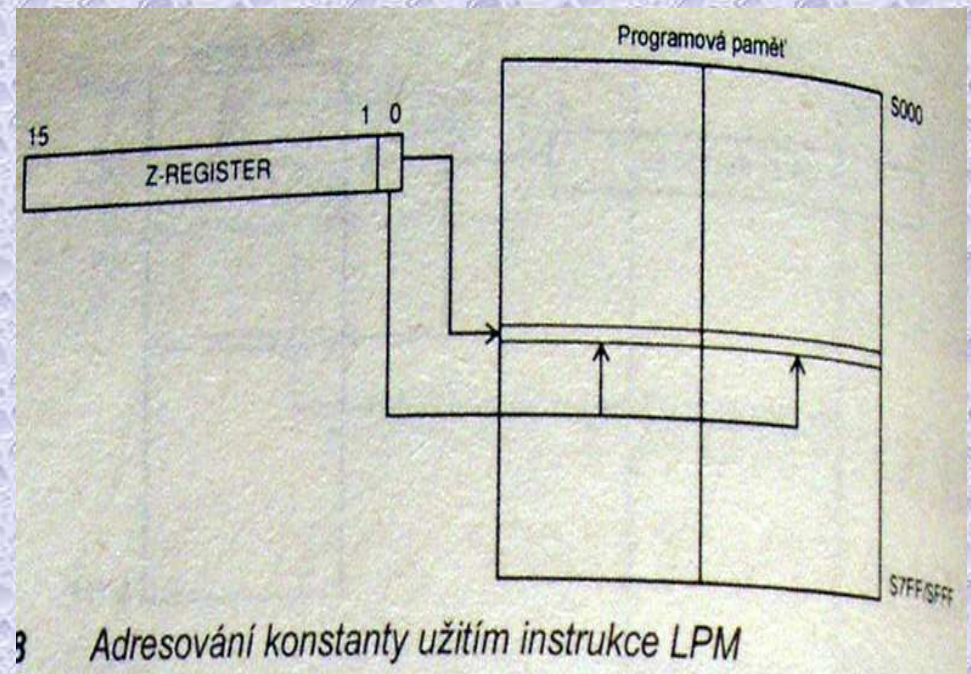
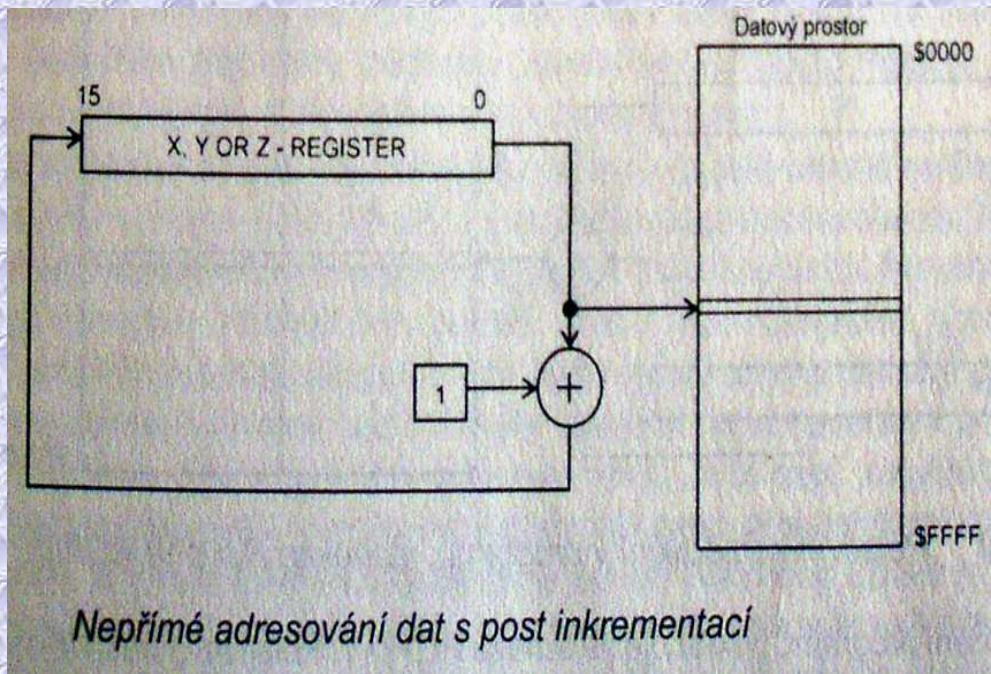


# Adresovací módy pro přístup k programové a datové paměti



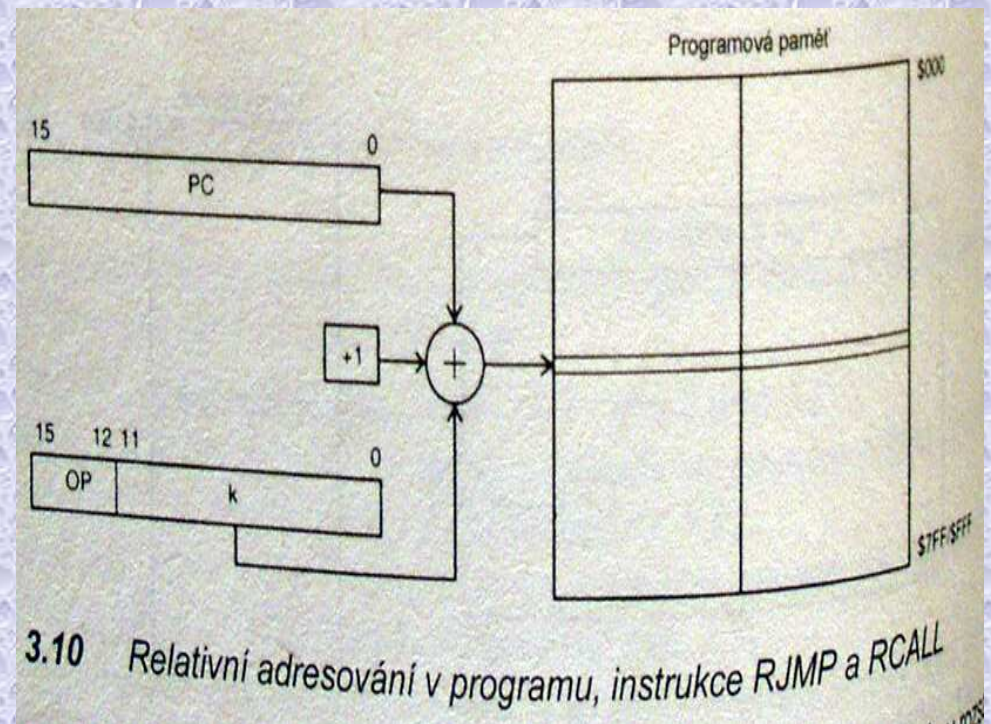
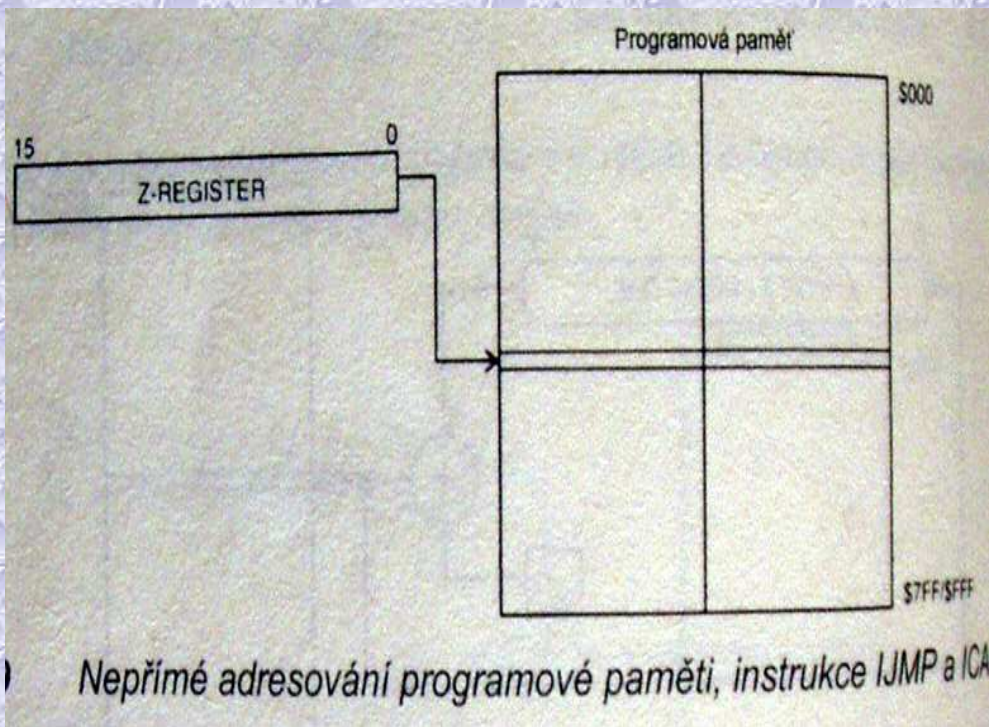


# Adresovací módy pro přístup k programové a datové paměti





# Adresovací módy pro přístup k programové a datové paměti





# Přehled vyráběných typů MCU ATmega

Device/s	Flash (Kbytes)	EEPROM (Kbytes)	SRAM (Bytes)	Max I/O Pins	F.max (MHz)	Vcc (V)	16-bit Timers	8-bit Timer	PWM (channels)	RTC	SPI	UART	TWI	ISP	10-bit A/D (channels)	Analog Comparator	Brown Out Detector	Watchdog	On Chip Oscillator	Hardware Multiplier	Interrupts	Ext Interrupts	Self Program Memory	Packages
AT90PWM2	8	0.5	512	19	16	2.7-5.5	1	1	7	Yes	Yes	Yes		Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		4	Yes	row SOIC 24
AT90PWM3	8	0.5	512	19	16	2.7-5.5	1	1	10	Yes	Yes	Yes		Yes	11	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		4	Yes	
ATmega128	128	4	4096	53	16	2.7-5.5	2	2	8	Yes	1	2	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	34	8	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega1280	128	4	8192	86	16	1.8-5.5	4	2	12	Yes	1	4	Yes	Yes	16	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	57	32	Yes	TQFP 100
ATmega1281	128	4	8192	51	16	1.8-5.5	4	2	6	Yes	1	2	Yes	Yes	16	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	57	32	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega16	16	0.5	1024	32	16	2.7-5.5	1	2	4	Yes	1	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	20	3	Yes	MLF 44 PDIP 40 TQFP 44
ATmega162	16	0.5	1024	35	16	1.8-5.5	2	2	4	Yes	1	2		Yes		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	28	3	Yes	MLF 44 PDIP 40 TQFP 44
ATmega165	16	0.5	1024	54	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	23	17	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega168	16	0.5	1024	23	20	1.8-5.5	1	2	3	Yes	1+USART	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	26	26	Yes	MLF 32 PDIP 28 TQFP 32
ATmega169	16	0.5	1024	53	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1		Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	23	17	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega2560	256	4	8192	86	16	1.8-5.5	4	2	12	Yes	1	4	Yes	Yes	16	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	57	32	Yes	TQFP 100
ATmega2561	256	4	8192	51	16	1.8-5.5	4	2	6	Yes	1	2	Yes	Yes	16	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	57	32	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega32	32	1	2048	32	16	2.7-5.5	1	2	4	Yes	1	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	19	3	Yes	MLF 44 PDIP 40 TQFP 44
ATmega325	32	1	2048	53	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	23	17	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega3250	32	1	2048	68	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	32	17	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega329	32	1	2048	53	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1		Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	25	17	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega3290	32	1	2048	68	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1		Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	25	32	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega406	40	0.512	2048	18	1	4-25	1	1	1	Yes			Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	23	4	Yes	LQFP 48
ATmega48	4	0.256	512	23	20	1.8-5.5	1	2	3	Yes	1+USART	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	26	26	Yes	MLF 32 PDIP 28 TQFP 32
ATmega64	64	2	4096	53	16	2.7-5.5	2	2	8	Yes	1	2	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	34	8	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega640	64	4	8192	86	16	1.8-5.5	4	2	12	Yes	1+USI	4	Yes	Yes	16	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	57	32	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega645	64	2	4096	53	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	23	17	Yes	MLF 64 TQFP 64
ATmega6450	64	2	4096	68	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	32	17	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega649	64	2	4096	53	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1		Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	25	17	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega6490	64	2	4096	68	16	1.8-5.5	1	2	4	Yes	1+USI	1		Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	25	32	Yes	MLF 64 TQFP 64 TQFP 100
ATmega8	8	0.5	1024	23	16	2.7-5.5	1	2	3	Yes	1	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	18	2	Yes	MLF 32 PDIP 28 TQFP 32
ATmega8515	8	0.5	512	35	16	2.7-5.5	1	1	3		1	1		Yes			Yes	Yes	Yes	Yes	16	3	Yes	MLF 44 PDIP 40 PLCC 44 TQFP 44
ATmega8535	8	0.5	512	32	16	2.7-5.5	1	2	4		1	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	20	3	Yes	MLF 44 PDIP 40 PLCC 44 TQFP 44
ATmega88	8	0.5	1024	23	20	1.8-5.5	1	2	3	Yes	1+USART	1	Yes	Yes	8	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	26	26	Yes	MLF 32 PDIP 28 TQFP 32

Originální tabulka výrobce



# Podpora vývoje aplikací

- Díky ISP snadné programování přímo ve vyvíjené aplikaci pomocí jednoduchého programátoru
- Od MCU Mega16 je implementováno univerzální programovací a ladící rozhraní JTAG
- K dispozici jsou různé vývojové desky od různých výrobců

## Software

- AVR studio
  - **Zdarma ke stažení na [www.atmel.com](http://www.atmel.com)**
  - **Integrované vývojové prostředí (Simulátor, debugger, programátor)**
  - **Assembler zdarma**
- WinAvr
  - **Zdarma ke stažení na [www.avrfreaks.net](http://www.avrfreaks.net)**
  - **Programátor, simulátor, překladač C**

# Zajímavé odkazy

- <http://www.atmel.com/products/avr/>  
Oficiální stránky výrobce  
Datasheety, aplikační zprávy + mnoho dalšího
- <http://www.avrfreaks.net/>  
Po zaregistrování mnoho projektů, příkladů a přídavných knihoven (např. ovládání znakových a grafických displejů a mnoho dalších) z různých oblastí použití
- <http://www.avr-forum.com/>  
projekty, knihovny a podpora vývojáře
- <http://www.mcu.cz>
- <http://www.hw.cz/>  
české stránky nejen o mikrokontrolérech a jejich programování



# Použitá literatura

- Vladimír Váňa, Mikrokontroléry Atmel AVR, Ben 2003
- Burkhard Mann, C pro mikrokontroléry, Ben 2003
- Různé internetové stránky, viz. výše