

**Univerzita Hradec Králové**  
**Fakulta informatiky a managementu**  
**Katedra informačních technologií**

**Historie procesorů**

Bakalářská práce

Autor: Dominik Búzik  
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: prof. RNDr. Peter Mikulecký, PhD.

Hradec Králové

duben 2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 27.4.2020

Dominik Búzik

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. RNDr. Peterovi Mikuleckému, PhD. za metodické vedení práce, cenné rady, připomínky a poskytnutí vhodných studijních materiálů.



## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá tématem mikroprocesorů, a to konkrétně historií jejich vývoje. V teoretické části jsou popsány základní pojmy v oblasti mikroprocesorů, koncepty rozdělení počítačů a historický vývoj mikroprocesorů. Praktická část této bakalářské práce spočívá v provedení testu několika procesorů dvou nejvýznamnějších výrobců. Tato část zahrnuje představení testovacího programu, využitých testů a samotných procesorů. Výsledky testů těchto procesorů jsou graficky zpracovány, porovnány a zhodnoceny.

## **Annotation**

### **Title: History of microprocessors**

The Bachelor Thesis deals with the topic of microprocessors, namely the history of their development. In the theoretical part the author describes basic terms in the area of microprocessors, concepts of computer architectures and historical development of microprocessors. The practical part of this Bachelor Thesis aims to test several processors of two major manufacturers. This section includes an overview of the testing software, the tests used, and the processors themselves. Test results of these processors are graphically processed, compared and evaluated.

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Základní pojmy a architektury.....	2
2.1	Architektury.....	2
2.1.1	Von Neumannova architektura.....	2
2.1.2	Harvardská architektura.....	3
2.2	Základní pojmy.....	4
2.2.1	Patice procesoru.....	4
2.2.2	Frekvence procesoru.....	5
2.2.3	Šířka slova.....	6
2.2.4	Šířka přenosu dat.....	6
2.2.5	Registry.....	6
2.2.6	Interní vyrovnávací paměť (cache).....	6
3	Vývoj procesorů.....	8
3.1	70. léta 20. století – první generace procesorů.....	9
3.1.1	Intel 4004 – 1971 – první procesor.....	9
3.1.2	Intel 8008 - 1972.....	9
3.1.3	Intel 8080 – 1974 – první samostatný procesor.....	10
3.1.4	Motorola 6800 – 1974.....	10
3.1.5	Fairchild F8 – 1975.....	11
3.1.6	Intersil 6100 – 1975.....	11
3.1.7	MOS Technology 6502 – 1975.....	12
3.1.8	TMS 9900 – 1976.....	12
3.1.9	Zilog Z80 – 1976.....	12
3.1.10	Intel 8086 – 1978 – první 16bitový procesor.....	13
3.1.11	Intel 8088 – 1979.....	13
3.1.12	Motorola 68000 - 1979.....	14
3.1.13	AMD Am2901 – 1979.....	14
3.2	80. léta 20. století.....	15
3.2.1	Intel 8087 - 1980.....	15

3.2.2	Intel 80186 - 1981.....	16
3.2.3	Intel 80286 - 1982.....	16
3.2.4	Intel 80386 - 1986.....	17
3.2.5	AMD 29000 - 1988.....	18
3.2.6	Intel 80486 - 1989.....	18
3.3	90. léta 20. století.....	20
3.3.1	DEC Alpha – 1992.....	20
3.3.2	AMD Am486 – 1993.....	20
3.3.3	Intel Pentium – 1993.....	20
3.3.1	Intel Pentium Pro – 1995.....	21
3.3.2	AMD Am5x86 – 1995.....	22
3.3.3	AMD-K5 – 1995.....	23
3.3.4	AMD-K6 – 1997.....	23
3.3.5	Intel Pentium II – 1997.....	24
3.3.6	AMD-K6-2 – 1998.....	25
3.3.7	Intel Pentium III - 1999.....	25
3.3.8	AMD Athlon K7 – 1999.....	26
3.4	21. století.....	27
3.4.1	AMD Athlon Thunderbird – 2000.....	27
3.4.2	Intel Pentium 4 – 2000.....	27
3.4.3	AMD Athlon XP – 2001.....	29
3.4.4	AMD K8 – 2003.....	30
3.4.5	Intel Core – 2006.....	31
3.4.6	AMD K10 – 2007.....	32
3.4.7	Intel Core ix série – 2008 až dodnes.....	33
3.4.8	AMD Bulldozer – 2011.....	36
3.4.9	AMD Zen – 2017 až dodnes.....	37
4	Typy procesorů – CISC, RISC.....	40
4.1	Architektura CISC.....	40
4.2	Architektura RISC.....	40

4.3	Další architektury – VLIW, MISC .....	41
5	Moorův zákon .....	43
5.1	Gordon E. Moore .....	43
5.2	Vznik Moorova zákona, aktuálnost .....	43
6	Možná budoucnost vývoje procesorů .....	45
6.1	Předpokládaný vývoj procesorů firem Intel a AMD.....	45
7	Testování procesorů .....	47
7.1	Testovací software.....	47
7.2	Zvolené výkonnostní testy.....	48
7.2.1	CPU Queen.....	48
7.2.2	CPU PhotoWorxx.....	48
7.2.3	CPU ZLib .....	48
7.2.4	CPU AES, SHA3.....	48
7.2.5	FPU Julia, Mandel.....	49
7.2.6	FP32/64 Ray-Trace.....	49
7.3	Testované procesory a sestavy .....	49
7.3.1	AMD Ryzen 5 2600X.....	49
7.3.2	AMD Ryzen 5 1600.....	50
7.3.3	Intel Core i5 9600K.....	50
7.3.4	Intel Core i5 7400 .....	51
7.4	Výsledky testování.....	52
7.4.1	Výsledky testu CPU Queen .....	52
7.4.2	Výsledky testu CPU PhotoWorxx.....	52
7.4.3	Výsledky testu CPU ZLib .....	53
7.4.4	Výsledky testů CPU AES, SHA3.....	54
7.4.5	Výsledky testů FPU Julia, Mandel .....	55
7.4.6	Výsledky testů FP32/64 Ray-Trace.....	56
7.5	Shrnutí výsledků.....	57
8	Závěr.....	59
9	Seznam použité literatury.....	60



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma von Neumannovy architektury .....	2
Obrázek 2: Schéma Harvardské architektury .....	3
Obrázek 3: Socket478 .....	4
Obrázek 4: Socket LGA1150 na desce ASUS Z87 DELUXE .....	5
Obrázek 5: Procesor Intel C4004 .....	9

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry procesoru AMD Ryzen 5 2600X .....	50
Tabulka 2: Parametry procesoru AMD Ryzen 5 1600 .....	50
Tabulka 3: Parametry procesoru Intel Core i5 9600K .....	51
Tabulka 4: Parametry procesoru Intel Core i5 7400 .....	51

## Seznam grafů

Graf 1: Výsledky testu CPU Queen .....	52
Graf 2: Výsledky testu CPU PhotoWorxx .....	53
Graf 3: Výsledky testu CPU ZLib .....	53
Graf 4: Výsledky testu CPU AES .....	54
Graf 5: Výsledky testu CPU SHA3 .....	55
Graf 6: Výsledky testů FPU Julia a FPU Mandel .....	56
Graf 7: Výsledky testů FP32 a FP64 Ray-Trace .....	57

# 1 Úvod

Počítače se staly neodmyslitelnou součástí každodenního života. Jsou prostředkem k práci, studiu či zábavě. Skládají se z mnoha komponent, jednou z hlavních je výpočetní jednotka – mikroprocesor či zkráceně procesor. Spolu s počítači procházely procesory postupným vývojem až do stavu, v jakém je známe dnes. Z původně velice drahých součástek sloužících k jednomu účelu se podařilo několika firmám vyvinout procesory až do stavu, kdy se nacházejí ve velkém množství běžných zařízení.

Cílem této bakalářské práce je přehlednou formou představit tuto historii vývoje procesorů. Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. V první, teoretické části bude čtenář seznámen se základními pojmy, vlastnostmi a dělením procesorů, jejich postupným vývojem od prvního procesoru až po současnou architekturu. Dále bude představen možný budoucí vývoj procesorů. V druhé, praktické části bude představen testovací program a jednotlivé testy, které budou pro testování využity. Také budou představeny jednotlivé procesory vybrané k testování. Následně bude provedeno samotné testování. Na závěr budou výsledky testů porovnány a zhodnoceny.

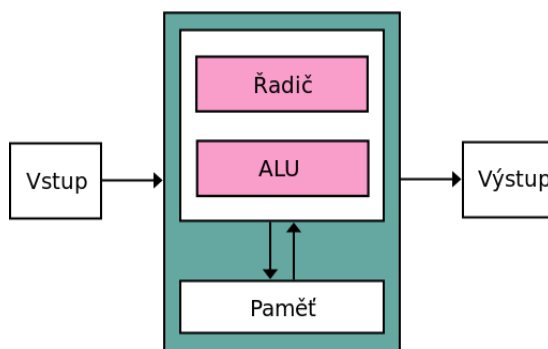
## 2 Základní pojmy a architektury

Mikroprocesor, označovaný též jako procesor či CPU<sup>1</sup> je počítačový čip, jehož hlavním úkolem je zpracovávání programu ve formě instrukcí. Dle těchto zpracovaných instrukcí následně ovládá zbytek počítače a produkuje výstupy. Tento počítačový čip se v současné době skládá z několika miliard miniaturních tranzistorů umístěných na ploše pouhých jednotek cm<sup>2</sup>.

### 2.1 Architektury

#### 2.1.1 Von Neumannova architektura

Tuto architekturu představil v roce 1945 John von Neumann. Von Neumannova architektura popisuje počítač, který má k dispozici jednu paměť sdílenou pro instrukce a data. Je založena na myšlence, že počítač zpracovává data programem, který je sám o sobě reprezentován daty. Programy lze tedy měnit, a tím lze měnit i funkce počítače. Nevýhodou této architektury je nemožnost současného přístupu k datům a instrukcím, což má vliv na výkon systému. [4]



Obrázek 1: Schéma von Neumannovy architektury

Zdroj: [5]

Jak je z obrázku [5] patrné, von Neumannova architektura se skládá z pěti částí:

1. ALU (aritmeticko-logická jednotka) – jednotka provádějící všechny aritmetické a logické výpočty.

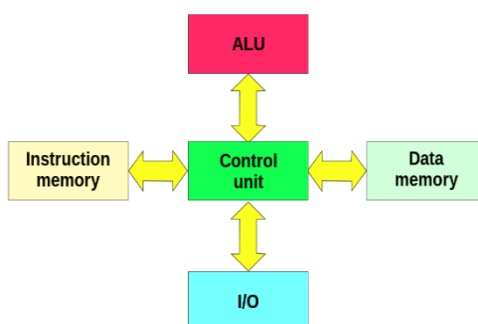
---

<sup>1</sup> Central Processing Unit

2. Řadič – elektronická řídicí jednotka, která pomocí řídicích signálů řídí činnost všech ostatních komponent počítače. Spolu s ALU je řadič jedna ze základních komponent procesoru.
3. Paměť – paměť uchovává data, program a výsledky výpočtů.
4. Vstup – zařízení určené pro vstup programu a dat. Toto zařízení může být například klávesnice, myš či úložné zařízení (např. flash disk, CD, DVD).
5. Výstup – Slouží k výstupu výsledků programu. Toto zařízení může být například monitor či tiskárna.

### 2.1.2 Harvardská architektura

Harvardská architektura, na rozdíl od von Neumannovy, pracuje s oddělenými paměťmi pro instrukce a pro data. Tyto paměti mají k dispozici vlastní sběrnice, díky kterým lze přistupovat současně k oběma paměťem. Proto zde nedochází ke zpomalování běhu programu v porovnání s von Neumannovou architekturou, neboť není nutné čekat na dokončení operací s paměťmi. [6]



**Obrázek 2: Schéma Harvardské architektury**

Zdroj: [7]

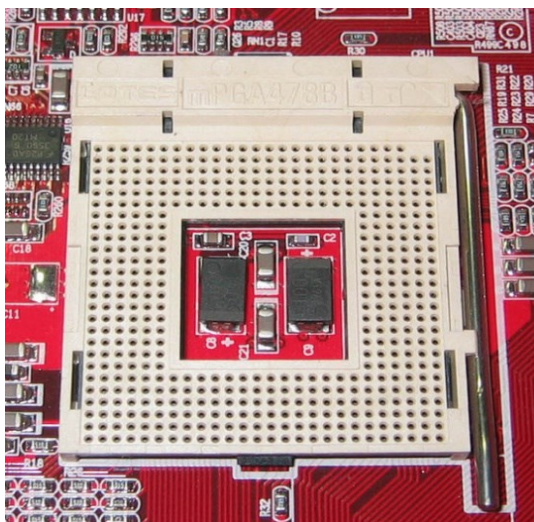
Hlavní rozdíl mezi Harvardskou a von Neumannovou architekturou je v použití paměti. V případě von Neumannovy architektury je použita jedna paměť jak pro program, tak pro data, což může vést ke snížení výkonu v případě, že se při vykonávání programu musí čekat na čtení/zápis dat do paměti. Harvardská architektura má pro program a data samostatné paměti a samostatné sběrnice, proto tento problém odpadá. [8]

## 2.2 Základní pojmy

### 2.2.1 Patice procesoru

Patice procesoru, nebo také socket, je typ konektoru sloužící pro připojení procesoru k základní desce. Pro instalaci procesoru jej stačí vložit do patice a uzamknout jej do pozice zámkem. Tento zámek zajišťuje procesor tak, aby vždy zůstal na správném místě a tím bylo zajištěno jeho správné připojení k základní desce. Výjimku tvoří patice typu Slot, která zámek nemá. V současné době rozdělujeme patice dle umístění pinů:

- **PGA<sup>2</sup>** - Patice typu PGA je složena z otvorů. Procesor má na své spodní straně rozmístěné desítky pinů, které přesně pasují do otvorů na patici.



**Obrázek 3: Socket478**

Zdroj: [9]

---

<sup>2</sup> Pin Grid Array

- **LGA<sup>3</sup>** - Patice typu LGA je složena z pinů. Na procesoru se nacházejí kontaktní plošky, které se po instalaci procesoru dotýkají pinů na patici.



**Obrázek 4: Socket LGA1150 na desce ASUS Z87 DELUXE**

Zdroj: [10]

Velmi často se v současné době lze setkat také s připojením procesorů pomocí BGA<sup>4</sup>. Tento způsob slouží k pevnému připojení procesoru k základní desce, velmi často je využíván v mobilních zařízeních. Na spodní straně procesoru jsou kontakty uspořádané do mřížky. Na tyto kontakty jsou nanесeny cínové kuličky, které po připájení zajišťují kontakt mezi procesorem a základní deskou.

Dříve se pro připojení procesorů používala patice typu Slot. Procesor kompatibilní s tímto typem patice byl umístěn na desce, která se do této patice zasunula. Vzhledem velice připomínala PCI<sup>5</sup> slot.

## 2.2.2 Frekvence procesoru

Frekvence procesoru určuje počet operací, které je procesor schopen vykonat za jednu sekundu. [1] Frekvence procesoru se udává v Hz (hertzech). Dříve byly

---

<sup>3</sup> Land Grid Array

<sup>4</sup> Ball Grid Array

<sup>5</sup> Peripheral Component Interconnect

základní desky navrhovány tak, aby pracovaly se stejnou frekvencí jako samotný procesor. S postupným zvyšováním frekvence procesorů ale toto již nebylo možné, proto byl zaveden násobič frekvence. Tento násobič umožnil procesoru, aby byl schopen pracovat na vyšší frekvenci, než s jakou pracovala základní deska. Tím došlo k rozdělení frekvencí na dva typy:

- **Vnitřní frekvence** – frekvence, se kterou pracuje samotný procesor, je mnohem vyšší než frekvence ostatních částí základní desky. Dnešní procesory pracují na vnitřní frekvenci udávané v jednotkách GHz. [1]
- **Vnější frekvence** – frekvence, na které probíhají vnější instrukce, například ukládání do paměti. Udává se v MHz. [1]

### 2.2.3 Šířka slova

Šířka slova určuje, jaké největší číslo je možné zpracovat v rámci jedné operace. [1] Podle šířky slova procesoru se odvozuje šířka registrů. Šířka slova bývá 8, 16, 32 nebo 64 bitů.

### 2.2.4 Šířka přenosu dat

Šířka přenosu dat určuje, kolik bitů je možné najednou přenést z/do procesoru. Udává se stejně jako šířka slova v bitech a je dána velikostí datové sběrnice procesoru. [2]

### 2.2.5 Registry

Registr je vnitřní paměť uvnitř procesoru, do které se ukládají mezivýsledky jeho činnosti. Tato paměť je velice rychlá s velmi malou přístupovou dobou v jednotkách nanosekund.

### 2.2.6 Interní vyrovnávací paměť (cache)

Interní vyrovnávací paměť cache je malá, velmi rychlá paměť integrovaná přímo do procesoru. Slouží pro dočasné ukládání těch dat, u kterých se předpokládá, že je procesor v nejbližší době použije. Tato paměť je oproti paměti RAM výrazně

rychlejší. Díky tomu se zvyšuje výkon procesoru, neboť nemusí čekat na zápis/čtení dat. [1]

Vyrovnávací paměť byla zavedena z důvodu zvětšování rozdílu mezi rychlostí procesorů a pamětí. Dělí se do několika úrovní, podle velikosti a rychlosti přístupu. Do této paměti se na základě jistých algoritmů určují data, která bude procesor pro nejbližší operaci potřebovat. Tato data se ukládají do nejrychlejší úrovně paměti – L1. Pokud procesor potřebuje data jiná, než byla uložena do L1, přistoupí do pomalejší, ale větší paměti L2. Pokud ani zde potřebná data nenalezne, pokračuje v hledání v paměti L3. Pokud je v procesoru přítomna paměť L4 a data stále nebyla nalezena, prohledá i tuto, jinak přistupuje k paměti RAM. [3]

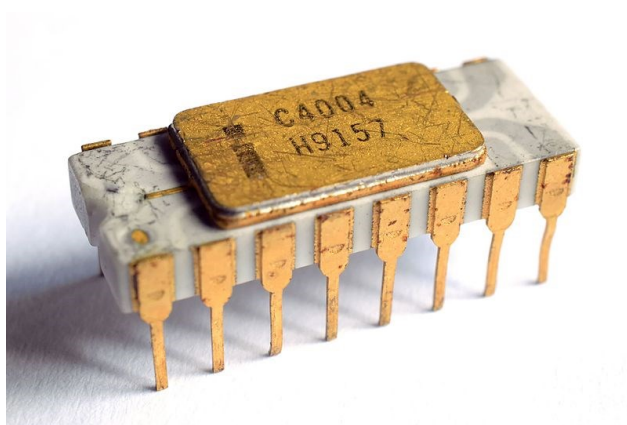


### 3 Vývoj procesorů

Historie vzniku procesoru začíná u vynalezení tranzistoru, který v roce 1947 spolu se dvěma kolegy vynalezl William B. Shockley. V roce 1955 založil firmu na výrobu polovodičů Shockley Semiconductor Laboratories. Za využití principů a materiálů pro výrobu tranzistoru se později podařilo vyvinout další elektrosoučástky, jako jsou odpory či kondenzátory. [11] V roce 1957 odešlo ze Shockleyho firmy osm výzkumníků (mezi nimi byl i Gordon Moore), kteří založili firmu Fairchild Semiconductor. V roce 1958 Robert Noyce z firmy Fairchild Semiconductor, spolu s Jackem Kilbym vyvinuli technologii pro vytváření vodivých cest mezi jednotlivými miniaturizovanými elektrosoučástkami za pomoci nanášení jednotlivých kovových vrstev na materiál s těmito součástkami. Tímto byl vynalezen integrovaný obvod. [12] Postupnou miniaturizací těchto elektrosoučástek bylo možné dosáhnout integrace stovek součástek, jako jsou tranzistory, diody či rezistory na jediný čip velmi malých rozměrů. V roce 1968 Gordon Moore spolu s Robertem Noycem odešli z Fairchild Semiconductor a založili vlastní firmu na vývoj a výrobu integrovaných obvodů, kterou nazvali Intel Corporation. [13] Později, v roce 1969 firmu Intel oslovila japonská Nippon Calculating Machine Corporation s žádostí o návrh a výrobu sady čipů pro jejich nový kalkulátor. Intel navrhl sadu čtyř čipů nazvanou MCS-4. Součástí této sady byla také centrální výpočetní jednotka s názvem 4004. V roce 1971 společnost Intel odkoupila práva na tuto sadu čipů a začala ji prodávat pod názvem Intel 4004. Tímto se stal Intel 4004 prvním prodávaným procesorem na světě. [15]

### **3.1 70. léta 20. století – první generace procesorů**

#### **3.1.1 Intel 4004 – 1971 – první procesor**



**Obrázek 5: Procesor Intel C4004**

Zdroj: [14]

První procesor představila firma Intel v roce 1971 pod názvem Intel 4004. Tento procesor byl původně vyvinut jako součást sady MCS-4 pro firmu Nippon Calculating Machine Corporation, zabývající se výrobou kancelářských kalkulaček. Intel odkoupil práva na tento procesor a 15. listopadu 1971 jej uvedl na trh. [15] Tento procesor byl čtyřbitový, jednojádrový s maximálním taktem jádra 740 kHz. Byl složen ze 2300 tranzistorů, pouzdro bylo vyrobeno z CerDIP materiálu s 16 vývody. [16] Procesor byl vyroben 10 $\mu$ m výrobním procesem [16] a jeho instrukční set byl složen ze 46 instrukcí. [17] Jelikož procesor přistupoval ke dvěma druhům paměti – paměti programu a paměti pro data, lze usoudit, že byl harvardské architektury. [18] Intel 4004 našel uplatnění v mnoha oblastech, například pro řízení semaforů v dopravě či v pokladních systémech. [19]

#### **3.1.2 Intel 8008 - 1972**

Pět měsíců po představení Intel 4004 vydala firma Intel první osmibitový procesor – Intel 8008. Tento procesor byl dostupný ve dvou verzích – 500 kHz a 800 kHz – procesor s vyšší frekvencí byl značen jako 8008-1. Podporoval adresaci až 16 kB paměti a také byl schopen obsloužit přerušení. [20] Procesor byl vyroben 10 $\mu$ m výrobním procesem a pouzdro bylo vyrobeno z CerDIP materiálu s 18 vývody.

Stejně jako Intel 4004 byl i tento procesor součástí sady čtyř čipů. Tento procesor se skládal ze 3500 tranzistorů. Disponoval sedmi registry – osmibitovým akumulátorem A šesti osmibitovými registry B, C, D, E, H a L. Registry L a H byly využity jako ukazatele do paměti. Procesor 8008 nepodporoval přímou adresaci do paměti, proto přistupoval do paměti pomocí registrů L a H. [21]

### **3.1.3 Intel 8080 – 1974 – první samostatný procesor**

V roce 1974 Intel vydal nástupce procesoru 8008 – Intel 8080. Tento osmibitový procesor přinesl mnoho vylepšení – například navýšení limitu adresovatelné paměti ze 16 kB na 64 kB, přímou adresaci do paměti a podporu až 256I/O portů. Skládal se z 4500 tranzistorů a jeho taktovací frekvence byla 2 MHz. Intel 8080 disponoval, stejně jako jeho předchůdce, sedmi osmibitovými registry. I v této oblasti byl ale tento procesor vylepšen – registry B a C mohly být použity jako 16bitový registr BC, totéž platí pro dvojice registrů D, E a H, L. Registr HL byl používán pro adresaci paměti. Tento procesor byl velice populární, mnoho společností vyrábělo jeho klony, v Československu byl vyráběn pod názvem Tesla MHB8080A. [22] Intel 8080 byl na rozdíl od jeho předchůdců, vyráběných v sadách, vyráběn jako samostatně funkční celek. Byl schopen až 290000 operací za sekundu neboli 0,29 MIPS<sup>6</sup>, což je asi desetkrát více než výkon Intelu 8008. Byl také použit v prvním komerčně úspěšném osobním počítači Altair 8800 společnosti MITS. [23]

### **3.1.4 Motorola 6800 – 1974**

Osmibitový procesor Motorola 6800 byl představen ve stejném roce jako Intel 8080. Tento procesor disponoval minimem registrů - pouze dvěma osmibitovými akumulátory, 16bitovým indexovým registrem, ukazatelem zásobníku, čítačem instrukcí a příznaky. Kvůli nedostatku registrů pracoval procesor Motorola intenzivně s pamětí, na rozdíl od Intelu, který většinou prováděl operace mezi akumulátorem a některým z registrů. Na rozdíl od Intelu 8080, který vyžadoval tři napájecí napětí (+5 V, -5 V a 12 V), procesor Motorola 6800 vyžadoval pouze 5 V. Taktovací frekvence tohoto procesoru dosahovala až 1 MHz, pozdější verze

---

<sup>6</sup> Million Instructions Per Second

dosahovaly až 2 MHz. Tento procesor podporoval přímou adresaci, 64 kB paměti a disponoval 72 instrukcemi. [24]

### **3.1.5 Fairchild F8 – 1975**

Fairchild F8 je dostupný procesorový systém, takzvaný mikrokontroler, vydaný firmou Fairchild Semiconductor. Skládal se z osmibitového procesoru značeného jako 3850 a PSU<sup>7</sup> značeného jako 3851. Procesor obsahoval 64 bytů paměti RAM, aritmeticko-logickou jednotku a také procesorové „hodiny“, které obvykle bývaly implementovány jako podpůrná jednotka. Podporoval 76 instrukcí a jeho taktovací frekvence se pohybovala mezi 1 MHz až 2 MHz. PSU obsahovala 1 kB paměti ROM pro programy a potřebné čítače. I/O operace měl na starosti procesor, o přístup do paměti se starala PSU. Systém bylo možné rozšířit o další PSU. Tento systém byl inovativní díky snaze o integraci více funkcí do dvou čipů. Fairchild F8 postupně procházel řadou vylepšení, v poslední fázi vývoje byly všechny funkce vylepšeny a integrovány do jednoho čipu. [25]

### **3.1.6 Intersil 6100 – 1975**

V roce 1975 byl na trh uveden jeden z velmi mála 12bitových procesorů Intersil 6100. Tento procesor byl vyvinut pro minipočítač PDP-8 firmy Digital Equipment Corporation (zkráceně DEC). Disponoval 12bitovou adresní sběrnici, což znamenalo, že bylo možné adresovat pouze 4 kB paměti RAM. Další nevýhodou tohoto procesoru byla absence zásobníku, což znamenalo, že při spuštění podprogramu bylo nutné uložit návratovou pozici do paměti programu. Obsahoval celkem tři 12bitové registry – čítač instrukcí, který měl za úkol ukazovat do paměti na následující instrukci, akumulátor pro aritmetické a logické operace a MQ registr, který sloužil jako dočasné úložiště. První verze běžela na taktovací frekvenci 4 MHz, později byly vydané verze A s frekvencí 8 MHz a verze C s frekvencí 3,3 MHz. [26]

---

<sup>7</sup> Program Storage Unit

### **3.1.7 MOS Technology 6502 – 1975**

Procesor MOS 6502 byl v roce 1975 vyvinut firmou MOS Technology jako levná, avšak výkonná konkurence procesorů firem Intel a Motorola. Tento osmibitový procesor se skládal ze 4300 tranzistorů a byl navržen pro použití s maximálním taktem 2 MHz, při testování však procesor dokázal pracovat i s taktem dvojnásobným. Běžná pracovní frekvence byla 1 MHz. [27] Procesor obsahoval 56 instrukcí, 16bitovou adresní sběrnici a disponoval osmibitovým akumulátorem, dvěma osmibitovými indexovými registry X a Y, 16bitovým čítačem instrukcí a osmibitovým ukazatelem do zásobníku. [28] Procesor MOS 6502 se stal velmi slavným díky jeho ceně – prodával se za 25 \$, zatímco Intel i Motorola prodávala své procesory za cenu skoro 200 dolarů. Firma MOS Technology svou cenovou politikou donutila konkurenci k výraznému snížení cen, a tím i zvýšení dostupnosti procesorů veřejnosti. Druhým důvodem jeho slávy bylo použití tohoto procesoru a jeho pozdějších verzí v několika převratných zařízeních, jako byly počítače Apple I a II, Commodore 64, Atari 2600 či v herním systému firmy Nintendo. [29]

### **3.1.8 TMS 9900 – 1976**

Procesor TMS 9900 byl jeden z prvních 16bitových procesorů vydaný firmou Texas Instruments. Pracoval na taktovací frekvenci 3 MHz, měl k dispozici 16 registrů a měl 16bitový adresový prostor – byl schopen adresovat 64 kB paměti. [30] Nebyl příliš úspěšný – hlavně kvůli malému adresnímu prostoru, který byl stejně velký jako u osmibitových procesorů. Byl použit v prvním 16bitovém osobním počítači TI-99/4 firmy Texas Instruments. [31]

### **3.1.9 Zilog Z80 – 1976**

Procesor Zilog Z80 byl vyvinut v roce 1976 bývalými inženýry firmy Intel jako vylepšení procesoru Intel 8080. Tento osmibitový procesor obsahoval kromě vlastních instrukcí také všechny instrukce obsažené v procesoru 8080. Obsahoval 16bitovou adresovou sběrnici a byl schopen adresovat až 64 kB paměti. Disponoval šesti osmibitovými registry B, C, D, E a H s možností sdružení dvojic pro vytvoření 16bitových registrů, osmibitovým akumulátorem, registrem příznaků, indexovými

registry IX a IY, 16bitový ukazatel do zásobníku a čítač instrukcí. [32] Jeho taktovací frekvence byla 2,5 MHz, ve verzi Z80A dosahovala 4 MHz a vyžadoval napájení 5 V. Jedna z jeho zvláštních vlastností je vlastní obvod pro udržování obsahu paměti RAM. [33] Tento procesor byl velice oblíbený, byl použit například v počítači ZX Spectrum firmy Sinclair.

### **3.1.10 Intel 8086 – 1978 – první 16bitový procesor**

V roce 1978 vydala firma Intel svůj první 16bitový procesor Intel 8086. Tento procesor má 16bitové registry, 16bitovou datovou sběrnici a 20bitovou adresní sběrnici schopné adresovat až 1 MB fyzické paměti. Taktovací frekvence se pohybovala mezi 4 MHz až 10 MHz a byl složen ze 29000 tranzistorů.

Jelikož procesor 8086 pracuje se 16bitovými hodnotami a adresy jsou 20bitové, bylo nutné zavést výpočet fyzické adresy ze dvou složek. Těmito složkami jsou offset a segment, označující nižší a vyšší bity fyzické adresy. Fyzická adresa je tedy výsledkem sečtení těchto dvou složek, které jsou vzájemně posunuty o čtyři bity. [34] Tento procesor umožňoval, při použití numerického koprocesoru Intel 8087, práci s plovoucí desetinnou čárkou. Pokud procesor při vykonávání programu narazil na instrukci pro práci s desetinnou čárkou, předal data koprocesoru a pokračoval v programu. Tento procesor také disponoval několika novými instrukcemi, které urychlovaly práci s bloky dat – například porovnání, přesun či nastavení hodnoty bloků dat. [35]

Intel 8086 byl vnitřně rozdělen na dvě jednotky – sběrnice (Bus Unit) a prováděcí (Execution Unit). Sběrnice připravovala instrukce a přenášela data po sběrnici, prováděcí jednotka prováděla instrukce připravené sběrnice. Tyto dvě jednotky na sobě byly nezávislé, což znamenalo zkrácení času potřebného na vykonání instrukcí. [34]

### **3.1.11 Intel 8088 – 1979**

Rok po vydání Intelu 8086 byl vydán procesor Intel 8088. Tento procesor byl téměř identický s jeho předchůdcem, jeho odlišnost spočívala ve zmenšení externí datové sběrnice ze 16 bitů na pouhých 8 bitů. Tímto krokem byla umožněna plná

kompatibilita s levnějšími, osmibitovými zařízeními. Pro načtení 16 bitů dat tedy procesor potřeboval dva cykly, při každém bylo načteno osm bitů. Tento procesor se objevil v počítači IBM 5150 – prvním osobním počítači označeném jako Personal Computer, zkráceně PC. [36]

### **3.1.12 Motorola 68000 - 1979**

Po úspěchu procesoru Motorola 6800 začala firma Motorola pracovat na vývoji nové generace procesorů. V roce 1979 Motorola představila řadu 68000. Procesor 68000, značen také jako m68k, měl osm datových a osm adresních 32bitových registrů, ale interní datová sběrnice a ALU byly pouze 16bitové, proto se někdy označuje místo 32bitového procesoru jako 16/32bitový. Šířka externí adresní sběrnice byla 24 bitů, bylo tedy možné adresovat až 16 MB paměti. Šířka externí datové sběrnice byla 16 bitů a procesor měl maximální taktovací frekvenci 8 MHz. Tento procesor byl použit v mnoha osobních počítačích, jako jsou Atari řady Atari ST či osobní počítače Amiga firmy Commodore. [37]

### **3.1.13 AMD Am2901 - 1979**

V roce 1979 představila firma AMD svoji rodinu čipů Am2900. Tato rodina byla prezentována jako „bit slice processor“ – procesor byl složen z jednotlivých integrovaných obvodů této rodiny. Díky této vlastnosti byl tento procesor velice modulární.

Samotná ALU, značená jako Am2901, měla bitovou šířku pouze 4 bity, bylo ale možné použít více ALU zapojených paralelně či v sérii. To znamenalo, že bylo možné sestavit plnohodnotný procesor s datovou šířkou o velikosti násobků čtyř. Integrovaný obvod Am2901 obsahoval dva bloky – jeden blok obsahoval sadu 16 4bitových registrů a v druhém bloku byla implementována aritmeticko-logická jednotka. ALU podporovala osm funkcí – sčítání, odčítání a logické operace. Nedílnou součástí procesoru je však také řadič, který se skládal z jednoho či více čipů sekvencéru (Am2909) a mikroprogramové paměti.

Tento procesor se díky své flexibilitě stal velice oblíbeným mezi konstruktéry, neboť si mohli sami přizpůsobit procesor ke svým potřebám. Také našel využití ve výuce na univerzitách. [38]

## **3.2 80. léta 20. století**

### **3.2.1 Intel 8087 - 1980**

V roce 1980 představila firma Intel svůj první numerický koprocessor Intel 8087. Tento koprocessor sloužil jako přídavné zařízení k procesorům 8086 a 8088 pro zpracovávání instrukcí s pohyblivou desetinnou čárkou. Tohoto vylepšení využívaly hlavně programy pracující s čísly, jako jsou tabulkové kalkulátory či CAD programy. [1]

Koprocessor Intel 8087 obsahuje osm 80bitových registrů, které jsou implementovány jako zásobník. Tento koprocessor vykonává operace s daty v zásobníku a v paměti. Intel 8087 podporuje celá čísla, BCD<sup>8</sup>, čísla s jednoduchou i dvojnásobnou přesností a čísla s rozšířeným 80bitovým formátem přesnosti. Všechna data si převáděl na čísla s rozšířeným formátem přesnosti. [39]

Pro práci s koprocessorem obsahuje procesor několik speciálních instrukcí. Jednou z těchto instrukcí je ESC, kterou se označuje instrukce pro koprocessor. Toto označení se provádí zařazením sekvence bitů (11011) před samotný příkaz koprocessoru. Další speciální instrukcí je WAIT, která je používána k čekání na dokončení operace koprocessorem. Běžné instrukce pro práci s pohyblivou desetinnou čárkou se označují pomocí písmena F před názvem instrukce, například FADD pro součet. [34]

Princip fungování vykonávání programu s instrukcemi pro výpočty s pohyblivou desetinnou čárkou je následující: procesor vykonává program. V případě nalezení instrukce pro výpočet s pohyblivou desetinnou čárkou a referencí do paměti procesor vypočte efektivní adresu do paměti a následně z této adresy čte.

---

<sup>8</sup> Binary Coded Decimal



Koprocesor tuto instrukci spolu s efektivní adresou do paměti zachytí a provede výpočty. Mezitím procesor pokračuje dál ve vykonávání programu. [39]

### 3.2.2 Intel 80186 - 1981

V roce 1981 firma Intel představila nástupce Intelu 8086, procesor Intel 80186. Tento šestnáctibitový procesor byl v podstatě vylepšení procesoru 8086, oproti svému předchůdci měl navíc několik instrukcí, programovatelné časovače či generátor časových impulzů. [34] Další rozdíl byl v pouzdře, zatímco Intel 8086 byl dodáván v DIP<sup>9</sup> pouzdře, 80186 byl dodáván v PGA pouzdře. Intel 80186 navíc také oproti svému předchůdci disponoval výkonnějším mikrokódem. Obdobně jako u procesoru 8086, Intel vydal také levnější variantu tohoto procesoru – procesor Intel 80188, který měl pouze osmibitovou sběrnici. [1]

### 3.2.3 Intel 80286 - 1982

V roce 1982 byl na trh uveden procesor Intel 80286. Tento 16bitový procesor představoval velký pokrok oproti Intelu 8086. Byl složen z přibližně 130000 tranzistorů, byl mnohem výkonnější než 8086 a dodával se v pouzdře PLCC<sup>10</sup>. [1] Intel 80286 pracoval na taktovací frekvenci 16 MHz, měl 16bitovou datovou sběrnici a 24bitovou adresní sběrnici, díky které mohl adresovat až 16 MB fyzické paměti. Tento procesor byl velmi oblíbený, firma IBM jej použila do svého počítače IBM PC/AT.

Novinkou tohoto procesoru byla možnost práce ve dvou různých režimech:

- **Reálný režim:** V reálném režimu pracuje procesor Intel 80286 stejně jako procesory Intel 8086 a 8088, kdy používá k adresaci pouze 20 bitů a adresuje tak pouze 1 MB paměti. V tomto režimu je možné spouštět programy napsané pro jeho předchůdce. [40]
- **Chráněný režim:** Tento režim je úplně nový, neslučitelný s reálným režimem. Podporuje paralelní zpracování více programů, kvůli tomuto bylo

---

<sup>9</sup> Dual In-line Package

<sup>10</sup> Plastic Leadless Chip Carrier – plastový bezvývodový nosič čipu

nutné zavést ochranu přístupu do paměti pomocí úrovní oprávnění. Byl také zaveden nový způsob adresace paměti – rozdělení paměti na segmenty. Adresa se skládala ze selektoru a limitu, byla uložena v tabulce deskriptorů. V tabulce deskriptorů byly uloženy segmenty, identifikované pomocí selektorů – 24bitové adresy označující začátek segmentu, 16bitových limitů označujících maximální velikost segmentů a přístupová práva k segmentu. V tomto režimu bylo možné adresovat tzv. **virtuální paměť**: V tabulce deskriptorů bylo možné držet 16000 záznamů o segmentech velikosti 64 kB, to znamená, že bylo možné adresovat až 1 GB virtuální paměti.

Mezi těmito pracovními režimy bylo možné přepínat pomocí 16bitového registru Machine Status Word, zkráceně MSW. Samotné přepnutí se provádí pomocí nastavení protection enable (PE) bitu tohoto registru. Přepnutí zpět do reálného režimu lze dosáhnout pouze resetem procesoru. [40]

### 3.2.4 Intel 80386 - 1986

Nástupcem procesoru 80286 se v roce 1986 stal procesor Intel 80386. Tento procesor, celým názvem označován jako Intel 80386DX byl prvním plně 32bitovým procesorem firmy Intel – to znamenalo, že datová i adresní sběrnice měla šířku 32 bitů. Díky tomu byl tento procesor schopen rychleji přistupovat k datům a adresovat až 4 GB paměti RAM. Dodával se v pouzdrů PGA, později také v PLCC. Skládal se z asi 275000 tranzistorů a pracoval na taktovací frekvenci 33 MHz. [1]

Stejně jako jeho předchůdce může pracovat v několika režimech. V reálném režimu pracuje stejně jako předchůdce. V chráněném režimu pracuje také stejně, ale byla rozšířena bitová šířka adresa začátku segmentu na 32 bitů, na stejnou hodnotu byla zvětšena také maximální velikost segmentu. To umožnilo adresaci až 4 GB paměti a možnost velikosti segmentu také až 4 GB. Byl také zaveden mechanismus stránkování s vlastní cache pamětí. [42]

Přínosem tohoto procesoru byl třetí pracovní režim, a to **virtuální režim**. V tomto režimu pracoval procesor podobně jako v reálném režimu, ale byl plně podřízen chráněnému režimu – adresovatelná paměť 1 MB byla virtualizována a bylo možné

ji umístit kamkoliv do 4 GB paměti. Na rozdíl od svého předchůdce již nebyl nutný reset procesoru pro jeho přepnutí zpět do jiného režimu. [42]

Intel také vydal levnější variantu tohoto procesoru s označením 80386SX, která se od verze DX lišila šířkou externí datové sběrnice. Tento procesor disponoval pouze 16bitovou externí datovou sběrnicí, takže data přijímal/odesílal ve dvou cyklech. Třetí variantou tohoto procesoru byl 80386SL, který vycházel z verze SX a disponoval technologií pro řízení napájení neboli power managementem, což bylo výhodné hlavně pro přenosná zařízení. [1]

### **3.2.5 AMD 29000 - 1988**

Firma AMD v roce 1988 představila svou rodinu 32bitových procesorů AMD29000, značenou také jako AMD 29k. Taktovací frekvence těchto procesorů se pohybovala mezi 16 MHz až 33 MHz. Některé tyto procesory využívají Harvardské architektury, což znamená že pracují v počítačích s oddělenými paměťmi pro data a pro program. Tyto procesory se také dají charakterizovat jako procesory architektury RISC. To znamená, že mají menší, ale optimalizovanější instrukční sadu než procesory CISC. Instrukční sada celkem obsahuje 112 instrukcí. Pracují s velkým množstvím registrů, mají k dispozici 64 globálních, 128 lokálních a několik speciálních registrů. Do této rodiny procesorů patří základní procesor Am29000 s taktovací frekvencí 16, 20, 25 nebo 33 MHz, jeho slabší a levnější varianta Am29005 s taktovací frekvencí pouhých 16 MHz a bez paměti cache či procesor Am29050 s taktovací frekvencí od 20 MHz do 40 MHz nabízející matematický koprocessor a vyšší výpočetní výkon.

### **3.2.6 Intel 80486 - 1989**

Intel 80486DX, představený v roce 1989, je vylepšená verze procesoru 80386. Tento 32bitový procesor sestával z přibližně 1,25 milionů tranzistorů a pracoval na frekvencích 25 MHz až 33 MHz. Novinkou byly dvě jeho součásti – numerický koprocessor 80487 a řadič vyrovnávací paměti cache úrovně L1 typu write-through, což znamená, že data byla zapisována jak do paměti cache, tak do paměti. Čtení tedy probíhalo rychle, ale zápis byl omezen rychlostí paměti RAM. Tato paměť měla velikost 8 KB. [43] Stejně jako Intel 80386 pracoval ve třech režimech a pracoval se stejným adresovacím mechanismem. [42]

Tento procesor měl výrazně výkonnější mikrokód. Bylo dosaženo výrazné zkrácení doby vykonávání instrukcí, často bylo možné vykonat instrukci v rámci jednoho taktu díky zřetězenému vykonávání instrukcí, tzv. **pipelining**. Procesor využívající zřetězené zpracování instrukcí se nazývá skalární. Zpracování instrukce se dá rozdělit na pět fází – výběr instrukce, dekodování, výpočet adresy, provedení instrukce a zápis výsledků. Princip zřetězeného vykonávání instrukcí tkví v tom, že procesor má pro každou tuto fázi samostatně pracující jednotku. Každá tato jednotka provádí jednu tuto fázi a ve chvíli, kdy je hotova s prací, předá tuto zpracovanou instrukci další fázi. Zatímco další jednotka vykonává další fázi, tato jednotka pracuje na další instrukci. To znamená, že po vykonání jedné instrukce má procesor částečně zpracované další instrukce, což výrazně zvyšuje efektivitu procesoru. V případě, že některá ze zpracovávaných instrukcí provede tzv. skok, předzpracované instrukce se zahodí. [44]

Intel vydal také levnější variantu tohoto procesoru označenou jako 80486SX. Tento procesor měl deaktivovaný matematický koprocessor a sníženou taktovací frekvenci na 20 MHz. K tomuto procesoru Intel nabízel koprocessor 487SX, což byl 80486DX s modifikovaným rozmístěním pinů tak, aby nešel zapojit přímo do patice procesoru. V případě jeho použití přebíral od 486SX řízení a počítač se tak choval jako s procesorem 486DX s frekvencí 20 MHz. [1]

Tento procesor se postupem času dočkal několika vylepšení. V roce 1992 přinesla firma Intel na trh procesor 80486DX2, první procesor s tzv. **zdvojovačem hodin**. Tento procesor bylo možné zapojit do základní desky pro 80486 s frekvencemi 25 či 33 MHz, ale vnitřně pracoval na dvojnásobné frekvenci, tj. 50 MHz či 66 MHz. Tato vnitřní frekvence se označovala jako frekvence jádra, vnější frekvence se nazývala frekvence systémové sběrnice. V roce 1994 Intel představil druhou vylepšenou verzi, nazvanou 80486DX4. Tento procesor měl **ztrojovač hodin**. Frekvence jádra tohoto procesoru běžela na trojnásobku frekvence systémové sběrnice, tedy 75 MHz nebo 100 MHz. [1]

### **3.3 90. léta 20. století**

#### **3.3.1 DEC Alpha – 1992**

Firma DEC v roce 1992 přinesla na trh svou novou architekturu Alpha AXP. Prvním procesorem této řady byl procesor DEC Alpha 20164. Tento 64bitový procesor běžel na frekvenci od 150 MHz do 200 MHz. Byl vyroben 0,75 $\mu$ m výrobním procesem, později byl tento proces upraven na 0,675  $\mu$ m. Disponoval integrovanou L1 cache o velikosti 8 KB pro data a 8 KB pro instrukce, jednou celočíselnou pipeline a jednou pipeline pro instrukce s desetinnou čárkou. Díky dvěma pipeline byl tento procesor superskalární. Obsahoval 32 celočíselných registrů a 32 registrů pro data s plovoucí desetinnou čárkou, velikost instrukcí byla 32 bitů. [45]

#### **3.3.2 AMD Am486 – 1993**

Firma AMD již několik let vyráběla klony procesorů Intel. V roce 1993 představila procesor Am486 – klon procesoru Intel 80486. Na rozdíl od Intelu procesor Am486 potřeboval pro svůj provoz pouze 3,3 V místo 5 V. Další výhodou procesorů AMD byla jejich cena, kdy se AMD snažila držet ceny velmi nízko – Am486DX4 stál méně než 80486DX2. [46]

#### **3.3.3 Intel Pentium – 1993**

V roce 1993 uvedl Intel na trh procesor Intel Pentium. Tento procesor běžel na taktovací frekvenci 60 MHz. Intel postupně vydával Pentia s vyššími takty, procesor s nejvyšším taktem dosahoval na 200 MHz. Nejstarší procesory se připojovaly k desce pomocí patice Socket 4, později pomocí Socket 5 a 7. [1]

Pentium přineslo výrazné zlepšení v oblasti paměti cache – nově tato paměť obsahovala jak paměť pro data o velikosti 8 KB, tak i stejně velkou paměť pro aplikace. Na rozdíl od 80486 používá algoritmus write-back neboli opožděný zápis, což znamená, že se snaží co nejvíce oddalovat zápis dat do paměti RAM, čímž udržuje data v rychlejší paměti. Novinkou byla také predikce větvení neboli „branch prediction“, což je technika pro predikci pokračování programu. V případě větvení programu řadič cache odhadne následný vývoj a předpřipraví procesoru data dříve,

než je bude požadovat. Tato technika urychluje práci procesoru, protože při správné predikci výsledku větvení je možné pomocí pipeline částečně zpracovat správné instrukce, kdežto bez této predikce by bylo nutné pipeline vyprázdnit a zpracovávat instrukce nanovo. V případě nesprávné predikce je nutné tyto částečně zpracované instrukce zahodit. Tato technika byla využívána při spekulativním vykonávání instrukcí.[1]

Procesor Pentium byl první superskalární procesor firmy Intel. Skládal se v podstatě ze dvou procesorů – první část byla schopna pracovat jako procesor 486DX, druhá jako 486SX – neboli DX bez jednotky pro pohyblivou desetinnou čárku. Tyto dva procesory uvnitř Pentia se nazývají instrukční kanály (pipeline) U a V. Výhodné bylo, že tento procesor používal instrukční kanály automaticky, takže nebylo nutné pro něj upravovat programy. [1]

Pentium přineslo ještě jednu novinku – odolnost proti poruchám. Tato odolnost spočívala v možnosti připojit druhé Pentium na základní desku. Tento druhý procesor neustále sledoval ten první, a v případě chybné funkce okamžitě převezme jeho místo. [1]

První verze Pentia se „proslavila“ chybou v dělení s plovoucí desetinnou čárkou, kdy např. při výpočtu  $(4195835 * 3145727) / 3145727$  místo výsledku 4,195,835 vracel číslo 4,195,579. Tato chyba se stala známou jako FDIV Bug (Floating Division). [47]

V roce 1996 vydal Intel vylepšenou verzi Pentia – Pentium MMX. Tato verze byla schopná pracovat na taktovací frekvenci až 233 MHz. Nejdůležitější vlastností této vylepšené verze ale bylo rozšíření MMX neboli MultiMedia eXtensions, což bylo 57 nových instrukcí, pracujících s celými čísly, pro zpracování multimediálních dat. Toto rozšíření výrazně vylepšilo práci s multimediálními aplikacemi. [1]

### **3.3.1 Intel Pentium Pro – 1995**

Procesor Intel Pentium Pro byl 32bitový procesor vydaný Intelem v roce 1995. Tento procesor se vyráběl s frekvencí jádra 166 MHz či 200 MHz, jeho frekvence systémové sběrnice byla 60 MHz či 66 MHz. Disponoval šířkou datové sběrnice 64 bitů. Jeho interní paměť L1 cache měla velikost 8 KB pro data a 8 KB pro instrukce. Oproti svému předchůdci měl výrazně vylepšenou paměť L2 cache, která

byla umístěna namísto na základní desce přímo v čipu procesoru. Tato paměť tak mohla pracovat na stejné frekvenci jako samotný procesor a nebyla omezena rychlostí sběrnice. Velikost této paměti byla od 256 KB do 1 MB. Pentium Pro mohlo být také vybaveno pamětí L3 cache na základní desce až do velikosti 1024 KB. [1]

Také v oblasti instrukčních kanálů přineslo Pentium Pro změnu – místo dvou kanálů obsahovalo kanály tři, což znamená, že procesor mohl najednou připravovat tři instrukce. Novinkou bylo také out-of-order zpracovávání instrukcí, což znamenalo, že procesor mohl přeorganizovat instrukce programu tak, aby běžel optimálně, nezávisle na jejich původním pořadí. [1]

Pentium Pro přineslo jedno důležité vylepšení v oblasti adresace paměti – technologii PAE<sup>11</sup> neboli hardwarové rozšíření adresovatelné paměti, která umožnila rozšířit původní 32bitový adresní prostor na 36bitový prostor schopný adresovat až 64 GB paměti RAM. Tato technologie má omezení – z důvodu adresace těchto vyšších adres do standardního adresního prostoru není možné pro jednu aplikaci využít více než standardních 4 GB paměti. [48]

### **3.3.2 AMD Am5x86 – 1995**

Firma AMD v roce 1995 vydala 32bitový procesor Am5x86. Tento procesor byl určen pro základní desky s frekvencí sběrnice 33 MHz a s patičkou Socket 3, stejnou jako používal také procesor Intel 80486. Pracoval na frekvenci jádra 133 MHz, jeho násobič měl tedy hodnotu 4. Disponoval 16 KB pamětí L1 cache typu write-back (stejný typ používá i Intel Pentium). Firma AMD za označení tohoto procesoru poprvé přidala tzv. Performance Rating, což označovalo výkon procesoru v porovnání s procesory firmy Intel. Tento procesor byl velice výkonný, ve výkonostních testech se vyrovnal procesoru Pentium na frekvenci 75 MHz, proto byl výrobcem označován jako Am5x86 – P75. [49]

---

<sup>11</sup> Physical Address Extension

### 3.3.3 AMD-K5 – 1995

V roce 1995 firma AMD představila svou novou rodinu procesorů K5. Tyto procesory byly první x86 procesory firmy AMD, které byly vyvinuty samostatně, bez licence k architektuře x86 firmy Intel. K5 byly 32bitové procesory s frekvencí systémové sběrnice 50 MHz, 60 MHz či 66 MHz a frekvencí jádra od 75 MHz do 133 MHz. Pracovaly na napětí 3,3 V, disponovaly 16 KB paměti cache pro instrukce a 8 KB paměti cache pro data. Tyto procesory se oproti Pentiu vyznačovaly dvojnásobným počtem instrukčních kanálů a každý kanál byl rozdělený na šest výkonných jednotek. [1] Podporovaly spekulativní vykonávání instrukcí či System Management Mode, zkráceně SMM, pro řízení spotřeby procesoru. Tyto procesory byly díky výkonu při operacích s celými čísly také značeny Performance Ratingem pro porovnání výkonu s procesory Pentium firmy Intel, s PR od 75 až do 133. [50]

### 3.3.4 AMD-K6 – 1997

Historie procesoru AMD K6 začíná u konkurenční firmy NexGen. Tato firma v roce 1994 vydala svůj procesor Nx586, který však neobsahoval matematický koprocessor. Později vyvinutý koprocessor byl přibližně dvakrát výkonnější při vykonávání instrukcí s plovoucí desetinnou čárkou než procesory AMD K5, což zaujalo firmu AMD. Poté tato firma začala pracovat na novém procesoru Nx686 určeném pro nový Socket 7. V roce 1995, krátce před plánovaným vydáním tohoto procesoru, byla firma NexGen odkoupena firmou AMD. AMD využila vývoje firmy NexGen a v roce 1997 vydala procesor AMD K6. [51]

První procesory, značené jako Model 6, pracovaly na frekvenci jádra 166 MHz až 233 MHz. Pozdější verze, označované jako Model 7 či názvem Little Foot, vydané v roce 1998 pracovaly na frekvencích 200 MHz až 300 MHz. Všechny verze tohoto procesoru pracovaly na frekvenci systémové sběrnice 66 MHz. Paměť cache byla typu L1 o velikosti 32 KB pro data a 32 KB pro instrukce. Výrobní technologie byla u prvních procesorů 0,35  $\mu\text{m}$ , u pozdějších verzí 0,25  $\mu\text{m}$  a celkově se tento procesor skládal z 8,8 milionu tranzistorů. Tyto procesory, stejně jako procesory Pentium MMX firmy Intel, obsahovaly rozšíření instrukční sady instrukcemi MMX



pro práci s multimediálními daty. Procesory K6 byly přímou konkurencí procesorů Pentium MMX jak z hlediska výkonu, tak z hlediska fyzické (stejná patice Socket 7) a instrukční kompatibility. [51]

### **3.3.5 Intel Pentium II – 1997**

Procesor Intel Pentium II byl vydán Intelem v roce 1997. Jádro tohoto procesoru vychází z procesoru Pentium Pro, byl ale značně vylepšen jeho výkon a přidány instrukce MMX známé z Pentia MMX. Na rozdíl od předchůdců se tento procesor nezapojoval do soketu, ale byl umístěn na pomocné desce, tzv. daughterboard. Tato deska se zapojovala do slotu Slot 1. Oproti Pentiu Pro již nebyla paměť L2 cache umístěna v čipu procesoru, ale vedle procesoru na daughterboardu. Rychlost této paměti byla rovna polovině taktovací frekvence procesoru. [52] Paměť L1 cache byla oproti Pentiu Pro dvojnásobná, tedy 16 KB pro data a 16 KB pro instrukce. Paměť L2 cache měla velikost 512 KB. [1]

Intel s uvedením Pentia II zavedl nová kódová označení jednotlivých verzí jádra procesoru – Klamath a Deschutes. Procesory s jádrem Klamath byly první procesory rodiny Pentium II. Pracovaly na taktovacích frekvencích 233 MHz, 266 MHz a 300 MHz s frekvencí systémové sběrnice 66 MHz. Tyto procesory byly vyrobeny 350nm výrobním procesem a trpěly přehříváním. Rok po představení Pentia II s jádrem Klamath byl představen jeho nástupce, procesor s jádrem Deschutes. Pentia s tímto jádrem byla vyráběna 250nm výrobním procesem, což přispělo k menšímu generování tepla a možnosti vyšších frekvencí. Tyto nové procesory pracovaly na taktovacích frekvencích 333 MHz, 350 MHz, 400 MHz a 450 MHz. Kromě 333 MHz verze, která pracovala na 66 MHz frekvenci systémové sběrnice, pracovaly na 100 MHz frekvenci systémové sběrnice. [52]

Od procesoru Pentium II byly odvozeny další procesory – Celeron a Xeon. Procesor Celeron byl levná verze Pentia II, určený jako konkurence procesorům AMD K6-2. Nízké ceny se Intel snažil dosáhnout absencí paměti L2 cache, což ale výrazně snížilo výkon procesoru. Proto pozdější verze obsahovaly 128 KB L2 cache umístěné v čipu procesoru, což umožnilo práci paměti na stejné frekvenci jako jádro procesoru. Celerony pracovaly na taktovací frekvenci 300 MHz, 333 MHz a 366 MHz, všechny

pracovaly na frekvenci systémové sběrnice 66 MHz. Spolu s výkonnou FPU byl tento procesor velmi vhodný pro domácí uživatele. [52]

Procesory Pentium II Xeon byly určeny pro servery, bylo možné je využít pro použití více procesorů v jednom systému, tzv. multiprocessing. Velikost paměti L2 cache se pohybovala od 512 KB až po 2 MB a tato paměť pracovala na stejné frekvenci jako jádro procesoru. Taktovací frekvence těchto procesorů byly 400 MHz, 450 MHz a 500 MHz. [1]

### **3.3.6 AMD-K6-2 - 1998**

Procesor AMD K6-2 byl odpovědí firmy AMD na procesor Pentium II firmy Intel. Byl to vylepšený procesor AMD K6. Zásadním vylepšením bylo přidání technologie 3D Now!, což byla sada instrukcí určená pro operace s multimediálními daty. Na rozdíl od technologie MMX, která pracovala s celými čísly, tato technologie pracovala s plovoucí desetinnou čárkou. Tato technologie našla využití hlavně ve 3D grafických aplikacích. Stejně jako jeho předchůdce, AMD K6-2 obsahoval technologii MMX. Tento procesor se zapojoval do nového rozšíření patice Socket 7 nazvaného Super Socket 7. Díky této patici byla umožněna podpora sběrnice AGP či 100 MHz frekvence systémové sběrnice. Při výrobě byl použit 250nm výrobní proces, celkově se procesor skládal přibližně z 9,3 milionu tranzistorů. [51]

AMD K6-2 se vyráběl ve dvou verzích jádra, nazvaných Chomper a Chomper Extended. Procesory s jádrem Chomper byly nabízeny s frekvencí jádra 200 MHz až 350 MHz, frekvence systémové sběrnice byla 66 MHz nebo 100 MHz. Velikost paměti L1 cache byla 32 KB pro instrukce a 32 KB pro data. Procesory s jádrem Chomper Extended byly nabízeny s frekvencí jádra od 200 MHz až do 550 MHz a frekvencí systémové sběrnice 66 MHz, 95 MHz, 97 MHz nebo 100 MHz. Ostatní vlastnosti byly stejné jako u jádra Chomper. [51]

### **3.3.7 Intel Pentium III - 1999**

Procesor Intel Pentium III byl nástupcem Pentia II vydaným Intelem v roce 1999. První verze tohoto procesoru měly jádro označené jako Katmai. Tyto procesory se, stejně jako Pentia II, zapojovaly do patice Slot 1. Jejich frekvence jádra byla od

450 MHz do 550 MHz a frekvence systémové sběrnice byla 100 MHz. Pentia III s tímto jádrem byla vyrobena 250nm výrobním procesem a skládala se z 9,5 milionu tranzistorů. L1 cache byla pro všechny verze procesoru stejná – 16 KB pro instrukce a 16 KB pro data. Paměť L2 cache měla pro jádro Katmai velikost 512 KB a stejně jako u Pentia II byla umístěna na daughterboardu. Později, v roce 2000, byl představen procesor Pentium III s jádrem Coppermine. Procesory s tímto jádrem byly vyráběny 180nm výrobním procesem a skládaly se z 28,1 milionu tranzistorů. Paměť L2 cache byla zmenšena na 256 KB, byla ale integrována do samotného čipu procesoru a mohla tak běžet na stejné frekvenci jako samotný procesor. Procesory s jádrem Coppermine byly vyráběny v novém typu pouzdra FC-PGA<sup>12</sup> s odhaleným čipem procesoru určeným pro Socket 370. Tyto procesory disponovaly frekvencí jádra od 500 MHz do 733 MHz a frekvencí systémové sběrnice 100 MHz nebo 133 MHz. Na přelomu let 1999 a 2000 Intel vydal tyto procesory s rychlostí až 1 GHz, v roce 2001 dokonce s rychlostí až 1,13 GHz. Třetí verzí Pentia III byly procesory s jádrem Tualatin. Tyto procesory se vyráběly 130nm výrobním procesem a byly dostupné s frekvencí jádra 1 GHz až 1,4 GHz. Frekvence systémové sběrnice byla 133 MHz. Tyto procesory byly dostupné ve dvou verzích, dle velikosti paměti cache – 256 KB či 512 KB. Procesory s větší pamětí L2 cache byly označovány jako Pentium III-S. [53]

Hlavním vylepšením oproti Pentiu II bylo rozšíření instrukční sady o multimediální instrukce SSE<sup>13</sup> pracující s desetinnou čárkou. Tyto instrukce zvyšují výkon v multimediálních aplikacích a při pracování streamů a videa v reálném čase. Dalším vylepšením bylo přidání podpory pro sběrnici AGP 4x. [1]

### **3.3.8 AMD Athlon K7 – 1999**

V roce 1999 vydala firma AMD své nové výkonné procesory založené na nové architektuře K7. Stejně jako procesory Pentium II byly umístěny na daughterboardu, na kterém byla umístěna i paměť L2 cache o velikosti 512 KB. Paměť L1 cache byla

---

<sup>12</sup> FlipChip Pin Grid Array

<sup>13</sup> Streaming SIMD Extensions

oproti Pentiu III čtyřikrát větší, tj. 64 KB pro instrukce a 64 KB pro data. Oproti Pentiu III disponoval Athlon K7 také výkonnější jednotkou FPU. [1] Tyto procesory byly určeny pro patici typu slot nazvané Slot A a skládaly se ze 22 milionů tranzistorů. První verze tohoto procesoru byly vyráběny 250nm výrobním procesem a pracovaly na frekvenci jádra 500 MHz až 600 MHz. Pozdější verze, vyráběné 180nm výrobním procesem, dosahovaly frekvence jádra až 1 GHz. Frekvence systémové sběrnice byla pro všechny verze stejná – 200 MHz. Stejně jako jeho předchůdce obsahoval rozšíření MMX, navíc však obsahoval Enhanced 3DNow!, což bylo vylepšení technologie 3DNow!. [54]

### **3.4 21. století**

#### **3.4.1 AMD Athlon Thunderbird – 2000**

Rok po představení procesoru Athlon K7 byl uveden na trh jeho nástupce – Athlon s jádrem Thunderbird. Oproti jeho předchůdci přinesl několik vylepšení – paměť L2 cache byla zmenšena na 256 KB, byla ale integrována do samotného čipu procesoru a pracovala tak na frekvenci jádra, což přineslo zvýšení výkonu. Paměť L1 cache měla velikost 64 KB pro instrukce a 64 KB pro data. Tyto procesory byly vyráběny s frekvencí jádra od 500 MHz až po 1,4 GHz a frekvencí systémové sběrnice 200 MHz a 266 MHz. Čip procesoru se skládal ze 37 milionů tranzistorů a byl umístěn do pouzdra PGA určeného do patice Socket A. Od Athlonu byla, podobně jako od Pentia, odvozena levnější verze nazvaná Duron. Tyto procesory pracovaly na nižších frekvencích a disponovaly menší pamětí L2 cache. [55]

#### **3.4.2 Intel Pentium 4 – 2000**

Procesor Intel Pentium 4, přiveden na trh v roce 2000, znamenal pro Intel velkou změnu. Předchozí procesory Pentium, založené na mikroarchitektuře P6, dosahovaly zvyšování výkonu díky zlepšování efektivity bez extrémního zvyšování frekvence. Procesory Pentium 4 byly založeny na nové mikroarchitektuře nazvané NetBurst. Intel se snažil zvýšit výkon procesorů založených na této mikroarchitektuře hlavně pomocí zvyšování frekvence. Hlavním způsobem, jak tohoto dosáhnout, bylo zavedení tzv. Hyper-Pipelined Technology. Smysl této

technologie spočíval v rozdělení pipeline na 20 fází, což bylo dvakrát více než kolik fází měla mikroarchitektura P6. Tímto rozdělením se snížil počet vykonaných instrukcí za jeden takt, ale umožňuje výrazné zvýšení frekvence jádra. Rozšíření pipeline ale také přináší riziko v podobě snížení výkonu v případě chybné predikce. Tomuto se Intel snaží zabránit vylepšením technologie predikce větvení nazvané Enhanced Branch Prediction. Pro zlepšení efektivity takto dlouhé pipeline Intel také představil nové vylepšení L1 cache, nazvané Trace Execution Cache. Toto vylepšení spočívá v ukládání dekodovaných instrukcí, připravených pro zpracování (tzv. micro-ops), do paměti L1 cache. Při opravě chybné predikce není nutné instrukce opětovně dekodovat, lze je načíst již dekodované z cache. Navíc jsou tyto instrukce ukládány v predikovaném pořadí, což urychluje jejich zpracování. Intel u těchto procesorů neudává velikost L1 cache pro instrukce, ale počet instrukcí, které je schopen uchovat – 12000 micro-ops. Velikost paměti L1 cache pro data byla 8 KB. Přepřepovaná byla také paměť L2 cache, jejíž rozhraní má šířku 256 bitů a umí odesílat data v každém taktu. [56][57] Další vylepšení je přidání instrukčního rozšíření SSE2 a zrychlení systémové sběrnice pomocí Quad Data Rate, které spočívá v zasílání dat čtyřikrát v rámci jednoho hodinového taktu. [57]

Procesor Intel Pentium 4 se vyráběl ve čtyřech verzích jádra – Willamette, Northwood, Prescott a Cedar Mill.

První verze procesoru, označovaná jako Willamette byla vyráběna 180nm výrobním procesem a skládala se ze 42 milionů tranzistorů. Tento procesor byl dostupný nejdříve s frekvencí jádra 1,4 GHz a 1,5 GHz, později byl dostupný s frekvencí až 2 GHz. Díky technologii Quad Data Rate je efektivní rychlost systémové sběrnice 400 MHz. Procesory s tímto jádrem disponovaly 256 KB paměti L2 cache. Byl vyráběn v pouzdře PGA s heatspreaderem, což byl mezičlánek mezi čipem procesoru a chladičem určený k rozprostření tepla na větší plochu a instaloval se do patice Socket 423 nebo Socket 478. [57]

Procesory s jádrem Northwood, představené v roce 2001, byly vyráběny 130nm výrobním procesem a skládaly se ze 55 milionů tranzistorů. Instalovaly se do patice Socket 478. Díky menšímu výrobnímu procesu procesor spotřeboval méně energie a bylo možné dále zvyšovat taktovací frekvenci – tyto procesory byly vyráběny

s frekvencí jádra od 1,2 GHz do 3,4 GHz. Došlo také ke zvýšení frekvence systémové sběrnice, kdy byly dostupné procesory s efektivními frekvencemi 400 MHz, 533 MHz a 800 MHz. Paměť L2 cache byla zvětšena na 512 KB. Hlavní novinkou tohoto jádra byla technologie HyperThreading, dostupná v procesorech běžících na taktovací frekvenci nejméně 2,45 GHz a efektivní rychlosti sběrnice 800 MHz, resp. 3,06 GHz a 533 MHz. Tato technologie umožňovala procesoru pomocí emulace své kopie zpracovávat dvě vlákna najednou a tvářit se jako dva logické procesory. [57]

V roce 2004 Intel vydal výrazně přepracované jádro Prescott. Procesory s tímto jádrem byly vyráběny 90nm výrobním procesem, skládaly se ze 125 milionů tranzistorů a byly určeny do patič Socket 478 a Socket 775. Frekvence jádra se pohybovala od 2,26 GHz do 3,8 GHz a efektivní frekvence systémové sběrnice byla 533 MHz a 800 MHz. Došlo k dalšímu rozšíření délky pipeline na 31 částí, zvětšení paměti L1 cache pro data na 16 KB a paměti L2 cache v některých verzích až na 2 MB. Byla přidána podpora pro instrukční rozšíření SSE3 a v pozdějších verzích také podpora virtualizace či technologie EM64T, což umožnilo spouštění 64bitových aplikací. [57]

Procesory s jádrem Cedar Mill mají stejnou mikroarchitekturu jako jádra Prescott, jsou ale vyrobeny menším výrobním procesem – 65 nm. Velikost paměti L2 cache byla 2 MB, frekvence jádra byla od 3 GHz do 3,6 GHz a efektivní frekvence systémové sběrnice byla 800 MHz. Procesory s tímto jádrem se vyráběly pouze pro patiči Socket 775, což byla patice typu LGA. [57]

### **3.4.3 AMD Athlon XP – 2001**

Po úspěchu procesorů Athlon vydala firma AMD v roce 2001 nástupce – Athlon XP. Procesor Athlon XP byl, stejně jako jeho předchůdce, založen na architektuře K7. Vyráběl se postupně ve třech verzích jádra – Palomino, Thoroughbred a Barton, všechny verze byly určeny do socketu Socket A. Tyto procesory byly značeny novým Performance Ratingem, v názvu tedy nebyla reálná rychlost procesoru.

První procesory Athlon XP byly založeny na jádře Palomino. Tyto procesory byly vyráběny 180nm výrobním procesem, skládaly se z 37,5 milionu tranzistorů a dosahovaly maximální frekvence jádra 1,67 GHz při efektivní frekvenci systémové

sběrnice 266 MHz. Procesor využíval technologie Double Data Rate, aktuální frekvence systémové sběrnice je tedy poloviční, tj. 133 MHz. Paměť L1 cache měla velikost 64 KB pro data a 64 KB pro instrukce. Paměť L2 cache, umístěná v čipu procesoru, a tedy pracující na stejné frekvenci jako jádro, měla velikost 256 KB. Oproti svému předchůdci přinesl tento procesor vylepšení v podobě integrace instrukcí SSE. [58]

V roce 2002 vydala AMD nové procesory s jádrem Thoroughbred. Toto jádro mělo dvě verze, odlišované jako A a B. Procesory s jádrem Thoroughbred A byly prodávány pouze dva měsíce, neboť jediný odlišný rozdíl od jádra Palomino byl nejrychlejší procesor pracující na frekvenci jádra 1,8 GHz. Z tohoto důvodu byla vydána verze Thoroughbred B. Procesory s tímto jádrem byly vyráběny novějším 130nm výrobním procesem, což umožnilo zmenšení celkové velikosti čipu ze 128 mm<sup>2</sup> na 84 mm<sup>2</sup>. Díky tomu mohly tyto procesory dosahovat vyšších rychlostí. Nově se frekvence jádra těchto procesorů pohybovala mezi 2 GHz až 2,25 GHz, při přetaktování na vyšší frekvence již tyto procesory nebyly stabilní. S vydáním procesoru s frekvencí jádra 2,13 GHz došlo ke zvýšení efektivní frekvence sběrnice na 333 MHz. Ostatní vlastnosti jádra zůstaly stejné jako u jádra Palomino. [59]

Posledním jádrem založeném na architektuře K7 bylo jádro Barton, představené v roce 2003. Toto jádro přineslo vylepšení ve formě větší paměti L2 cache, nyní měla tato paměť velikost 512 KB. Toto zvětšení paměti znamenalo nárůst počtu tranzistorů na 54,3 milionu a zvětšení celého jádra na 101 mm<sup>2</sup>. Procesory s tímto jádrem pracovaly na frekvenci jádra od 1,83 GHz do 2,17 GHz s frekvencí sběrnice 333 MHz, později byly také představeny procesory s frekvencí jádra 2,1 GHz a 2,2 GHz s frekvencí sběrnice 400 MHz. Procesory s tímto jádrem byly velmi oblíbené pro jejich možnosti přetaktování, kdy slabší procesor bylo možné změnou frekvence systémové sběrnice zrychlit na úroveň nejvýkonnější verze. [59]

#### **3.4.4 AMD K8 – 2003**

V roce 2003 vydala firma AMD nové procesory založené na nové architektuře K8. Jedno z nejvýznamnějších vylepšení této architektury je implementace 64bitového módu a instrukcí. V tomto módu je procesor schopen spouštět jak 64bitové, tak

i 32bitové aplikace. Dalším vylepšením je implementace technologie systémové sběrnice HyperTransport, která umožňuje vysokou propustnost dat mezi procesorem a I/O zařízeními, a integrace řadiče paměti přímo do procesoru. [60]

Procesory založené na této architektuře byly nazvány Athlon 64. Byly vyráběny 130nm výrobním procesem. Tento proces se postupně zmenšil na 90 nm, později až na 65 nm. Pracovaly na frekvenci jádra od 1 GHz do 2,8 GHz. Tyto procesory se vkládaly do patice Socket 754, Socket 939 a později až do Socket AM2. Procesory určené pro Socket 754 obsahovaly jednokanálový DDR SDRAM<sup>14</sup> řadič paměti a sběrnici HT<sup>15</sup> s frekvencí 800 MHz. Procesory pro Socket 939 měly vylepšený řadič paměti, ten nyní podporoval Dual-Channel paměti, čímž byla zdvojnásobena šířka pásma přenosu dat. Rychlost sběrnice HT se zvýšila na 1 GHz. Procesory určené pro Socket AM2 přinesly podporu paměti DDR2. Obsahovaly 64 KB paměti L1 cache pro data a 64 KB pro instrukce, velikost L2 paměti cache se pohybovala mezi 256 KB až 1 MB. Tyto procesory přinesly vylepšení instrukcí SSE2 a později SSE3. Také přinesly podporu virtualizace. Na procesorech AMD Athlon 64 byly založené také procesory AMD Athlon 64 X2. Tyto procesory byly dvoujádrové, skládaly se ze dvou jader procesoru Athlon 64. Každé jádro mělo vlastní paměti cache. [61]

### **3.4.5 Intel Core – 2006**

V roce 2006 vydala firma Intel nové procesory založené na architektuře Core. Tato architektura byla úplně odlišná od architektury NetBurst, která se snažila dosáhnout vysokého výkonu vysokými frekvencemi jádra. Procesory založené na této architektuře se skládaly ze dvou či čtyř jader, byly nazývané Core 2 Duo a Core 2 Quad. Každé jádro procesoru založené na této architektuře je schopné zpracovávat až čtyři instrukce v jednom cyklu, jejich pipeline je rozdělena na 14 částí. Efektivitu vykonávání programu zvyšuje také proces zvaný „microfusion“, při kterém se procesor snaží spojit dvě mikrooperace, které se často objevují společně, do jedné. [62]

---

<sup>14</sup> Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory

<sup>15</sup> HyperTransport



Mezi dvěma jádry je sdílena paměť L2 cache o velikosti od 1 MB až do 6 MB. V případě čtyřjádrových procesorů má každá dvojice svou sdílenou paměť, celková velikost paměti L2 cache může tedy dosahovat až 12 MB. Pokud obě jádra pracují se stejnou částí paměti, stačí ji mít v cache jen jednou, což zvyšuje efektivitu využití této paměti. Pokud je jedno jádro nevytížené, je možné alokovat více paměti cache pro druhé jádro. [62]

Procesory s touto architekturou byly vyráběny 65nm výrobním procesem, později zmenšeným až na 45 nm. Frekvence jádra se pohybovala od 1,6 GHz do 3,33 GHz, frekvence systémové sběrnice dosahovala rychlosti až 1333 MHz. Tyto procesory byly 64bitové, instalovaly se do patice Socket 775. Přinesly podporu instrukcí SSSE3 a SSE4.1. Samozřejmostí je také podpora virtualizace. Novinkou byl soubor bezpečnostních technologií Trusted Execution Technology. [63]

#### **3.4.6 AMD K10 – 2007**

Architektura K10 je založená na architektuře K8. První procesory s touto architekturou byly AMD Phenom X4. Tyto čtyřjádrové procesory disponovaly stejnou pamětí L1 cache jako procesory s architekturou K8 – 64 KB pro data a 64 KB pro instrukce. Paměť L2 cache byla pro každé jádro samostatná, každé jádro mělo k dispozici 512 KB. Novinkou byla paměť L3 cache, která měla velikost 2 MB a byla sdílená všemi jádry. Procesory založené na této architektuře byly vylepšené i v oblasti řízení spotřeby – každé jádro mělo samostatně řízenou frekvenci a napětí dle vytížení. Systémová sběrnice HyperTransport byla vylepšena na verzi 3. V této verzi má procesor k dispozici čtyři komunikační linky, čímž bylo dosaženo výrazného zrychlení přenosu dat mezi procesorem a ostatními zařízeními. Procesory s touto architekturou obsahují instrukce SSE4a a podporují virtualizaci. [64]

Firma AMD vydala v průběhu let několik procesorů s architekturou K10. Mezi základní procesory patřil Athlon II s 1 MB paměti L1 cache a bez paměti L3 cache. Střední třídu procesorů reprezentovaly procesory Athlon II X2, X3 a X4. Procesory Athlon II X2 se skládaly ze dvou jader Athlon II. Procesory Athlon II X4 měly na rozdíl od dvoujádrové verze poloviční paměť L2 cache pro každé jádro. Mezi vysoce

výkonné procesory patřily procesory Phenom II X2, X4 a X6. Procesory Phenom II měly stejnou velikost paměti L1 jako ostatní procesory architektury K10, lišily se pamětí L3 cache – nově měla velikost 6 MB. Postupně byla přidána podpora paměti DDR3. Frekvence jádra procesorů této architektury se pohybovala od 1 GHz až do 3,7 GHz. Tyto procesory byly vyráběny 65nm výrobním procesem, který byl později zmenšen na 32 nm. [65]

### **3.4.7 Intel Core ix série – 2008 až dodnes**

Firma Intel v roce 2008 představila novou sérii procesorů Intel Core i. Procesory této série byly označeny jako Core i7, Core i5 a Core i3. Procesory Core i7 jsou zaměřeny na velice výkonné sestavy, Core i5 na středně výkonné sestavy a Core i3 na nenáročné aplikace. Hlavními vylepšeními těchto procesorů oproti předchůdcům byla integrace grafického jádra a paměťového řadiče do procesoru. S příchodem této série Intel představil také nový model vývoje svých procesorů, nazvaný Tick-Tock model. Smyslem tohoto modelu je vývoj rozdělený do dvou cyklů nazvaných „tick“ a „tock“. V každém „tick“ cyklu dojde ke zmenšení výrobního procesu při zachování stejné architektury. V každém „tock“ cyklu dojde k představení nové, vylepšené mikroarchitektury založené na stejném výrobním procesu jako v „tick“ cyklu. [66]

### **Nehalem – 1. generace, 2008**

Architektura Nehalem byla první architektura procesorů série Intel Core i. Byla založena na předchozí architektuře Core, ale přinesla mnoho vylepšení. Procesory s touto architekturou byly vyráběny 45nm výrobním procesem. Přínosem byla vylepšená technologie HyperThreading, která se nově nazývala SMT<sup>16</sup>, vylepšená virtualizace a také sada instrukcí SSE4.2. Intel představil nový mód Turbo, který umožnil automaticky krátkodobě přetaktovat jednotlivá jádra procesoru v závislosti na vytížení. Každé jádro procesoru s touto architekturou disponovalo 64 KB kombinované paměti L1 cache (instrukce a data), 256 KB L2 cache a všechna jádra sdílela mezi 4 MB až 12 MB L3 cache. Tato generace podporovala

---

<sup>16</sup> Simultaneous Multi-Threading

dvoukanálové zapojení pamětí DDR3 RAM. Procesory s touto architekturou se instalovaly do patice LGA 1156. [67]

### **Sandy Bridge – 2. generace, 2011**

Architektura Sandy Bridge byla vydána v roce 2011 v „tock“ cyklu vývojového modelu Intelu. Procesory s touto architekturou byly vyráběny 32nm výrobním procesem. S příchodem této architektury byl do procesoru integrována nová část, nazvaná jako Systém Agent. Tato část obstarává všechny funkce, které do této chvíle obstarával severní můstek na základní desce – systémovou sběrnici, PCI-Express rozhraní, paměťový řadič či grafické jádro, které bylo nově integrováno přímo do čipu procesoru. Paměti L1 a L2 cache zůstaly nezměněny, paměť L3 cache měla velikost od 1 MB do 8 MB. U paměti L3 cache však byla změněna sběrnice, pomocí které jádra do této paměti přistupují, čímž byla zvýšena přístupnost této paměti a snížena latence. Tyto procesory používaly patici 1155 LGA a podporovaly dvoukanálové paměti DDR3-1333 RAM. [68]

### **Ivy Bridge – 3. generace, 2012**

Procesory 3. generace, označené jako Ivy Bridge, byly vydané v cyklu „tick“. To znamená, že oproti svému předchůdci byla architektura nezměněna, došlo ale ke zmenšení výrobního procesu na 22 nm, čímž došlo k výraznému snížení spotřeby. Hlavní změnou bylo vylepšení grafického jádra, které bylo výkonnější, podporovalo DirectX 11 a nově mohlo využívat paměť L3 cache. Ostatní parametry zůstaly stejné s architekturou Sandy Bridge.

### **Haswell – 4. generace, 2013**

Procesory s architekturou Haswell, postavené na 22nm výrobním procesu, nebyly výkonově příliš odlišné. Mezi hlavní změny patří přidání čtvrté ALU pro celočíselné výpočty – předchozí generace disponovaly pouze třemi. Další změna nastala ve zvětšení datové propustnosti mezi jádrem a cache. Hlavní důraz při vývoji byl kladen na přenosná zařízení, což znamenalo snížení spotřeby a zvýšení grafického

výkonu, kterému pomáhala rychlá paměť eDRAM<sup>17</sup>. Velikosti pamětí cache zůstaly stejné jako u předchůdce. Tyto procesory se zapojovaly do patice 1150 LGA. [69]

### **Broadwell – 5. generace, 2014**

Architektura Broadwell byla postavena na 14nm výrobním procesu. Tyto procesory byly hlavně zaměřeny na mobilní trh, kde přinesly výrazné snížení spotřeby, zvýšení výkonu grafického jádra a podporu pro paměti LPDDR3-1600 RAM. Pro desktopy byly vydány pouze dva procesory určené pro stejnou patici jako předchůdce.

### **Skylake – 6. generace, 2015**

Architektura Skylake je založena na stejném výrobním procesu jako předchozí generace, ale přinesla několik vylepšení. Intel vylepšil svou predikci větvení a tzv. prefetching neboli předvídavé načítání dat dříve, než budou potřeba. Zlepšil se také počet najednou zpracovávaných instrukcí. Přibyla také podpora vysokých rozlišení grafickým jádrem a podpora nových pamětí DDR4 RAM. Paměť eDRAM, která předchůdci sloužila pro grafické jádro, bylo nově možné použít jako další úroveň sdílené paměti cache. Intel také přinesl nové bezpečnostní technologie, jako je ochrana před malwarem Intel SGX a ochrana paměti Intel MPX. Tyto procesory byly určeny pro novou patici 1151 LGA. [70]

### **Kaby Lake – 7. generace, 2016**

V roce 2016 Intel představil změnu svého vývojového modelu z Tick-Tock na Proces – Architekturu – Optimalizaci, zkráceně PAO. Tento model spočíval v ve zmenšení výrobního procesu na již vyzkoušené architektuře ( fáze proces), následně na tomto zmenšeném procesu postaví novou architekturu ( fáze architektura) a nakonec tuto architekturu co nejvíce optimalizuje ( fáze optimalizace). První procesory založené na tomto modelu byly založené na architektuře Broadwell, která přinesla výrazné zmenšení výrobního procesu. Poté přišla nová architektura Skylake, a v roce 2017 byla představena architektura Kaby Lake, která představovala optimalizaci Skylake. [71]

---

<sup>17</sup> Embedded Dynamic RAM

Procesory založené na architektuře Kaby Lake jsou tedy stále postavené na 14nm výrobním procesu. Oproti předchozí generaci došlo k optimalizaci spotřeby a nárůstu frekvence jader o 300 MHz, čímž došlo k navýšení frekvence jader na 4,4 GHz. [72]

### **Coffee Lake – 8. generace, 2017**

Intel svou osmou generací procesorů pokračoval v optimalizaci 14nm výrobního procesu. Oproti předchůdci byla zvětšena paměť L3 cache až na 12 MB, hlavním vylepšením bylo ale výrazné zvýšení výkonu díky přidání jader – k původním dvěma až čtyřem jádrům byla přidána další dvě jádra. Procesory Core i7 tak disponovaly šesti jádry s HyperThreadingem, takže byly schopné zpracovávat až 12 vláken najednou. Procesory Core i5 také obsahovaly šest jader, ale bez podpory HT. Procesory Core i7, založené na této architektuře dosahovaly frekvence jader až 4,7 GHz a podporovaly paměti DDR4 RAM až do rychlosti 2666 MHz. [73]

### **Coffee Lake Refresh – 9. generace, 2019**

V pořadí třetí optimalizace 14nm výrobního procesu nesla jméno Coffee Lake Refresh. Hlavní novinkou této generace je příchod osmijádrového modelu Intel Core i9. Tato řada procesorů tak doplnila čtyřjádrové modely Core i3, šestijádrové Core i5 a nově osmijádrové Core i7. Na rozdíl od ostatních řad této generace pouze Core i9 podporuje technologii HyperThreading, díky které jsou tyto procesory schopné zpracovávat až 16 vláken. Nově také procesory Core i9 podporují až 128 GB paměti RAM, procesory Core i3 podporují Turbo Boost. Díky optimalizaci výrobního procesu bylo možné oproti minulé generaci zvýšit frekvenci jader, nejrychlejší procesor měl základní frekvenci 4 GHz, při Turbo Boostu některé procesory dosahovaly až 5 GHz. Velikosti paměti L1 a L2 zůstaly nezměněné, velikost L3 cache se pohybovala od 6 MB až do 16 MB. [74]

### **3.4.8 AMD Bulldozer – 2011**

Firma AMD v roce 2011 představila nástupce architektury K10, architekturu Bulldozer. Tato architektura přinesla nový přístup ve složení čipu procesoru. Zaměření těchto procesorů bylo především na dobrý výkon ve vícevláknových

procesech a vysoké frekvence. Procesor se nově skládal z jednotlivých modulů a každý modul se skládal ze dvou jader. Každé jádro mělo vlastní celočíselnou jednotku a 16 KB L1 paměti cache pro data, obě jádra ale sdílela jednu FPU, dekodér instrukcí, 64 KB L1 cache pro instrukce a 2 MB L2 cache. Paměť L3 cache byla sdílená mezi všemi moduly. Každý modul byl schopen zpracovat až čtyři instrukce za cyklus, což bylo výrazně méně, než zvládaly procesory Intel Core. Procesory založené na této architektuře byly vyráběny 32nm výrobním procesem a zapojovaly se do nové patice AM3+. [75]

### **Piledriver – 2. generace Bulldozeru, 2012**

Procesory postavené na architektuře Bulldozer nebyly příliš úspěšné, hlavně kvůli vysokým teplotám a nízkému výkonu. AMD se proto rozhodla vydat vylepšení této architektury nazvané Piledriver. Byla vylepšena predikce větvení, využití sdílených prostředků. Počet zpracovaných instrukcí za cyklus zůstal nezměněn. Novinkou bylo také představení procesorů s integrovaným grafickým jádrem, tyto procesory byly značeny jako Accelerated Processing Unit, zkráceně APU. [76]

### **Steamroller – 3. generace Bulldozeru, 2014**

Firma AMD se v roce 2014 rozhodla vydat druhé vylepšení architektury Bulldozer. Hlavní vylepšení spočívalo v přidání druhého dekodéru instrukcí do každého modulu, aby každé jádro mělo vlastní dekodér. Došlo také ke zvětšení sdílené paměti L1 cache pro instrukce na 96 KB pro každý modul. Opět byla vylepšena predikce větvení. Tyto procesory byly vyráběny 28nm výrobním procesem. [77]

#### **3.4.9 AMD Zen – 2017 až dodnes**

V roce 2017 představila firma AMD zcela novou architekturu nazvanou Zen. Procesory s touto architekturou byly založeny na 14nm výrobním procesu a byly určeny do nové patice AM4. Základní frekvence jader se pohybovala od 3,1 GHz do 3,6 GHz, v Boostu (obdoba Turba firmy Intel) dosahovala až na 4 GHz.

Základem těchto procesorů je jádro složené z modulů nazvaných Core Complex, zkráceně CCX. Každý z těchto modulů je tvořen čtyřmi jádry. Každé jádro má k dispozici vlastní paměť L1 cache o velikosti 64 KB pro instrukce a 32 KB pro data.

Paměť L2 cache má velikost 512 KB a je také pro každé jádro samostatná. Paměť L3 cache o velikosti 8 MB je sdílená všemi jádry v rámci modulu. Oproti předchozí architektuře byla výrazně vylepšena práce s pamětí cache, při vícevláknovém zpracování mohou jednotlivá jádra okamžitě přistupovat ke změněným datům ve sdílené paměti cache. [78]

Přepřepočováno bylo také samotné jádro. Každé jádro je díky technologii Simultaneous MultiThreading (obdobě HT firmy Intel) schopné zpracovat dvě vlákna najednou. Každé jádro obsahovalo vlastní jednotku pro výpočty s celými čísly a pro výpočty s plovoucí desetinnou čárkou. Každá celočíselná jednotka obsahovala čtyři ALU a každé jádro bylo schopné dekodovat čtyři instrukce za jeden cyklus. Predikce větvení byla také výrazně přepřepočována.[78]

V nabídce byly procesory označené jako Ryzen 3, 5 a 7. Procesory Ryzen 3 byly čtyřjádrové, obsahovaly tedy jeden modul CCX. Procesory Ryzen 5 byly čtyř až šestijádrové, skládaly se ze dvou modulů CCX, z nichž každý modul měl jedno deaktivované jádro. Procesory Ryzen 7 byly osmijádrové, složené ze dvou modulů CCX.

### **Zen+ - 2. generace Zen, 2018**

Architektura Zen + je vylepšením původní architektury Zen. Došlo ke zmenšení výrobního procesu na 12 nm, což umožnilo zvýšit pracovní frekvence až o 300 MHz. Snížena byla také latence pamětí cache, nově přibyla také podpora pamětí DDR4 o rychlosti až 2933 MHz, původní architektura podporovala maximálně 2667 MHz. [79]

### **Zen 2 - 3. generace Zen, 2019**

V roce 2019 došlo k dalšímu vylepšení architektury Zen nazvané Zen 2. Tato architektura přinesla změnu v designu samotného procesoru. Nově se jádro skládá z chipletu<sup>18</sup>, který obsahuje dva CCX moduly a centrálního I/O čipu. Tyto chiplety jsou vyrobeny 7nm výrobním procesem, I/O čip je vyroben 12nm výrobním

---

<sup>18</sup> Chiplet = modul sdružující několik jader do jednoho čipu

procesem. Další změnou bylo zvětšení paměti L3 cache na dvojnásobek oproti předchozí generaci. Nově byla do nabídky procesorů přidána řada Ryzen 9, která obsahovala 12 až 16 jader. [80]



## 4 Typy procesorů – CISC, RISC

Procesory je možné dělit do několika kategorií dle typu souboru instrukcí. Základní kategorie se nazývají CISC<sup>19</sup> a RISC<sup>20</sup>, další zajímavé kategorie jsou například MISC<sup>21</sup> či VLIW<sup>22</sup>. Dnešní procesory nejsou založené čistě na jedné či druhé kategorii, ale spíše kombinují vlastnosti obou.

### 4.1 Architektura CISC

Procesory založené na architektuře CISC se označují také jako procesory se složitým souborem instrukcí. Tyto procesory se vyznačují rozsáhlým souborem instrukcí. Některé instrukce v tomto souboru byly navrženy tak, aby vykonávaly i několik činností, které by jinak bylo nutné vykonat samostatně. Díky těmto složitým instrukcím bylo možné psát kratší kód, čímž byla snížena velikost programu. Jednou z takovýchto složitých instrukcí je MULT, která operuje přímo nad pamětí a není nutné využití instrukcí pro načítání a ukládání z/do paměti. Díky tomu není potřeba, aby procesory obsahovaly mnoho registrů. Hlavní myšlenkou této architektury je tedy snaha o celkové zmenšení počtu instrukcí na úkor doby zpracování instrukcí. [81]

Na architektuře CISC jsou založeny například procesory Intel 8080 či Zilog Z80.

### 4.2 Architektura RISC

Procesory založené na architektuře RISC se označují také jako procesory s redukováným souborem instrukcí. Tato architektura je založena na myšlence omezení instrukčního souboru pouze na nejvíce využívané jednoduché instrukce a tím zjednodušení řadiče procesoru. Následkem tohoto omezení bylo zvětšení programů, neboť pro vykonání jedné složité instrukce bylo nutné volat několik jednoduchých instrukcí. [82]

---

<sup>19</sup> Complex Instruction Set Computer

<sup>20</sup> Reduced Instruction Set Computer

<sup>21</sup> Minimal Instruction Set Computer

<sup>22</sup> Very Long Instruction Word

Architektura RISC se vyznačuje několika charakteristickými rysy:

- malý počet instrukcí
- přístup do paměti pouze pomocí instrukcí LOAD a STORE
- instrukce mají jednotnou délku a formát
- velký počet registrů
- v každém strojovém cyklu by měla být dokončena jedna instrukce

Z těchto charakteristik vyplývají výhody – díky jednotnému formátu a velikosti je procesor schopen rychleji řadit instrukce do fronty ke zřetěženému zpracování. Následně je také možné je díky jejich jednoduchosti rychleji zpracovat. Nevýhodou je vyšší paměťová náročnost aplikací, neboť je nutné psát více instrukcí pro vykonání složitých úkonů. [83]

### **4.3 Další architektury – VLIW, MISC**

#### **Architektura VLIW**

Do procesorů architektur CISC či RISC bylo pro zvyšování výkonu postupně implementováno mnoho technologií, které zvýšily efektivitu zpracování instrukcí. Tyto technologie však významně zvyšovaly složitost výroby a tím i konečnou cenu procesorů. Současně se obě tyto architektury vyznačovaly tím, že v jedné instrukci byla uložena pouze jedna operace. Naproti tomu instrukce v procesorech architektury VLIW mohly obsahovat více operací, které mohly běžet paralelně. Tyto procesory byly taktéž jednodušší, neboť určování pořadí instrukcí a rozhodování, zda je možné operace vykonat paralelně, bylo delegováno na překladač, popřípadě na programátora. [84]

Tyto procesory, podobně jako procesory RISC obsahují instrukce s pevnou délkou. Délka instrukce je však oproti RISC instrukcím, které mají 32 bitů, mnohem větší – až stovky bitů. Tato instrukce může být rozdělena do několika polí různé nebo stejné délky, a v každém tomto poli může být umístěna jedna operace. Díky tomuto rozdělení je možné po načtení jedné instrukce vykonat několik různých operací najednou. [84]

Tato zajímavá architektura má několik nevýhod, kvůli kterým se v osobních počítačích neujala. Pokud nebylo v jednotlivých instrukcích uloženo více operací, výkon se výrazně snižoval. Další nevýhodou je absence zpětné kompatibility – při každé změně struktury procesoru bylo nutné program překompilovat. Z tohoto důvodu se tato architektura ujala hlavně u specializovaných DSP<sup>23</sup>, které nejsou zaměřené ke všestrannému využití jako procesory v osobních počítačích. [84]

### **Architektura MISC**

Architektura MISC je založena na myšlence vytvoření co nejjednoduššího procesoru s použitím minimálního počtu instrukcí. Díky využití zásobníků lze snížit počet kroků nutných k vykonání jedné instrukce, neboť na rozdíl od jiných architektur není nutné dekódovat instrukce z různých registrů. Nevýhodou je zvyšující se délka sekvence operací pro vykonání složitějších či neimplementovaných instrukcí. Díky své jednoduchosti a nízké spotřebě energie jsou tyto procesory vhodné k využití například jako řídicí jednotky spotřební elektroniky či různých radičích. Příkladem procesoru postaveném na architektuře MISC je procesor MuP21. [85] Známé využití procesoru založeného na architektuře MISC bylo v projektu STEREO, který byl zaměřen na zkoumání Slunce.

---

<sup>23</sup> Digital Signal Processor

## 5 Moorův zákon

Moorův zákon je empirické pravidlo o exponenciálním růstu výpočetního výkonu obvodů v elektronice, které roku 1965 vyslovil spoluzakladatel firmy Intel Gordon Moore.

### 5.1 Gordon E. Moore

Gordon E. Moore, narozen 3. ledna 1929 v San Franciscu, je americký podnikatel a spoluzakladatel firmy Intel Corporation. Vystudoval chemii na Kalifornské univerzitě v Berkeley, roku 1954 získal titul Ph.D. v oboru chemie a fyziky na Kalifornském technologickém institutu (California Institute of Technology, zkráceně Caltech). V roce 1956 začal pracovat v Shockley Semiconductor Laboratory, laboratoři založené Williamem Shockleym pro výzkum výrobních procesů tranzistorů na bázi křemíku. Po roce a půl spolu se sedmi dalšími pracovníky odešel a založil firmu Fairchild Semiconductor Corporation, která se zanedlouho stala hlavním výrobcem tranzistorů. Roku 1968 spolu s Robertem Noycem založil firmu Intel Corporation. [13]

### 5.2 Vznik Moorova zákona, aktuálnost

Roku 1965 byl Gordon E. Moore požádán redakcí časopisu Electronics o predikci vývoje polovodičového průmyslu pro dalších deset let. Tuto predikci sepsal do článku „Cramming more components onto integrated circuits“: *„The complexity for minimum component costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year (see graph on next page). Certainly over the short term this rate can be expected to continue, if not to increase. Over the longer term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least 10 years. That means by 1975, the number of components per integrated circuit for minimum cost will be 65,000.“* [86]. Dle Intelu [87] byl tento odhad velmi přesný, celkem bylo v novém paměťovém čipu Intelu 65536 tranzistorů. Zároveň v tomto článku formuloval výrok, který je považován za Moorův zákon – že počet tranzistorů v čipu se každý rok zdvojnásobí. [86] V roce 1975 svůj výrok z důvodu zpomalování tohoto trendu upravil z jednoho na dva roky.

Zhodnocením aktuálního stavu a platnosti Moorova zákona se zabývali CHANG, Yu Sang, Jinsoo LEE a Yun Seok JUNG ve svém článku „Are Technology Improvement Rates of Knowledge Industries Following Moore’s Law?: An Empirical Study of Microprocessor, Mobile Cellular, and Genome Sequencing Technologies“ [88], ve kterém na základě zkoumání vývoje za posledních 40 let dospěli k názoru, že Moorův zákon je stále i přes odchylky vývoje platný a předpokládají platnost nejméně dalších deset let. Předpověď na delší dobu není jednoduché určit, neboť polovodičové technologie mohou být nahrazeny jinými technologiemi. [88]

V posledních několika letech je možné sledovat postupné zpomalení růstu počtu tranzistorů obsažených v čipu procesoru. Toto zpomalení je důsledkem nutnosti nasazení a vyladění nové výrobní technologie pro dosažení menšího výrobního procesu. Konkrétně lze toto zpomalení sledovat například na procesorech firmy Intel, které byly kvůli potížím s implementací 10nm výrobního procesu až donedávna vyráběny 14nm výrobním procesem. Problémy zmenšování výrobního procesu a tedy i zvyšování počtu tranzistorů v procesoru by měly být vyřešeny novým výrobním postupem využívajícím EUV<sup>24</sup> fotolitografie, který umožňuje další zmenšování výrobního procesu pod 7 nm.

---

<sup>24</sup> Extreme Ultra Violet

## 6 Možná budoucnost vývoje procesorů

Osobní počítače, ať už stolní či přenosné, jsou stále používány k práci i zábavě, a to i přes rostoucí oblibu mobilních zařízení. Proto se firmy Intel i AMD stále věnují vývoji nových a lepších procesorů. Aktuálním trendem ve vývoji je snaha zvýšit výpočetní výkon pomocí přidávání jader a zmenšování výrobního procesu. Vylepšení se také odehrávají v optimalizaci zpracování kódu, například firma AMD využívá prvky AI<sup>25</sup> pro vylepšení predikce větvení.

Jednou z možností budoucího vývoje procesorů je využití v kvantových počítačích. Tato technologie je sice stále na počátku vývoje, ale některým firmám se již podařilo sestavit kvantové počítače s desítkami qubitů, což je obdoba bitů v běžných počítačích. Kvantové počítače jsou založené na principech kvantové fyziky a mají být schopné řešit problémy, které ani nejmodernější superpočítače nejsou schopné v rozumném čase vyřešit. Firma IBM dokonce nabízí přístup ke kvantovému počítači pomocí programu IBM Q Experience.

### 6.1 Předpokládaný vývoj procesorů firem Intel a AMD

Firma Intel na konci roku 2019 představila svoje plány na budoucí vývoj v nejbližších deseti letech. Dle těchto plánů plánuje využít novou EUV fotolitografii, díky které bude vyrábět procesory 7nm výrobním procesem. Tento výrobní proces Intel plánuje postupně zmenšovat až na 1,4 nm v roce 2029. Každý tento výrobní proces plánuje dvakrát vylepšit (vylepšený proces se bude značit + či ++) a poté přejít na menší. Další zajímavou vlastností vývoje procesorů Intel bude tzv. back porting – možnost navrhnout procesor pro určitý výrobní proces, ale v případě potřeby jej bude možné vyrobit na posledním vylepšení předcházející generace výrobního procesu. [89]

Firma AMD představila své plány do budoucna na své konferenci Financial Analyst Day 5. března 2020. V roce 2020 plánuje představení nové mikroarchitektury označené jako Zen 3, postavené stále na 7nm výrobním procesu. Zatím nebylo

---

<sup>25</sup> Artificial Intelligence

oznámeno, zda budou procesory s touto mikroarchitekturou vyrobeny pomocí nové EUV fotolitografie či starší DUV<sup>26</sup> fotolitografie. Do roku 2022 také AMD plánuje vydat mikroarchitekturu Zen 4 založenou na 7nm výrobním procesu. [90]

---

<sup>26</sup> Deep UltraViolet

## 7 Testování procesorů

Testování procesoru je proces měření výkonnosti procesoru pomocí specializovaných testů. Tyto testy jsou zaměřeny na různé disciplíny, například výkonnost při výpočtech s celými čísly, čísly s desetinnou čárkou či kryptografií. Výsledky těchto testů slouží k porovnání výkonnosti různých procesorů.

Testování proběhne na celkem čtyřech mnou zajištěných procesorech. První dva testované procesory jsou firmy AMD, konkrétně AMD Ryzen 1600 a AMD Ryzen 2600X. Další dva testované procesory jsou Intel Core i5 7400 a Intel Core i5 9600K. Testy procesorů budou provedeny jednou, bez opakování.

Testování procesorů proběhne pomocí programu AIDA64 Extreme společnosti FinalWire Ltd. ve verzi 6.20.5300. Tato maďarská společnost, založená v roce 2010, je složena převážně z vývojářů původního programu AIDA, který byl představen v roce 2000.

### 7.1 Testovací software

Pro testování procesorů je k dispozici mnoho programů od různých společností. Tyto programy obsahují testy založené na různých algoritmech, proto často není možné porovnávat výsledky testů mezi různými programy. Tyto testy také bývají vylepšovány, proto výsledky nemusí být porovnatelné ani mezi jednotlivými verzemi jednoho programu. Mezi známé testovací programy patří SANDRA společnosti SiSoftware, Cinebench společnosti Maxon či PerformanceTest společnosti PassMark.

Testování vybraných procesorů proběhne za použití programu AIDA64 ve verzi Extreme. Tato verze je placená, pro účely vyzkoušení ale nabízí 30denní zkušební lhůtu. Kromě testování procesoru tento program nabízí testování ostatních komponent, mnoho diagnostických dat o celém systému a informace o nainstalovaném software. Výsledky testů je možné porovnávat s porovnávacími výsledky obsaženými v aplikaci.



## **7.2 Zvolené výkonnostní testy**

Testování výkonu proběhne ve vícevláknovém režimu, který využije veškeré možnosti procesoru. Procesory budou testovány v několika disciplínách – aritmetika, zpracování multimediálních instrukcí, zpracování obrazu či kryptografii.

### **7.2.1 CPU Queen**

Tento test vyhodnocuje schopnost správné predikce větvení. Pro testování této vlastnosti je využita šachová úloha nazvaná problém dam na šachovnici 10 na 10. Procesor při řešení tohoto problému hledá možnosti rozmístění 10 královen na šachovnici tak, aby se navzájem neohrožovaly. [91]

### **7.2.2 CPU PhotoWorxx**

Tento test měří výkonnost procesoru při různých úlohách zpracování obrazu, jako je například otáčení obrazu či konverze barevného prostoru. Při tomto testování je zátěž zaměřena na zpracovávání celočíselných SIMD<sup>27</sup> instrukcí za použití multimediálních rozšíření instrukční sady, jako je například SSE4.1. Výsledky jsou uváděny v jednotkách Pixel/s. [91]

### **7.2.3 CPU ZLib**

Test CPU Zlib je soustředěn na výkonnost procesoru a paměti při provádění komprese a dekomprese souborů za pomoci knihovny Zlib. Výsledky jsou uváděny v jednotkách MB/s. [91]

### **7.2.4 CPU AES, SHA3**

Pomocí testů AES a SHA3 je testován celočíselný výkon procesoru při šifrování, dešifrování a hashování. Pro šifrování je použit šifrovací standard AES (Advanced Encryption Standard), hashování je provedeno hashovacím algoritmem SHA3-512. Při testování jsou využity různá rozšíření instrukční sady. Výsledky jsou uváděny v jednotkách MB/s. [91]

---

<sup>27</sup> Simple Instruction Multiple Data

### **7.2.5 FPU Julia, Mandel**

Pro testování výkonnosti matematického koprocesoru při výpočtech s plovoucí desetinnou čárkou bude použit test FPU Julia a FPU Mandel. FPU Julia pracuje s čísly ve formátu single precision (pro uložení čísla je použito 32 bitů), FPU Mandel s čísly ve formátu double precision (pro uložení čísla je použito 64 bitů). V testu FPU Julia dochází k výpočtu Juliovy množiny, v testu FPU Mandel k výpočtu Mandelbrotovy množiny. [91]

### **7.2.6 FP32/64 Ray-Trace**

Poslední test je věnován testování výkonu FPU s využitím SIMD instrukcí při výpočtu Ray-Tracingu s čísly ve formátu single a double precision. Výsledky jsou uváděny v jednotkách Ray/s. [91]

## **7.3 Testované procesory a sestavy**

V této části budou popsány důležité parametry všech čtyř testovaných procesorů. V tabulkách budou také zařazeny informace o chipsetu a typu paměti RAM.

### **7.3.1 AMD Ryzen 5 2600X**

Prvním testovaným procesorem je AMD Ryzen 5 2600X. Tento procesor je založen na druhé generaci architektury Zen, označené jako Zen+. Firma AMD jej představila v roce 2018. Je vyroben 12nm výrobním procesem a skládá se ze šesti jader s podporou technologie Multi-Threading. Označení X na konci znamená vyšší základní frekvenci o 200 MHz a TDP o 30 W než model Ryzen 5 2600. Jádra tohoto procesoru pracují na základní frekvenci 3,6 GHz, při zátěži mohou dosáhnout až na 4,2 GHz. Velikost pamětí L1 cache je 576 KB, L2 cache je 3 MB a L3 cache je 16 MB.

<b>AMD Ryzen 5 2600X</b>	
<b>Základní frekvence:</b>	3,6 GHz
<b>Turbo frekvence:</b>	4,2 GHz
<b>Počet jader/vláken:</b>	6/12
<b>Výrobní proces:</b>	12 nm
<b>Architektura:</b>	Zen+
<b>Patice:</b>	AM4
<b>TDP:</b>	95 W
<b>Cache L1/L2/L3:</b>	576 KB/3 MB/16 MB
<b>Chipset:</b>	B450
<b>Paměť RAM:</b>	DDR4 3200 MHz

**Tabulka 1: Parametry procesoru AMD Ryzen 5 2600X**

Zdroj: vlastní zpracování

### 7.3.2 AMD Ryzen 5 1600

Druhým testovaným procesorem je o generaci starší procesor AMD Ryzen 5 1600, představený v roce 2017. Tento procesor je vyroben starším, 14nm výrobním procesem a skládá se ze šesti jader s podporou technologie Multi-Threading. Pracovní frekvence jader procesoru je 3,2 GHz, v režimu Turbo je procesor schopen dosáhnout frekvence až 3,6 GHz. Velikost paměti L1 cache je 576 KB, L2 cache je 3 MB a L3 cache je 16 MB.

<b>AMD Ryzen 5 1600</b>	
<b>Základní frekvence:</b>	3,2 GHz
<b>Turbo frekvence:</b>	3,6 GHz
<b>Počet jader/vláken:</b>	6/12
<b>Výrobní proces:</b>	14 nm
<b>Architektura:</b>	Zen
<b>Patice:</b>	AM4
<b>TDP:</b>	65 W
<b>Cache L1/L2/L3:</b>	576 KB/3 MB/16 MB
<b>Chipset:</b>	B350
<b>Paměť RAM:</b>	DDR4 2133 MHz

**Tabulka 2: Parametry procesoru AMD Ryzen 5 1600**

Zdroj: vlastní zpracování

### 7.3.3 Intel Core i5 9600K

Třetím testovaným procesorem je Intel Core i5 9600K, představený v roce 2018. Tento procesor byl vyroben 14nm výrobním procesem a je založen na architektuře

deváté generace nazvané Coffee Lake Refresh. Velikost paměti L1 cache je 64 KB pro každé jádro, L2 cache 256 KB pro každé jádro a L3 cache 9 MB. Paměť L3 cache je sdílená všemi jádry. Procesor se skládá ze šesti jader bez podpory HyperThreadingu. Tyto jádra pracují na základní frekvenci 3,7 GHz, v režimu Turbo až 4,6 GHz.

<b>Intel Core i5 9600K</b>	
<b>Základní frekvence:</b>	3,7 GHz
<b>Turbo frekvence:</b>	4,6 GHz
<b>Počet jader/vláken:</b>	6/6
<b>Výrobní proces:</b>	14 nm
<b>Architektura:</b>	Coffee Lake Refresh
<b>Patice:</b>	FCLGA1151
<b>TDP:</b>	95 W
<b>Cache L1/L2/L3:</b>	6×64 KB/6×256 KB/9 MB
<b>Chipset:</b>	Z390
<b>Paměť RAM:</b>	DDR4 2400 MHz

**Tabulka 3: Parametry procesoru Intel Core i5 9600K**

Zdroj: vlastní zpracování

#### 7.3.4 Intel Core i5 7400

Posledním testovaným procesorem je Intel Core i5 7400. Tento procesor, představený na začátku roku 2017, patří do sedmé generace označené jako Kaby Lake. Je vyroben 14nm výrobním procesem a určen do patice FCLGA1151. Skládá se ze čtyř jader bez podpory Hyper-Threadingu. Základní frekvence jádra je 3 GHz, v Turbo režimu může dosáhnout až 3,5 GHz. Paměti L1 a L2 cache mají stejnou velikost jako druhý testovaný procesor Intel, paměť L3 cache má velikost 6 MB.

<b>Intel Core i5 7400</b>	
<b>Základní frekvence:</b>	3 GHz
<b>Turbo frekvence:</b>	3,5 GHz
<b>Počet jader/vláken:</b>	4/4
<b>Výrobní proces:</b>	14 nm
<b>Architektura:</b>	Kaby Lake
<b>Patice:</b>	FCLGA1151
<b>TDP:</b>	65 W
<b>Cache L1/L2/L3:</b>	4×64 KB/4×256 KB/6 MB
<b>Chipset:</b>	B150
<b>Paměť RAM:</b>	DDR4 2133 MHz

**Tabulka 4: Parametry procesoru Intel Core i5 7400**

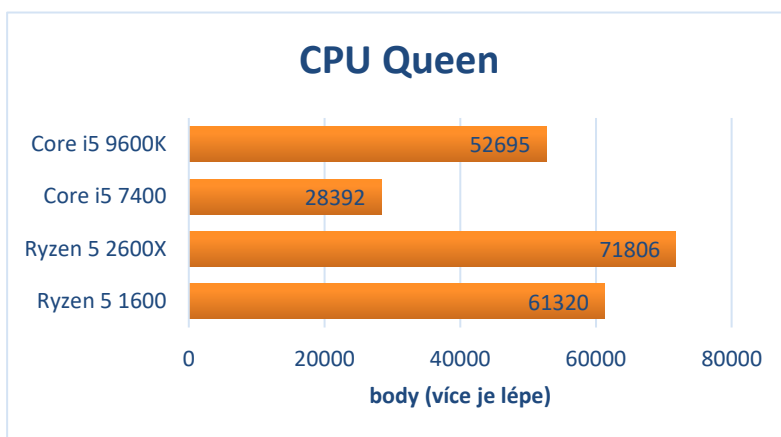
Zdroj: vlastní zpracování

## 7.4 Výsledky testování

V této části budou zobrazeny a popsány dosažené výsledky všech procesorů v jednotlivých testech. Procesory byly podrobeny testování ve výše popsáných testech, které jsou zaměřeny na testování výkonnosti při práci s celými čísly a s čísly s plovoucí desetinnou čárkou.

### 7.4.1 Výsledky testu CPU Queen

V testu CPU Queen, který je zaměřen na schopnost predikce větvení, si nejlépe vedly procesory AMD Ryzen 2600x s 71806 body a AMD Ryzen 5 1600 s 61320 body. Procesory Intel Core i5 9600K a Intel Core i5 7400 obsadily třetí a čtvrté místo s 52695 body a 28392 body. Procesory AMD dosáhly výrazně vyšších výsledků díky šesti jádrům s technologií SMT, díky které jsou schopny zpracovávat až 12 vláken najednou. Ryzen 5 2600x je oproti druhému procesoru AMD výkonnější díky vyšší frekvenci jader a vylepšené architektuře. Přibližně poloviční rozdíl mezi procesory Intel je možné vysvětlit mezigeneračním vylepšením mikroarchitektury a rozdílem dvou jader procesoru. Níže uvedený graf zobrazuje výsledky procesorů v tomto testu.



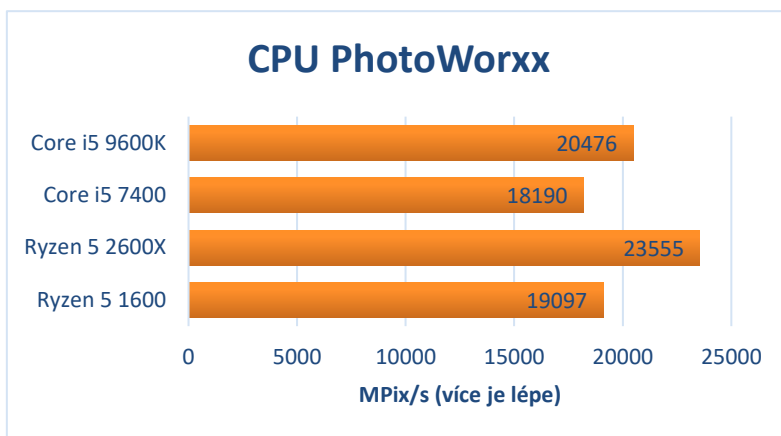
**Graf 1: Výsledky testu CPU Queen**

Zdroj: vlastní zpracování

### 7.4.2 Výsledky testu CPU PhotoWorxx

V testu CPU PhotoWorxx je testován výkon při zpracovávání SIMD instrukcí při různých grafických operacích. V tomto testu si vedl nejlépe procesor AMD Ryzen

5 2600X, který dokázal zpracovat 23555 MPix/s. Za ním následoval procesor Intel Core i5 9600K s 20476 MPix/s. Třetí a čtvrté místo zaujaly procesory AMD Ryzen 5 1600 s 19097 MPix/s a Intel Core i5 7400 s 18190 MPix/s. V následujícím grafu jsou znázorněné výsledky tohoto testu.

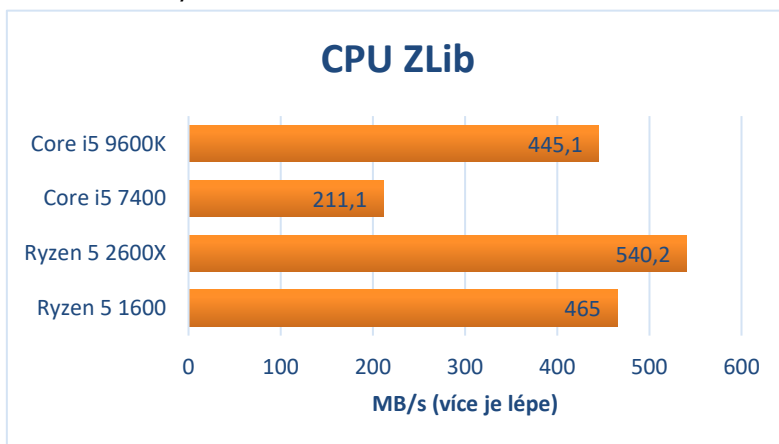


**Graf 2: Výsledky testu CPU PhotoWorxx**

Zdroj: vlastní zpracování

### 7.4.3 Výsledky testu CPU ZLib

Test CPU ZLib je zaměřen na výkonnost procesoru při kompresi souborů. V tomto testu byl nejvýkonnější procesor AMD Ryzen 5 2600X s výsledkem 540,2 MB/s. S výsledkem 465 MB/s se na druhém místě umístil AMD Ryzen 5 1600. Procesor Intel Core i5 9600K dosáhl rychlosti 445,1 MB/s, a je tedy o necelých 20 MB/s méně výkonný při kompresi než druhý procesor AMD. Procesor Intel Core i5 7400 dosáhl rychlosti pouze 211,1 MB/s.



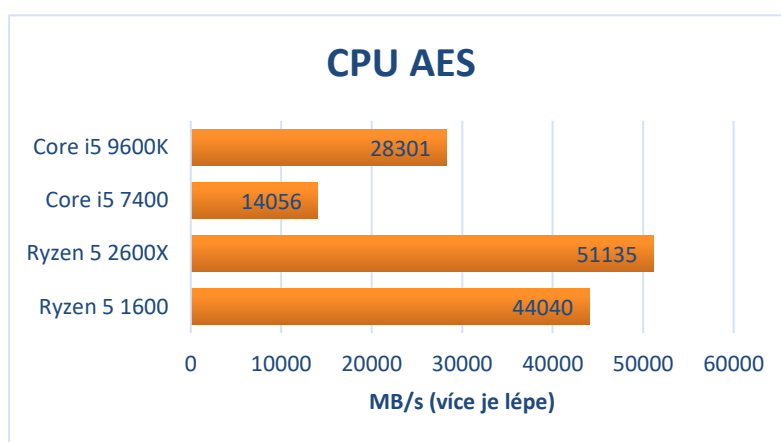
**Graf 3: Výsledky testu CPU ZLib**

Zdroj: vlastní zpracování

#### 7.4.4 Výsledky testů CPU AES, SHA3

Výkonnostní testy CPU AES a SHA3 jsou zaměřeny na testování výkonu procesorů při šifrování a hashování.

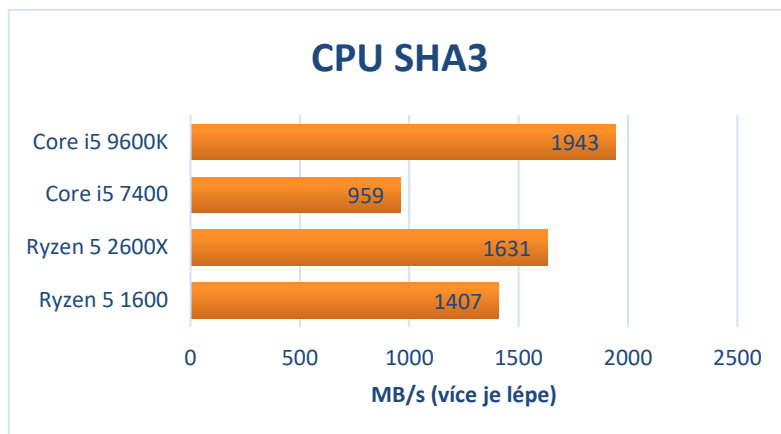
V testu CPU AES obsadily první dvě místa procesory AMD Ryzen 5 2600X s rychlostí 51135 MB/s a AMD Ryzen 5 1600 s rychlostí 44040 MB/s. Procesor Intel Core i5 9600K obsadil třetí místo s dosaženým výsledkem 28301 MB/s. Procesor Intel Core i5 7400 dosáhl nejhoršího výsledku, celkem 14056 MB/s. Následující graf zobrazuje tyto výsledky graficky.



**Graf 4: Výsledky testu CPU AES**

Zdroj: vlastní zpracování

V testu hashování SHA3 dosáhl nejvyšší rychlosti procesor Intel Core i5 9600K – 1943 MB/s. Druhou nejvyšší rychlost dosáhl procesor AMD Ryzen 5 2600X s 1631 MB/s. Předposledním procesorem je AMD Ryzen 5 1600 s rychlostí 1407 MB/s, poslední Intel Core i5 7400 dosáhl rychlosti 959 MB/s. V následujícím grafu jsou znázorněny tyto výsledky.



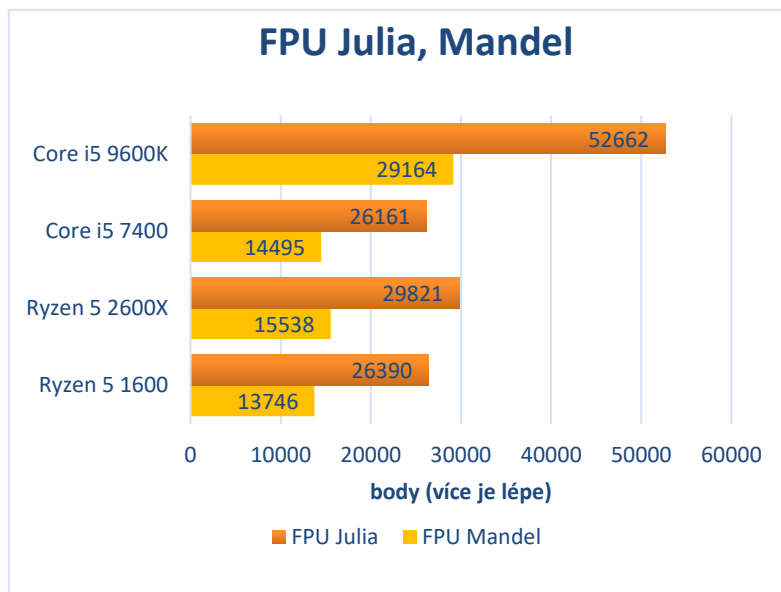
**Graf 5: Výsledky testu CPU SHA3**

Zdroj: vlastní zpracování

#### 7.4.5 Výsledky testů FPU Julia, Mandel

Výkonnostní testy FPU Julia a Mandel jsou soustředěné na testování výkonu FPU jednotek procesoru. V obou těchto testech dominoval procesor Intel Core i5 9600K, který dosáhl 52662 bodů v testu FPU Julia a 29164 bodů v testu FPU Mandel. Druhé místo obsadil s výrazným bodovým rozdílem procesor AMD Ryzen 5 2600X s 29821 body v testu Julia a 15538 body v testu Mandel. Předposledním procesorem v testu FPU Julia se stal AMD Ryzen 5 1600 s 26390 body, v testu Mandel byl tento procesor poslední s 13746 body. Procesor Intel Core i5 7400 dosáhl v testu FPU Julia 26161 bodů a v testu FPU Mandel 14495 bodů. V následujícím grafu jsou tyto vyobrazeny tyto výsledky.



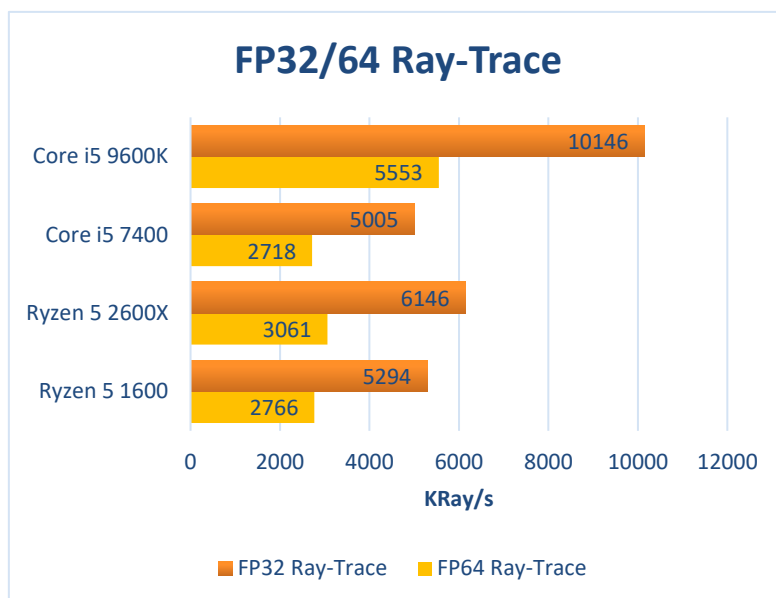


**Graf 6: Výsledky testů FPU Julia a FPU Mandel**

Zdroj: vlastní zpracování

#### 7.4.6 Výsledky testů FP32/64 Ray-Trace

Posledním testem těchto procesorů je FP32/64 Ray-Trace, zaměřený na testování FPU při výpočtech grafické scény. Stejně jako v předchozím testu FPU, i v tomto testu exceloval procesor Intel Core i5 9600K. V testu FP32 dosáhl výsledku 10146 KRay/s, v testu FP64 dosáhl 5553 KRay/s. Ostatní tři procesory dosáhly výrazně menších výsledků, procesor AMD Ryzen 5 2600X dosáhl v testu FP32 výsledku 6146 KRay/s a 3061 KRay/s v testu FP64. Třetím procesorem se stal AMD Ryzen 5 1600 s výsledkem 5294 KRay/s v testu FP32 a 2766 KRay/s v testu FP64. Posledním procesorem je Intel Core i5 7400 s 5005 KRay/s v testu FP32 a 2718 v testu FP64. Následující graf tyto výsledky znázorňuje.



**Graf 7: Výsledky testů FP32 a FP64 Ray-Trace**

Zdroj: vlastní zpracování

## 7.5 Shrnutí výsledků

Testování vybraných procesorů proběhlo za použití testovacího softwaru AIDA64 společnosti FinalWire Ltd. Tyto procesory byly vybrány s ohledem na jejich aktuálnost a vzájemnou konkurenci. Mezi těmito procesory byly aktuální procesor firmy Intel Core i5 9. generace a procesor Core i5 o dvě generace starší. Dalšími dvěma procesory byl stále prodávané procesory firmy AMD Ryzen 5 první a druhé generace.

V testech zaměřených na výkon při operacích s celými čísly se nejlépe projevil procesor AMD Ryzen 5 2600X, který ve všech testech kromě hashovacího dosáhl nejlepších výkonů a byl celkově o 27% výkonnější než procesor Intel Core i5 9600K. O generaci starší procesor Ryzen 5 1600 byl také výkonnější než procesor Core i5 9600K, celkově o 8 %. Procesor Intel Core i5 7400 v těchto testech za ostatními zaostával, výkonem se blížil procesoru AMD Ryzen 1600 jen v testu CPU PhotoWorxx. V testech zaměřených na výkon při operacích s čísly s plovoucí desetinnou čárkou se naopak jako nejvýkonnější projevil procesor Intel Core i5 9600K, který byl průměrně o 78% výkonnější než jeho protějšek od AMD. Ostatní procesory v těchto testech dosáhly vzájemně podobné výsledky.

Firma AMD se vydáním procesorů řady Ryzen dostala výkonem minimálně na úroveň procesorů Intel, což dokazují výsledky testů procesorů Intel Core i5 7400 a AMD Ryzen 5 1600. Velice dobré výsledky procesorů firmy AMD donutily Intel výrazně vylepšit své procesory, což lze pozorovat z výsledků testů procesoru Intel Core i5 9600K.

Z hlediska ceny jsou aktuální procesory Intel výrazně dražší oproti procesorům AMD. Procesor AMD Ryzen 5 2600X lze ke dni 24. 3. 2020 pořídit za 4159 Kč [92], procesor firmy Intel lze k témuž dni pořídit za 7374 Kč. [93] Za částku nižší, než je cena procesoru Intel lze pořídit i o rok novější procesor AMD Ryzen 5 3600X, který ke stejnému datu stojí 6368 Kč. [94] Vzhledem k výsledkům testů a poměru cena/výkon jsou tak procesory firmy AMD lepší volba.

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit čtenáře, ať už z řad běžných uživatelů či neodborníků na procesory, s historickým vývojem jedné z nejdůležitějších součástí celého počítače – procesoru. Čtenář byl seznámen se základními pojmy a koncepty rozvržení počítačů v kapitole 2.

Procesor prošel od svého vzniku velmi inovativním vývojem. Z původního setu několika desek plošných spojů vyvinutého k jednomu účelu se procesor postupně vyvinul až do nynější podoby. Při jeho vývoji byly zkoušeny různé architektury či způsoby zvyšování výkonu, které se setkaly s větším či menším úspěchem. Všechny tyto kroky ale vedly k procesorům takovým, jaké je známe dnes. Celý tento dlouhý vývoj je přehledně zpracován v kapitole 3.

Při vývoji procesorů vznikly dva hlavní koncepty uspořádání instrukční sady, které se dodnes v jistých formách objevují v procesorech – architektura RISC a CISC. Popisu a rozdílům těchto dvou architektur je věnována kapitola 4. K vývoji procesorů se váže také tzv. Moorův zákon, kterému je věnována kapitola 5.

Zatímco kapitola 3 byla věnována historii vývoje procesorů, kapitola 6 je věnována budoucnosti. V této kapitole je práce zaměřena na možný budoucí směr vývoje procesorů.

Poslední část této bakalářské práce je věnována testování dvou procesorů aktuální generace a dvou jejich předchůdců pomocí sady několika testů v programu AIDA64 společnosti FinalWire Ltd. Tyto vybrané procesory byly otestovány několika testy zaměřenými na různé oblasti činností, které procesor provádí. Výsledky těchto testů byly zpracovány, vzájemně porovnány a vyhodnoceny. Ve výsledcích se promítl nejen mezigenerační vývoj, ale také výrazný pokrok ve vývoji procesorů firmy AMD. Tato část je popsána v kapitole 7.

## 9 Seznam použité literatury

- [1] MINASI, Mark. Velký průvodce hardwarem. Praha: Grada, 2002. Profesional. ISBN 80-247-0273-8.
- [2] THORNTON, Scott. The Internal Processor Bus: data, address, and control bus. Microcontroller Tips [online]. 29. 12. 2016 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.microcontrollertips.com/internal-processor-bus-data-address-control-bus-faq/>
- [3] HRUSKA, Joel. How L1 and L2 CPU Caches Work, and Why They're an Essential Part of Modern Chips. Extreme Tech [online]. Ziff Davis, LLC. PCMag Digital Group, 2018, 30. 8. 2018 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/188776-how-l1-and-l2-cpu-caches-work-and-why-theyre-an-essential-part-of-modern-chips>
- [4] PELIKÁN, Jaroslav. Von Neumannovo schéma. Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, [1999]. Dostupné také z: <http://souvk.cz/public/default/userfiles/file/vonneumannovo-schema-i-s-dodatkem.pdf>
- [5] KAPOOHT. Schéma von Neumannovy architektury. In: Wikimedia Commons [online]. [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Von\\_Neumann\\_Architecture\\_CZ.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Von_Neumann_Architecture_CZ.svg)
- [6] THORNTON, Scott. What's the difference between Von-Neumann and Harvard architectures? [online]. 8.3.2018 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: <https://www.microcontrollertips.com/difference-between-von-neumann-and-harvard-architectures/>
- [7] LOS, Nessa. Harvard architecture. In: Wikimedia Commons [online]. 11.5.2010 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Harvard\\_architecture#/media/File:Harvard\\_architecture.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Harvard_architecture#/media/File:Harvard_architecture.svg)
- [8] OLIVKA, Petr. Architektura počítačů. Ostrava, 2010. [cit. 2019-10-09]. Dostupné také z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/apps/down/archpoc.pdf>
- [9] BERKUT. Socket 478. In: Wikimedia Commons [online]. 16.8.2005 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socket\\_478.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socket_478.jpg)
- [10] Socket LGA1150 na desce ASUS Z87 DELUXE. In: Deep In IT [online]. 1.6.2013 [cit. 2019-10-09]. Dostupné z: [https://diit.cz/sites/default/files/imagecache/highslide\\_full/socket\\_lga1150\\_na\\_desc\\_e\\_asus\\_z87\\_deluxe.jpg](https://diit.cz/sites/default/files/imagecache/highslide_full/socket_lga1150_na_desc_e_asus_z87_deluxe.jpg)
- [11] THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. William B. Shockley. Encyclopædia Britannica [online]. Encyclopædia Britannica, 15. 11. 2018 [cit. 2018-01]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/William-Shockley>

- [12] SAINT, Christopher a Judy Lynne SAINT. Integrated circuit. Encyclopædia Britannica [online]. Encyclopædia Britannica, 19. 9. 2018 [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/integrated-circuit>
- [13] DENNIS, Michael Aaron. Gordon Moore. Encyclopædia Britannica [online]. Encyclopædia Britannica, 27. 4. 2018 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Gordon-Moore>
- [14] NGUYEN, Thomas. A processor Intel C4004 with grey traces. In: Wikimedia Commons [online]. 10.8.2016 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel\\_C4004.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_C4004.jpg)
- [15] The Story of the Intel® 4004. Intel Corporation [online]. [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-story-of-intel-4004.html>
- [16] SHVETS, Gennadiy. Intel C4004. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/4004/Intel-C4004.html>
- [17] SHVETS, Gennadiy. Intel 4004 microprocessor architecture. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/Arch/4004.html>
- [18] CASS, Stephen. Chip Hall of Fame: Intel 4004 Microprocessor. IEEE Spectrum [online]. 2018, 2. 7. 2018 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/chip-hall-of-fame-intel-4004-microprocessor>
- [19] DUFRESNE, Steven. INVENTING THE MICROPROCESSOR: THE INTEL 4004. Hackaday [online]. 29. 1. 2018 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://hackaday.com/2018/01/29/inventing-the-microprocessor-the-intel-4004/>
- [20] SHVETS, Gennadiy. Intel 8008 (i8008) microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8008/>
- [21] EILERS, Nils. The Intel 8008 support page (unofficial) [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <http://petsd.net/8008.php>
- [22] SHVETS, Gennadiy. Intel 8080 microprocessor family. Cpu-world.com [online]. 2018 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8080/>
- [23] Intel at 50: The 8080 Microprocessor. Intel Corporation [online]. 24. 5. 2018 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://newsroom.intel.com/articles/intel-50-8080-microprocessor/#gs.zH1Muvc>
- [24] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Osmibitové mikroprocesory a mikrořadiče firmy Motorola (1). Root.cz [online]. 26.10.2010 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/osmibitove-mikroprocesory-a-mikroradice-firmy-motorola-1/>

- [25] CULVER, John. CPU of the Day: Fairchild F8 Microprocessor. The CpuShack [online]. Klamath Falls, 8.6.2013 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <http://www.cpushack.com/2013/06/08/cpu-of-the-day-fairchild-f8-microprocessor/>
- [26] SHVETS, Gennadiy. Intersil 6100 microprocessor architecture. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/Arch/6100.html>
- [27] TRONNER, Pavel. MOS 6502: Čip, který započal revoluci. PC TUNING [online]. EMPRESA MEDIA, 2019, 4.3.2015 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/multimedia/hry-a-zabava/33551-mos-6502-cip-ktery-zapocal-revoluci>
- [28] SHVETS, Gennadiy. MOS Technology 6502/650x/651x architecture. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/Arch/650x.html>
- [29] Chip Hall of Fame: MOS Technology 6502 Microprocessor. IEEE SPECTRUM [online]. 2019, 30.6.2017 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/chip-hall-of-fame-mos-technology-6502-microprocessor>
- [30] TMS 9900 Microprocessor Data Manual [online]. Texas Instruments, 1976 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: [http://www.bitsavers.org/components/ti/TMS9900/TMS\\_9900\\_Microprocessor\\_Data\\_Manual\\_May76.pdf](http://www.bitsavers.org/components/ti/TMS9900/TMS_9900_Microprocessor_Data_Manual_May76.pdf)
- [31] Chip Hall of Fame: Texas Instruments TMS9900. IEEE SPECTRUM [online]. 2019, 30.6.2017 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/chip-hall-of-fame-texas-instruments-tms9900>
- [32] SHVETS, Gennadiy. Zilog Z80 microprocessor architecture. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/Arch/Z80.html>
- [33] CHAUNDRY, Gary. Z80 Introduction. Home of the Z80 CPU [online]. 2019 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.z80.info/z80brief.htm>
- [34] Brandejs, M. Mikroprocesory Intel 8086 – 80486 [online]. Brno: Fakulta informatiky, Masarykova univerzita, 2010. Dostupný z WWW: [http://www.fi.muni.cz/usr/brandejs/Brandejs\\_Mikroprocesory\\_Intel\\_8086\\_80486\\_2010.pdf](http://www.fi.muni.cz/usr/brandejs/Brandejs_Mikroprocesory_Intel_8086_80486_2010.pdf)
- [35] SHVETS, Gennadiy. Intel 8086 microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPU/8086/index.html>
- [36] Chip Hall of Fame: Intel 8088 Microprocessor. IEEE SPECTRUM [online]. 2019, 30.6.2017 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/chip-hall-of-fame-intel-8088-microprocessor>

- [37] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Čtyřicet let existence slavných mikroprocesorů řady Motorola 68000. Root.cz [online]. 2019, 5.11.2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/ctyricet-let-existence-slavnych-mikroprocesoru-rady-motorola-68000/>
- [38] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Procesor sestavený z čipů AMD Am2900 - předchůdce skutečných DSP. Root.cz [online]. 2019, 12.4.2011 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/procesor-sestaveny-z-cipu-amd-am2900-predchudce-skutecných-dsp/>
- [39] SHVETS, Gennadiy. Intel 8087 family. Cpu-World.com [online]. 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8087/index.html>
- [40] MATHIVANAN, N. MICROPROCESSORS, PC HARDWARE AND INTERFACING [online]. Fourth printing. New Delhi: PHI Learning Pvt., 2006 [cit. 2019-11-17]. ISBN 8120323173. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=t9ka7wmt\\_PQC&printsec=frontcover&hl=cs](https://books.google.cz/books?id=t9ka7wmt_PQC&printsec=frontcover&hl=cs)
- [41] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Mikroprocesory s architekturou RISC - čipy AMD 29000 (29k). Root.cz [online]. 2019, 26.7.2011 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/mikroprocesory-s-architekturou-risc-cipy-amd-29000-29k/><https://www.root.cz/clanky/mikroprocesory-s-architekturou-risc-cipy-amd-29000-29k/>
- [42] PELIKÁN, Jaroslav. Procesory INTEL 80x86. Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, [1999]. Dostupné také z: <https://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/I80X86.HTML>
- [43] SHVETS, Gennadiy. Intel 80486 microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/80486/index.html>
- [44] PELIKÁN, Jaroslav. Procesor (mikroprocesor). Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, [1999]. Dostupné také z: <https://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/PARPROC.HTML#INSTR>
- [45] BOLOTOFF, Paul V. Alpha: The History in Facts and Comments [online]. 14.4.2005 [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: [http://alafir.com/articles/alpha\\_history/](http://alafir.com/articles/alpha_history/)
- [46] OPPELT, Dirk. The AMD Am486 DX Processor. Cpu-collection.de [online]. 2019 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <http://www.cpu-collection.de/?l0=co&l1=AMD&l2=486 DX>
- [47] SACK, Harald. The Pentium FDIV Bug. SciHi Blog [online]. 2019 [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <http://scihi.org/the-pentium-fdiv-bug/>
- [48] KRČMÁŘ, Petr. Pro více než 4 GB RAM nepotřebujete 64 bitů - je tu PAE. Root.cz [online]. 2019, 24. 3. 2009 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/pro-4-gb-ram-nepotrebujete-64-bitu-je-tu-pae/>



- [49] OPPELT, Dirk. The AMD 5x86 Processor. Cpu-collection.de [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.cpu-collection.de/?l0=co&l1=amd&l2=5x86>
- [50] SHVETS, Gennadiy. AMD K5 microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/K5/>
- [51] History. AMD K6, K6-2 and K6-III CPU resource [online]. 2013 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <http://www.amd-k6.com/history/>
- [52] ŠERÝ, Michal. Intel Pentium® II [online]. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, 2019 [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <http://home.pf.jcu.cz/~kyklop/SERYM/principy/procesory/PentiumII.html>
- [53] OPPELT, Dirk. The Intel Pentium III Processor. Cpu-collection.de [online]. 2019 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: [http://www.cpu-collection.de/?l0=co&l1=intel&l2=pentium iii](http://www.cpu-collection.de/?l0=co&l1=intel&l2=pentium%20iii)
- [54] SHVETS, Gennadiy. AMD Athlon (Slot A) microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: [http://www.cpu-world.com/CPUs/K7/TYPE-Athlon \(Slot A\).html](http://www.cpu-world.com/CPUs/K7/TYPE-Athlon%20(Slot%20A).html)
- [55] SHVETS, Gennadiy. AMD Athlon microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/K7/TYPE-Athlon.html>
- [56] LAL SHIMPI, Anand. Intel's NetBurst Architecture - The Pentium 4's innards get a name. AnandTech [online]. 2019, 20.8.2000 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/604>
- [57] SHVETS, Gennadiy. Intel Pentium 4 processor families. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: [http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium\\_4/index.html](http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/index.html)
- [58] SHVETS, Gennadiy. AMD Athlon XP microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: [http://www.cpu-world.com/CPUs/K7/TYPE-Athlon XP.html](http://www.cpu-world.com/CPUs/K7/TYPE-Athlon%20XP.html)
- [59] HAVELKA, Marek. Historické procesory AMD z let 2001–2003 v současných testech. PC Tuning [online]. 2019, 9.11.2016 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/43783-historicke-procesory-amd-z-let-20012003-v-soucasnych-testech?start=3>
- [60] VÍTEK, Jan a Petr POPELKA. Přehled desktopových procesorů. Svět Hardware [online]. 17.6.2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/prehled-desktopovych-procesoru/22566-3>
- [61] SHVETS, Gennadiy. AMD Athlon 64 microprocessor family. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: [http://www.cpu-world.com/CPUs/K8/TYPE-Athlon 64.html](http://www.cpu-world.com/CPUs/K8/TYPE-Athlon%2064.html)

- [62] GOODWINS, Rupert. Inside Intel's Core architecture. ZDNet [online]. 20.6.2006 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.zdnet.com/article/inside-intels-core-architecture/>
- [63] SHVETS, Gennadiy. Intel Core 2 Duo / Quad / Extreme processor families. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: [http://www.cpu-world.com/CPUs/Core\\_2/index.html](http://www.cpu-world.com/CPUs/Core_2/index.html)
- [64] KANTER, David. Inside Barcelona: AMD's Next Generation. Real World Technologies [online]. 16.5.2007 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.realworldtech.com/barcelona/>
- [65] SHVETS, Gennadiy. AMD K10 processor families. Cpu-World.com [online]. 2018 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/K10/index.html>
- [66] Intel Tick-Tock Model. Intel Corporation [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/intel-tick-tock-model-general.html>
- [67] PETŘÍČEK, Lukáš. Architektura Intel Nehalem - co přinese nového? Svět Hardware [online]. 13.10.2008 [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/architektura-intel-nehalem-co-prinese-noveho/24586-4>
- [68] OBERMAIER, Z. Intel Sandy Bridge – podrobný rozbor architektury. PC Tuning [online]. 4.1.2011 [cit. 2020-01-27]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/19724-intel-sandy-bridge-podrobny-rozbor-architektury>
- [69] OLŠAN, Jan. Haswell je zde. Inovace a architektura nové generace procesorů Intel. Cnews.cz [online]. 1.6.2013 [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/haswell-je-zde-inovace-a-architektura-nove-generace-procesoru-intel/>
- [70] VÍTEK, Jan. Intel Skylake: test nových Core i7 a Core i5. Svět Hardware [online]. 26.8.2015 [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/recenze-intel-skylake-test-novych-core-i7-a-core-i5/40964>
- [71] SOUČEK, Jiří. Intel tick-tock je mrtvý, nová strategie je PAO. Deep In IT [online]. 24.3.2016 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/intel-tick-tock-je-mrtvy>
- [72] OBERMAIER, Z. Core i7-7700K s taktem 4,5 GHz (Kaby Lake) v testu. PC Tuning [online]. 3.1.2017 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/44639-core-i7-7700k-s-taktem-4-5-ghz-kaby-lake-v-testu>
- [73] CHIAPPETTA, Marco. Intel Core i7-8700K And Core i5-8400 Review: Coffee Lake - More Cores, Performance And Value. Hot Hardware [online]. 5.10.2017

- [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://hothardware.com/reviews/intel-core-i7-8700k-and-core-i5-8400-coffee-lake-processor-review>
- [74] OLŠAN, Jan. Intel vydal celou sestavu procesorů Core 9. generace: modely, parametry, ceny. Cnews.cz [online]. 23.4.2019 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/intel-vydal-celou-sestavu-procesoru-core-9-generace-modely-parametry-ceny/>
- [75] OBERMAIER, Z. AMD Bulldozer – Nová architektura CPU od AMD. PC Tuning [online]. 6.9.2010 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/18612-amd-bulldozer-nova--cpu-od-amd>
- [76] HRUSKA, Joel. AMD detonates Trinity: Behold Bulldozer's second coming. ExtremeTech [online]. 15.5.2012 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/computing/129363-amd-detonates-trinity-behold-bulldozers-second-coming>
- [77] SHIMPI, Anand Lal. AMD's Steamroller Detailed: 3rd Generation Bulldozer Core. AnandTech [online]. 28.6.2012 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/6201/amd-details-its-3rd-gen-steamroller-architecture>
- [78] WALRATH, Josh. AMD ZEN ARCHITECTURE OVERVIEW: FOCUS ON RYZEN. PC Perspective [online]. 2.3.2017 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://pcper.com/2017/03/amd-zen-architecture-overview-focus-on-ryzen/>
- [79] KOMÍNEK, Vít. AMD Ryzen 5 2600X aneb vylepšený Zen+ v testu. PC Tuning [online]. 19.4.2018 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/51421-amd-ryzen-5-2600x-aneb-vylepseny-zen-v-testu>
- [80] CUTRESS, Ian. AMD Zen 2 Microarchitecture Analysis: Ryzen 3000 and EPYC Rome. AnandTech [online]. 10.6.2019 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/14525/amd-zen-2-microarchitecture-analysis-ryzen-3000-and-epyc-rome>
- [81] ROBERTS, Eric. RISC Architecture: RISC vs. CISC. Stanford Computer Science - Stanford University [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/risc/riscisc/index.html>
- [82] THORNTON, Scott. RISC vs. CISC Architectures: Which one is better? Microcontroller Tips [online]. 9.1.2018 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.microcontrollertips.com/risc-vs-cisc-architectures-one-better/>
- [83] OLIVKA, Petr. Procesory CISC a RISC: Studijní materiál pro předmět Architektury počítačů. Ostrava, 2010. [cit. 2020-20-02]. Dostupné také z: <http://poli.es.vsb.cz/edu/arp/down/procisc.pdf>

- [84] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Architektura VLIW aneb pokus o překonání problémů architektur CISC a RISC [online]. 16.8.2011 [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/architektura-vliw-aneb-pokus-o-prekonani-problemu-architektur-cisc-a-risc/>
- [85] TING, Chen-hanson a Charles H. MOORE. MuP21--A High Performance MISC Processor [online]. 17.3.1995 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.ultratechnology.com/mup21.html>
- [86] MOORE, Gordon E. Cramming more components onto integrated circuits. Intel Newsroom [online]. [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/05/moores-law-electronics.pdf>
- [87] Intel at 50: Moore's Law. Intel Newsroom [online]. 2018 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://newsroom.intel.com/news/intel-at-50-moores-law/>
- [88] CHANG, Yu Sang, Jinsoo LEE a Yun Seok JUNG. Are Technology Improvement Rates of Knowledge Industries Following Moore's Law?: An Empirical Study of Microprocessor, Mobile Cellular, and Genome Sequencing Technologies (October 1, 2012). International Journal of Technology Management(2018), Vol. 78, No.3, pp. 182-207. Dostupné z: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2017413> nebo <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2017413>
- [89] CUTRESS, Ian. Intel's Manufacturing Roadmap from 2019 to 2029: Back Porting, 7nm, 5nm, 3nm, 2nm, and 1.4 nm. AnandTech [online]. 11.12.2019 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/15217/intels-manufacturing-roadmap-from-2019-to-2029>
- [90] LILLY, Paul. AMD's CPU and GPU roadmap for 2020 and beyond is full of big upgrades. PC Gamer [online]. Future US, 6.3.2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: [www.pcgamer.com/amd-roadmap-2020/](http://www.pcgamer.com/amd-roadmap-2020/)
- [91] Benchmarking. AIDA64 [online]. FinalWire, 2020 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.aida64.com/products/features/benchmarking>
- [92] AMD Ryzen 5 2600X YD260XBCAFBOX. Heureka [online]. Heureka Group [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://procesory.heureka.cz/amd-ryzen-5-2600x-yd260xbcafbox/>
- [93] Intel Core i5 9600K BX80684I59600K. Heureka [online]. Heureka Group [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://procesory.heureka.cz/intel-core-i5-9600k-bx80684i59600k/>
- [94] AMD Ryzen 5 3600X 100-100000022BOX. Heureka [online]. Heureka Group [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://procesory.heureka.cz/amd-ryzen-5-3600x-100-100000022box/>

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ  
Fakulta informatiky a managementu  
Akademický rok: 2017/2018

Studijní program: Aplikovaná informatika  
Forma studia: Prezenční  
Obor/kombinace: Aplikovaná informatika (ai3-p)

## Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Dominik Búzik**  
Osobní číslo: **I1600516**  
Adresa: **Telečská 35, Jihlava, 58601 Jihlava 1, Česká republika**  
Téma práce: **Historie procesorů**  
Téma práce anglicky: **History of processors**  
Vedoucí práce: **prof. RNDr. Peter Mikulecký, Ph.D.**  
**Katedra informačních technologií**

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je zpracovat do přehledné a čitelné formy nejdůležitější etapy historického vývoje počítačových procesorů, prezentovat současný stav v této oblasti a pokusit se odhadnout směry dalšího vývoje. Osnova práce: 1. Úvod 2. Základní pojmy a architektury 3. Vývoj procesorů 4. Typy procesorů 5. Moorův zákon 6. Moderní trendy vývoje 7. Závěr 8. Literatura

### Seznam doporučené literatury:

Minassi, M.: Velký průvodce hardwarem, Grada, 2002 Musilek, M.: Kapitoly z historie informatiky, Gaudeamus, 2014 Další vhodná literatura bude doporučena zadavatelem.

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum:

© IS/STAG, Portál – Podklad kvalifikační práce , buzikdo1, 27. dubna 2020 15:00