

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Architektury mikroprocesorů
Bakalářská práce

Autor: Martin Hrnčář
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 30.4.2020

Martin Hrnčíř

Jméno a Příjmení

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. RNDr. Peterovi Mikuleckému, PhD. za metodické vedení práce, užitečné rady, poskytnutí literatury, trpělivost a za čas, který mně a mé práci věnoval.

Anotace

Tématem bakalářské práce je přiblížení historie mikroprocesorů a analýza nejnovějších procesorů. Práce se spíše soustředí na procesory určené pro stolní počítače než pro servery, pracovní stanice či notebooky. Část, která popisuje historii procesorů, se zabývá specifikacemi, výhodami a nedostatky jednotlivých typů vyvinutých v minulosti. Začíná s prvním veřejně dostupným mikroprocesorem Intel 4004 z roku 1971, poté popisuje jeden z nejznámějších procesorů Intel 8086 z roku 1978 a končí u nejnovějších řad mikroprocesorů na trhu od značek Intel a AMD. Druhá část práce rozebírá čipy těchto dvou hlavních výrobců pomocí benchmarků a cen z různých obchodů, porovnává je mezi sebou, přičemž poukazuje na ty nejvýkonnější a cenově nejvýhodnější.

Klíčová slova: Intel, AMD, benchmark, frekvence, cache, jádro, sběrnice, instrukce

Annotation

Title: Microprocessor Architectures

This paper aims to cover the history of the microprocessors and analysis of the newest processors. The study is more focused on chips for desktop computers rather than those for servers, workstations or laptops. The part about history describes specifications, benefits and drawbacks of individual processors made in the past. It starts with introducing the first publicly available microprocessor Intel 4004 from 1971, then it goes through one of the most renowned microprocessors Intel 8086 from 1978 and the final part of the chapter is dedicated to the newest series of microprocessor on market from Intel and AMD. This work also analyses latest chips from these two companies using benchmarks, prices from different stores and their comparison to each other. Based on those learnings, it points out the ones with the highest performance and recommends the ones with the best value for money.

Keywords: Intel, AMD, benchmark, frequency, cache, core, bus, instruction

Obsah

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| 2 | Cíl práce..... | 2 |
| 3 | Metodika zpracování..... | 3 |
| 3.1 | Sběr informací a průběh šetření..... | 3 |
| 3.2 | Zpracování výsledků šetření..... | 3 |
| 4 | Základní pojmy..... | 4 |
| 5 | Historie..... | 7 |
| 5.1 | Intel..... | 7 |
| 5.1.1 | Intel 4004 - 1971 | 7 |
| 5.1.2 | Intel 8008 - 1972 | 7 |
| 5.1.3 | Intel 8080 – 1974..... | 7 |
| 5.1.4 | Intel 8086 – 1978..... | 8 |
| 5.1.5 | Intel 80186 – 1982..... | 8 |
| 5.1.6 | Intel 80286 – 1982..... | 8 |
| 5.1.7 | Intel 80386 – 1985..... | 9 |
| 5.1.8 | Intel 80486 – 1989..... | 10 |
| 5.1.9 | Pentium – 1993 | 10 |
| 5.1.10 | Pentium II – 1997..... | 10 |
| 5.1.11 | Pentium III – 1999 | 11 |
| 5.1.12 | Pentium 4 – 2000 | 12 |
| 5.1.13 | Pentium D – 2005..... | 13 |
| 5.1.14 | Core 2 – 2006..... | 13 |
| 5.1.15 | Core i3 (2010), i5 (2009), i7 (2008) , i9 (2017)..... | 14 |
| 5.2 | AMD | 18 |
| 5.2.1 | K5 – 1996..... | 18 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.2 | K6 – 1997..... | 18 |
| 5.2.3 | Athlon (K7) – 1999..... | 19 |
| 5.2.4 | Athlon 64 (K8) – 2003 | 20 |
| 5.2.5 | Phenom (K10) – 2007..... | 20 |
| 5.2.6 | Phenom II – 2008..... | 21 |
| 5.2.7 | Athlon II – 2009..... | 21 |
| 5.2.8 | FX – 2011 | 22 |
| 5.2.9 | Ryzen – 2017 | 23 |
| 6 | Porovnání nejnovějších mikroprocesorů Intel a AMD..... | 25 |
| 6.1 | Úvod..... | 25 |
| 6.2 | Nižší třída (do 3 000 Kč)..... | 25 |
| 6.2.1 | Intel Core i3 9100 vs. AMD Ryzen 3 3200G..... | 25 |
| 6.3 | Střední třída (do 10 000 Kč) | 26 |
| 6.3.1 | Nižší střední třída..... | 28 |
| 6.3.2 | Vyšší střední třída | 28 |
| 6.4 | Vyšší třída (nad 10 000 Kč)..... | 29 |
| 6.5 | Další vývoj | 31 |
| 7 | Shrnutí výsledků..... | 32 |
| 8 | Závěry a doporučení | 33 |
| 9 | Seznam použité literatury..... | 36 |
| 9.1 | Tištěné zdroje | 36 |
| 9.2 | Internetové zdroje | 36 |

Seznam grafů

| | |
|-------------------------------------|----|
| Graf 1 - Střední třída (cena)..... | 27 |
| Graf 2 - Střední třída (výkon)..... | 27 |
| Graf 3 - Vyšší třída (cena)..... | 29 |
| Graf 4 - Vyšší třída (výkon)..... | 30 |
| Graf 5 – Cena..... | 34 |
| Graf 6 – Výkon..... | 34 |
| Graf 7 - Poměr cena/výkon..... | 35 |

1 Úvod

Mikroprocesory v dnešní době hrají velkou roli. Většina lidí je využívá každý den a ani si to neuvědomuje. Procesory totiž nejsou jen v počítačích, ale například i ve smartphonech nebo televizích a dalších zařízeních. Jejich vývoj má navíc dopad i na další technologická odvětví, která k nim náleží. Je jisté, že procesory se budou i nadále vyvíjet a potřebovat lepší a výkonnější součástky pro jejich plnohodnotné využití, které budou muset být vyvinuty a vyrobeny jinými firmami.

Přímý vliv mají i na cenu produktů, do kterých jsou zabudovány. Proto je dobré o nich vědět alespoň základní informace a umět je porovnat při nákupu nové elektroniky.

Tato práce se soustředí na procesory stolních počítačů, nicméně základní vlastnosti procesorů, které budou zmíněny, jsou obdobné v mnoha zařízeních a získané znalosti se dají využít nejen u procesorů stolních počítačů.

Z historie lze zjistit, jaké vlastnosti procesorů byly preferovány při vývoji mikroprocesorů. Je možné si také udělat přehled o chování společností Intel a AMD a jejich strategiích, podle kterých může člověk předpokládat další vývoj.

2 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je přehledně popsat nejdůležitější rysy vývoje procesorových řad dvou hlavních producentů mikroprocesorů - společností Intel a AMD, a to od představení prvního veřejně dostupného mikroprocesoru až po nejnovější série procesorů.

Dále je cílem porovnat a zjistit, který z výrobců procesorů v dnešní době poskytuje ty nejvýkonnější a nejvýhodnější procesory na trhu, a pokusit se naznačit možný vývoj do budoucna.

V rámci této práce chce autor ověřit 3 hypotézy, které si stanovil:

1. Frekvence procesoru se bude zvyšovat, jelikož to byl trend vývoje již od vytvoření prvního procesoru.
2. Jelikož se společnost Intel pohybuje na trhu déle než konkurence a její peněžní obrat je několika násobně vyšší, tak autor předpokládá, že v současné době Intel poskytuje lepší produkty (v poměru cena/výkon) a nejvýkonnější mikroprocesor na trhu pro koncového spotřebitele.
3. Vzhledem k neustálému zvyšování požadavků při vývoji mobilních zařízení, lze předpokládat, že se bude zmenšovat výrobní proces procesorů, který podpoří trend jejich zvyšujícího se výkonu, snižující se spotřeby energie.

3 Metodika zpracování

V této kapitole je sepsán přehled vědeckých metod, na základě kterých byla práce vytvořena.

3.1 Sběr informací a průběh šetření

Samotné porovnání procesorů probíhá na základě srovnání jejich výkonnostních bodů ze známého softwaru pro benchmarking „3DMark“. Výsledky benchmarku jsou převzaty z webové stránky www.benchmarks.ul.com/compare/best-cpus. Vypočítána je i průměrná cena každého uvedeného procesoru v rámci českého trhu. Informace o cenách jsou získány z webového portálu www.heureka.cz. Průměrná cena byla vypočítána aritmetickým průměrem všech uvedených cen (kromě nejvyšší a nejnižší) na daném webu. Nakonec je z hodnot ceny a výkonu vypočten „poměr cena/výkon“, který udává, jaký získal daný procesor počet bodů z benchmarku na 1 Kč ceny procesorů. Podrobnosti a vlastnosti starších procesorů byly převzaty ze stránek www.cpu-world.com, detaily procesorů řady Ryzen z oficiálních stránek AMD www.amd.com/en/ryzen a řady Intel Core z www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/core.html.

3.2 Zpracování výsledků šetření

Výsledky benchmarků jsou zpracovány do grafů pro lepší vizuální přehled a pochopení. Grafy s výsledky benchmarku budou obsahovat průměrnou cenu procesoru v České republice, počet bodů z benchmarku, který bude závislý na jeho výkonnosti (více bodů = větší výkon procesoru) a nakonec poměr cena-výkon (počet bodů výkonnosti za 1Kč).

4 Základní pojmy

Charakterizace výrobců procesorů

Nejdříve, než se začne mluvit o historii a porovnání procesorů vyráběné firmami Advanced Micro Devices, Inc. (dále jen AMD) a Intel Corporation (dále jen Intel), by bylo dobré se o těchto dvou starých konkurentech něco dozvědět.

Obě tyto akciové společnosti jsou podobně staré. Intel předběhl svého mladšího konkurenta o rok a založil firmu v roce 1968 a AMD tedy v roce 1969. Oba giganti sídlí v Americe, přesněji v Kalifornii, a zaměřují se na procesory, ale i jiné produkty. AMD je například velice známé i pro své grafické karty, kterými konkuruje dalšímu výrobcí karet Nvidii. Na druhé straně Intel vyrábí mimo procesory například síťové karty, web kamery či USB flash disky a mnoho dalších produktů. V čem se ale firmy silně liší, je mohutnost společnosti a roční obrat, kde Intel vyhrává na plné čáře se svým obratem 70,8 mld. USD za rok 2018 oproti „menšímu“ AMD se ziskem 6,48 mld. USD. – (70) a (71)

Procesor

„Procesor je ‚mozek‘ počítače. Jeho funkce je vykonat programy uložené v hlavní paměti pomocí načítání jejich instrukcí, zkoumání a provádění jedné instrukce po druhé. Komponenty jsou spojeny sběrnici, což je kolekce paralelních drátků pro posílání adres, dat a ovládacích signálů. Sběrnice mohou být externí a připojovat paměť s V/V (Vstup/výstup) zařízeními, ale také vnitřní. Dnešní počítače mají mnoho sběrnic.

Procesor je složen z několika odlišných částí. Řadič je zodpovědný za načítání instrukcí z hlavní paměti a rozhodování jejich typu. Aritmeticko-logická jednotka provádí operace jako přičítání nebo booleanovská operace A, které jsou potřeba pro vykonání instrukcí.

Procesor také obsahuje malé vysokorychlostní paměti ukládající dočasné výsledky a určité řídicí informace. Tato paměť je složena z mnoha registrů, každý má určitou velikost a funkci. Většinou jsou všechny registry stejně velké. Velikost určuje, kolik čísel může každý registr obsahovat. Registry mohou být čteny

a přepsány vysokou rychlostí, protože jsou uvnitř procesoru. Nejdůležitější registr je Čítač instrukcí, který ukazuje na další instrukci, jenž má být načtena a provedena.“
– vlastní překlad (1, str. 55-56)

RISC Procesor

RISC (Reduced Instruction Set Computer) neboli procesor s redukovanou instrukční sadou je zaměřen na jednoduchost a snížení času provedení instrukcí. Provedení každé instrukce trvá pouze jeden cyklus. Podporuje různé datové formáty a obsahuje větší počet registrů a menší počet tranzistorů. Nevýhoda je v tom, že instrukce obsahuje více řádků kódu, je potřeba více paměti RAM a kompilátor má také více práce s konvertováním instrukcí. (1, str. 63)

CISC Procesor

CISC (Complex Instruction Set Computer) neboli procesor s komplexní instrukční sadou je vytvořen tak, aby minimalizoval počet instrukcí na jeden program, ale částečně ignoroval počet cyklů na jednu instrukci. Kompilátor nemá moc práce s překládáním, protože délka kódu je malá, a tak je i požadavek na paměť RAM malý. (1, str. 63)

SMT (Simultaneous multithreading)

„SMT je proces procesoru, který dělí každé fyzické jádro na virtuální jádra, kterým se říká vlákna. To je provedeno, aby se zvýšil výkon a dovolil každému jádru vykonávat dva proudy instrukcí v jednu chvíli.“ – vlastní překlad (45)

TDP (Thermal design power/profile)

Číslo TDP udává maximální teplo ve watttech, které musí chladicí systém odvést, aby CPU či GPU mohl standartně vykonávat úlohy. TDP je většinou přímo úměrné výkonu procesoru. (46)

Sběrnice

„Sběrnice je kolekce paralelních elektrických drátů používaná pro přenos dat. Každý drát přenáší jeden bit. Kolekce drátu je schopna přenést byte nebo slovo najednou podle své šířky. Sběrnice používá nějaké protokoly nebo pravidla, která definují její chování jako například kdo je vlastník, priority, kdo může posílat data, v jakém pořadí a tak dále.“ – vlastní překlad (2, str. 259)

Frekvence

Frekvence mikroprocesoru udává počet cyklů za sekundu, který procesor zvládne dokončit. Vyšší frekvence znamená rychlejší procesor. (7)

IPC (Instructions per cycle/clock)

“IPC říká, kolik úloh dokáže procesor provést v jednom cyklu. Například procesor s větší frekvencí může dokončit více cyklů za jednu vteřinu, procesor s vyšší IPC může mít menší frekvenci a stejně dokončit více úloh za sekundu. Nakonec to, co umožňuje rychlejší CPU, je směs frekvence, IPC a počtu jader.“ – vlastní překlad (44)

Turbo Boost

Intel® Turbo Boost Technology 2.0 Pomáhá procesoru při vysoké zátěži, tím že akceleruje frekvence jader na vyšší než normální provozní hodnoty. Při zvýšení frekvence nesmějí být překročeny určité limity procesoru např. proudové či teplotní. (49)

5 Historie

V této kapitole bude rozebrána historie procesorů společností Intel a AMD od počátku veřejně dostupných mikroprocesorů až po nejnovější řady.

5.1 Intel

Před vytvořením prvního procesoru se firma Intel soustředila na výrobu pamětí. Netrvalo moc dlouho, než stala se vedoucí společností na trhu s elektronickými pamětmi a po třech letech na trhu vyvinula svůj první procesor. (71)

5.1.1 Intel 4004 - 1971

První komerčně dostupný mikroprocesor byl vyvinutý v roce 1971, jehož cena na výrobu se odhaduje na 5 amerických dolarů. 4bitový procesor s šestnácti piny, 2300 tranzistory, pracující na maximální frekvenci 740 kHz se stal jedním z nejvíce revolučních procesorů v historii, položil základy pro další modely z řady a vedl k dnešním moderním procesorům. (5)

5.1.2 Intel 8008 - 1972

Práce na tomto modelu začala již před vydáním Intelu 4004, proto byl uveden pouze 5 měsíců po něm. Je to první 8bitový mikroprocesor od Intelu. Model byl vytvořen ve dvou frekvencích 500 kHz a 800 kHz. 8008 byl pomalejší, co se týče instrukcí za sekundu, než model 4004, ale díky zpracování 8bitových dat mohl přistupovat k více paměti a získat větší rychlost ve většině aplikací. Osmnácti pinový procesor obsahoval 3500 tranzistorů a paměťový prostor 16 kB. (8)

5.1.3 Intel 8080 - 1974

Po dvou letech vydal Intel další procesor, který přinesl nové funkce, ale obsahoval i ty starší z předchozího modelu. Pokračoval v 8bitovém designu, avšak navyšoval frekvenci na 2 MHz a paměťový prostor na 64 kB. Dále obsahoval 256 adresovatelných Vstup/Výstup portů. Později vyšla rychlejší verze 8080A-1, která zvýšila frekvenci až na 3,125 MHz. Byl použit v prvním veřejně dostupném a

úspěšném mikropočítači Altair 8800, který stál za zrodem revoluce mikropočítačů.
(9)

5.1.4 Intel 8086 – 1978

První člen z architektury procesorů x86. 16bitový procesor měl zprvu frekvenci 5 MHz, ale pozdější úpravy umožnili takt až 10 MHz. Obsahoval 29 000 tranzistorů, 20bitovou adresní sběrnici a 16bitovou datovou sběrnici, která poskytovala 1 MB paměti. Umožňoval ukládat 6 instrukčních bytů z paměti díky frontě instrukcí a zrychlit tak jejich zpracování. Byl to první procesor, který obsahoval 16bitovou „Aritmeticko-logickou jednotku“, interní datovou sběrnici a 16bitovou externí sběrnici. Procesor měl další variantu 8088, která nebyla tak výkonná, ale díky své 8bitové externí sběrnici byla použita například v IBM PC, protože vyžadovala levnější základní desku než 16bitový Intel 8086. (10)

5.1.5 Intel 80186 – 1982

Vylepšená a plně kompatibilní verze modelu 8086. Byly přidány nové prvky jako například 7 nových instrukcí nebo nové operandy. Dále se zvýšila frekvence na 6 MHz, ale většina ostatních vlastností zůstala stejná jako u 8086, tedy 20bitová adresní sběrnice, 16bitová datová sběrnice a stejně jako předchozí model měl verzi s 8bitovou datovou sběrnici s označením 80188. (11)

5.1.6 Intel 80286 – 1982

Ve stejném roce, ve kterém byl vydán 80186, vyrobil Intel druhou generaci architektury x86 Intel 80286, který byl často nazýván jako Intel 286. Největší změna oproti předchozím modelům bylo zavedení „chráněného režimu“. V tomto režimu mohl procesor adresovat až 16 MB operační paměti oproti 1 MB na předchozích procesorech. Chráněný režim je také předpokladem pro multitasking, který se ale zprvu moc nepoužíval, protože provádění starších x86 programů bylo limitované. Plně využit byl o několik let později v operačních systémech OS/2 1.x, Xenix nebo Coherent. Další vylepšení byli například zvýšení frekvence, zmenšení výrobního procesu na 1,5 μm (mikrometr), což bylo dvakrát

méně než předchůdce 8086 a to vedlo i k zvýšení počtu tranzistorů na 134 000. Na rozdíl od předchůdců tento model již neměl 8bitovou verzi. (12)

5.1.7 Intel 80386 - 1985

Třetí generace architektury x86 pokračovala ve stejném stylu pojmenování se zvýšenou třetí číslicí respektive 80386 či někdy také nazývanou i386 nebo jen 386. Tento procesor byl 32bitový, avšak nebyl to první 32bitový procesor od Intelu. V roce 1975 začal vývoj procesoru Intel iAPX 432, který byl vydán v roce 1981. iAPX 432 byl totální neúspěch a sám Intel o něm mluví nerad. Jak zmiňuje John C. Dvorak v článku (43): *“Sám Intel se vyhýbá diskuzi o 432, protože tento procesor reflektuje špatný odraz na řetěz úspěchů. Když půjdete na stránky Intelu a podíváte se na historii procesorů, 432 není ani zmíněn. Což je zvláštní, protože při uvedení byl považován za nejlepší čip, který společnost kdy vytvořila.”* – přeloženo autorem.

Ale teď už zpět k i386 - tento čip byl zpětně kompatibilní s předchozími verzemi generace x86 a přinesl spoustu dalších vylepšení od předchozích modelů. Jedno z nejvýznamnějších je vylepšený chráněný režim, který opravil mnoho nedostatků z modelu 80286. Další z vychytávek byl virtuální 8086 režim, ve kterém čip dokázal emulovat několik 8086 procesorů a provádět 16bitové strojové instrukce. Frekvence dosahovala rychlosti až 33 MHz a díky 32bitovým adresám mohl procesor adresovat až 4 GB operační paměti. Procesor se skládal z 275 000 tranzistorů s výrobním procesem 1 μm .

Existovaly různé verze tohoto čipu. Jedním z nich byla levnější verze s pojmenováním 80386SX. Tato verze měla 16bitovou datovou sběrnici a 24bitovou adresní sběrnici. Další verze byly například vestavěné modely 80376 nebo 80386EX. Základní verze byla poté přejmenována na 80386DX, aby byla rozeznána od ostatních verzí. Protože tento procesor přinesl mnoho vylepšení a byl natolik úspěšný, začalo se používat označení 32bitových procesorů architektury x86 jako IA-32 nebo i386. (13)

5.1.8 Intel 80486 - 1989

Čtvrtá generace architektury x86 přinesla další inovace a zvýšení výkonu procesoru, díky zavedení L1 cache o velikosti 8 KB, matematického koprocessoru a navýšení frekvence až na 100 MHz. Také přesun dat ve sběrnicích byl alespoň dvakrát rychlejší než u modelu i386. Byl to první procesor x86, který obsahoval více než milion tranzistorů, díky zmenšení výrobního procesu na 500 nm (nanometr). Stejně jako i386 byl zpětně kompatibilní s 8086 a měl také levnější verzi s koncovkou SX, která neobsahovala nebo měla nečinný matematický koprocessor. (14)

5.1.9 Pentium - 1993

Pentium se řadí do páté generace architektury x86 zvané P5. Tento procesor je první z architektury x86, který dokáže během jednoho hodinového cyklu provést více operací, což znamená, že je superskalární. To dokáže provést díky dvěma pipeline (U a V) místo jedné. Zdvojnásobeny byly také cache. Procesor obsahoval dvakrát 8 KB L1 cache. Dále byl zlepšen tok dat zvětšením datová sběrnice na 64 bitů. Frekvence se zvýšila až na 200 MHz neboli dvojnásobek předchozího modelu a tranzistorů měl procesor dokonce trojnásobek.

Tři roky po vydání Pentia byla dostupná nová verze s názvem Pentium MMX (Multi Media eXtension). MMX rozšířilo procesor o 57 nových instrukcí a 4 nové datové typy, které měli zrychlit multimediální a komunikační aplikace. Také byla rozšířena cache na dvakrát 16 KB. (15)

5.1.10 Pentium II - 1997

Pentium II je procesor šesté generace architektury x86 pojmenovaný P6. Staví na procesoru Pentium Pro, který byl vyvinut v roce 1995 jako mezičlánek mezi Pentium a Pentium II.

Než bude řeč o Pentium II, nejdříve je dobré si něco říct o Pentium Pro. Byl to první vytvořený procesor z šesté generace x86, který avšak nebyl určený pro stolní počítače, ale pro servery a superpočítače. Tento procesor měl ve své schránce až 1 MB L2 cache a 5,5 milionu tranzistorů, ale chyběly mu jako jedinému z šesté generace MMX instrukce. Byl velmi dobře optimalizován pro 32bitové aplikace,

ve kterých jednoduše překonával předchozí modely se stejnou frekvencí, ale jeho výkon při zpracovávání 16bitových aplikací byl tak špatný, že ho porážel i starší Pentium. (16)

Pentium II byl vydán 2 roky po Pentium Pro a byl to první procesor šesté generace architektury x86 zaměřený na stolní počítače. Výrobní proces tohoto modelu se dostal na 180 nm, a to zvýšilo počet tranzistorů od předchůdce o celé 2 miliony. Také byla zvýšena frekvence, která dosahovala až 450 MHz. Avšak velikost L2 cache se ale snížila na polovinu (512 KB) na rozdíl od Pentium Pro. Zajímavostí je, že Pentium II byl zabalen do karty, která se zasouvala do slotu místo běžné patice. (17)

Pentium II byl uveden i v levnější verzi, která byla označována jako Celeron s přízviskem Covington. Označení Celeron s jinými přízvisky zůstalo i pro levnější verze následujících procesorů Pentium III, Pentium 4 a Core. Celeron (Covington) neměl žádnou L2 cache a výkonem zaostával nad jinými modely, ale díky cenové dostupnosti a dobré taktovatelnosti byl vcelku populární. Další verze zaměřená na servery a pracovní stanice byla Pentium II Xeon. Byl vytvářen ve dvou variantách s frekvencí 400 MHz nebo 450 MHz a poskytoval až 2 MB L2 cache. Stejně jako Celeron, označení Xeon se také udrželo pro řady procesorů zaměřené na servery až dodnes. (18)

5.1.11 Pentium III – 1999

První verze Pentium III navazovala na předchozí procesor Pentium II a byla také zasazena do slotu. Další verze byly už ale přepracovány tak, aby seděly do normálních patic. Pentium III byl spíše jen vylepšený Pentium II, ale přinesl pár novinek - jako třeba SSE instrukce, které zrychlily aplikace při zpracovávání čísel s pohyblivou řadovou čárkou. Další zlepšení bylo například snížení výrobního procesu na 130 nm, zvýšení frekvence až na 1,4 GHz nebo přidání 512 KB L2 cache přímo na čip.

Jako u předchozího modelu byl vyvinut levnější Celeron (Coppermine) a dražší Pentium III Xeon pro servery. (19)

5.1.12 Pentium 4 – 2000

V roce 2000 Intel představil novou mikroarchitekturu nazvanou NetBurst neboli sedmá generace architektury x86. NetBurst byl ikonický tím, že se zaměřoval hlavně na zvyšování frekvence procesoru pro zlepšení výkonu. Pentium 4, který obsahoval tuto architekturu, byl vytvořen v různých verzích od roku 2000 až do roku 2008. (20)

První model čipu s názvem Willamette byla vydán, aby soupeřil se starším procesorem Athlon od AMD, který výkonnostně porážel Pentium III. Avšak nedlouho po vydání analytici zjistili, že nový procesor má mnoho problémů, potíže překonat ve výkonu starší Pentium III a na Athlon prostě nestačí. Proto byl Intel donucen postupně čip vylepšovat. Až o rok později byla vytvořena verze, která zvýšila frekvenci z 1,3 GHz až na 2 GHz a jasně předčila Pentium III. Také bylo přidáno 144 nových instrukcí v sadě SSE2, které nahradily MMX instrukce. (21)

Další model nesl jméno Northwood, který znovu zvedl frekvenci až na 3,4 GHz a snížil výrobní proces ze 180 na 130 nm, což vedlo ke zvýšení počtu tranzistorů na 55 milionů. Cache L2 byla oproti Willamette, která měla 256 KB, zvýšena na 512 KB. Největší novinka tohoto modelu, byl ale příchod Hyper-threadingu, který má za úkol z jednoho fyzického procesoru udělat více virtuálních procesorů. (22)

Prescott je třetí a nejvýkonnější model Pentium 4, vydaný v roce 2004. Představeno bylo 13 nových instrukcí v sadě SSE3 a kapacita L2 cache byla zvýšena na 2 MB. Jak už je typické, byla znovu zvýšena frekvence, tentokrát na 3,8 GHz, což ale nebyl moc velký posun od předchozího modelu. Kvůli problémům s vysokými teplotami a velké spotřebě energie, nebylo možné více navyšovat frekvenci procesoru. Bylo představeno i nové vylepšení jménem Virtualizace, která hardwarově pomáhá používání virtuálního stroje na reálném počítači. Dále bylo přidáno rozšíření Intel 64, které převádí instrukční sadu x86 na 64bitovou. (23)

Čtvrtý a poslední model s názvem Cedar Mill z roku 2006 nepřinesl vylepšení výkonu. Zaměřil na zmenšení spotřeby energie a vytváření tepla, což byl velký

problém předchůdců. Oproti předchozím modelům byl dále zmenšen výrobní proces na 65 nm a chyběla technologie Virtualizace. (24)

5.1.13 Pentium D - 2005

Vytvořeny byly dva 64bitové modely - Smithfield a Presler. Smithfield byl založen na modelu Pentium 4 Prescott a Presler pocházel z modelu Cedar Mill. V čem se lišili od jejich předchůdců je to, že měli dvě jádra místo jednoho. Díky tomu, že mohla jádra zpracovávat více instrukcí nezávisle na sobě, procesory měly tedy vyšší výkon. Avšak stále zůstaly problémy s vysokou spotřebou energie. Také procesorům chyběl Hyper-Threading, který dostaly až verze s přízviskem Extreme spolu se zvýšenými frekvencemi až 4,26 GHz. (25)

5.1.14 Core 2 - 2006

Společnost Intel opustila architekturu NetBurst a vyvinula novou a stále x86 kompatibilní 64bitovou mikroarchitekturu Core, která se více zaměřila na malé pipeline místo vysokých frekvencí, jak tomu bylo u předchůdce. Vyráběly se dva modely, a to Duo se dvěma jádry a Quad se čtyřmi jádry. Každý model byl vytvořen v několika verzích. Nejdříve bude řeč o dvoujádrovém modelu. (26)

První verze Core 2 Duo (Conroe) byla zaměřena na stolní počítače a měla nahradit Pentium 4 a Pentium D procesory. I přes velmi nízkou frekvenci oproti předešlým čipům je dokázal nový model výkonnostně předběhnout díky své efektivní architektuře, vyšší L2 cache o velikosti 4 MB a rychlejšímu FSB až 1066 MT/s (mega transfer za sekundu). Tento model měl i svoji výkonnější verzi Extreme s vyšší frekvencí až 3,33 GHz a rychlejší FSB, která dokázala 1333 MT/s.

Druhá verze se jmenovala Allendale. Byla to levnější verze Conroe, která měla nižší FSB s 800 MT/s a 2 MB L2 cache neboli polovinu neosekané verze.

Třetí a poslední dvoujádrová verze s přezdívkou Wolfdale přinesla další vylepšení mediálních instrukcí SSE 4.1, obsahující 47 instrukcí. Počet tranzistorů dosáhl až na 410 milionů s výrobním procesem 45 nm. Také se zvýšila frekvence až na 3,5 GHz a L2 cache na 6 MB. (27)

Core 2 Quad (Kentsfield) bylo jméno prvního čtyřjádrového procesoru určeného pro stolní počítače vyvinutého v roce 2006. Dalo by se říct, že to byly spojené dva procesory Conroe dohromady na jeden multičipový modul. Velikost L2 cache a spotřeba energie byla od Conroe dvojitá, ale jinak byly specifikace jako například frekvence či FSB identické. Avšak díky 4 jádrům dokázal procesor zpracovávat více procesů najednou a zvýšit tak efektivitu. Model měl také verzi Extreme, která měla stejné specifikace jako Conroe Extreme jen se čtyřmi jádry.

Druhá verze se přezdívala Yorkfield. Byla představena ve dvou velikostech. První obsahovala 6 MB a druhá, větší, 12 MB L2 cache a 64 KB L1 cache, která se na této velikosti drží u procesorů až dodnes. Znovu byly parametry velmi podobné dvoujádrové verzi Wolfdale, ale na rozdíl od Kentsfield, Intel dokázal snížit TDP jen na 65 W u menší verze a 95 W u větší verze. Samozřejmě nechyběla ani výkonnější Extreme verze procesoru. Přidala také instrukční sadu SSE4.1, zvýšila frekvenci, rychlost FSB a obsahovala celkem 820 milionů tranzistorů. (28)

5.1.15 Core i3 (2010), i5 (2009), i7 (2008) , i9 (2017)

Roku 2008 Intel vydal první procesor Intel Core i7 založený na nové mikroarchitektuře nazvané Nehalem. O rok později vyšla verze Core i5, která si vzala mnoho od starší verze, ale snížila některé parametry i cenu procesoru. Cenově nejlevnější a parametrově nejhorší procesory této řady byly vydány v roce 2010 s názvem Intel Core i3. U těchto tří modelů zůstal Intel až dodnes. Každý rok ale měnil vlastnosti těchto modelů podle vzoru „Tick-tock“. První rok Intel zmenšil výrobní proces a druhý rok vytvořil novou mikroarchitekturu čipu, až do roku 2016, kdy představil nový vzor s názvem „Process-Architecture-Optimization“. Ten funguje podobně, a to tak, že první rok je čip zmenšen, druhý rok je vydána nová mikroarchitektura a třetí rok je optimalizována. Do roku 2020 vyšlo celkem deset generací těchto modelů. (68)

5.1.15.1 1. generace – Nehalem (2008-2010)

Na nových čipech byla znovu zavedena metoda Hyper-threading, která se již nacházela na procesorech Pentium 4 a Pentium D, ale nebyla použita na procesorech Core 2. Nejdražší verze procesorů obsahovaly až 6 jader,

to znamená, že díky této funkci bylo možné zpracovávat až 12 vláken. Více než čtyřjádrové procesory také doznaly změn, co se týče podoby. Předchozí mikroarchitektura zpracovávala čtyřjádrové procesory jako dva dvoujádrové čipy v jedné schránce procesoru, zatímco nové procesory mají všechna jádra v jedné formě. Byl také přidán integrovaný grafický čip, který zvládl nenáročné aplikace. A pro navýšení výkonu bylo u modelů i7 a i5 představeno vylepšení „Turbo Boost“, které při potřebě zvyšuje frekvenci procesoru. Dále byl výrobní proces zmenšen na 32 nm a snížena byla také velikost L2 cache na 256 KB, z čehož se stal standard až po desátou generaci procesorů. Přidána, ale byla sdílená L3 cache o velikosti až 8 MB. (50)

5.1.15.2 2. generace – Sandy Bridge (2011)

Nová generace přišla se sjednocením integrované grafiky, řadiče paměti a samotného procesoru do jedné formy, které byli v předešlé generaci rozděleny do dvou forem uvnitř schránky procesoru. Tím se o něco snížila odezva a procesor mohl pracovat rychleji. Zrychlila se také znovu frekvence na 3,5 GHz, respektive s turbem až na 4,0 GHz a zvětšila L3 cache na 15 MB u nejvýkonnějších verzí. (51)

5.1.15.3 3. generace – Ivy Bridge (2012)

Intel podle vzoru „Tick-tock“ očekávaně nepřišel se žádnými zásadními vylepšeními, ale zmenšil výrobní proces na 22 nm. Díky tomu se snížila spotřebovaná energie a výkon zůstal stejný nebo i o něco vyšší než u předchozí generace. (65)

5.1.15.4 4. generace – Haswell (2013)

Tato generace se zaměřila hlavně na energetickou spotřebu a mobilní zařízení, jako jsou notebooky, smartphony, tablety a tak dále. Čipy v těchto zařízeních dosahovaly i nižší spotřeby než 6 W. Byl také přidán regulátor napětí, který převádí vyšší napětí na nižší, jenž procesor požaduje. (4) Procesory pro stolní počítače měly velmi blízko předchozí generaci a vylepšení byla minimální. Výkon procesoru se zvýšil zhruba o 5 procent při stejné spotřebě, avšak značné vylepšení dostal integrovaný grafický čip, který navýšil výkon až o 12 procent. (29)

5.1.15.5 5. generace – Broadwell (2014)

Jedná se o další generaci „Tick“, neboli byl snížen výrobní proces na 14 nm. Tato velikost výroby se pro procesory do stolních počítačů udržela dodnes. Zmenšením se znovu dosáhlo ušetření energie potřebné pro provoz procesoru až o 30 procent oproti předešlé generaci. Pro nadšence Intel nabídl i procesor do stolních počítačů s 10 jádry. Každé jádro s frekvencí 3 GHz (3,5 GHz s turbem) a L3 cache 25 MB. (39)

5.1.15.6 6. generace – Skylake (2015)

Procesory, které se znovu skládají ze 14nm tranzistorů, nepřinesly žádnou revoluci. Znovu se o maličko zvýšil výkon, efektivita spotřeby energie a integrovaný grafický čip, na který se Intel posledních pár generací zaměřil. Grafický čip je důležitý právě do mobilních zařízení (na které se Intel začal soustředit), all-in-one počítačů či nízko rozpočtových stolních počítačů. (66)

5.1.15.7 7. generace – Kaby Lake (2016)

Podle nového vzoru vývoje Intel nezmenšil výrobní proces mikroprocesorů, ale optimalizoval předešlou generaci Skylake. Architektura nových procesorů byla skoro identická s předešlou. Dokonce i patice, které procesory podporují, jsou stejné, což znamená, že si uživatelé mohli koupit nový procesor a vylepšit si tak počítač bez nutnosti změny základní desky. Zvýšena byla frekvence, která s turbem dosahovala až 4,5 GHz a díky nové technologii „Speed Shift“ bylo přecházení z klidového stavu na maximální frekvenci rychlejší než kdy předtím. Zrychlen byl znovu také grafický čip s frekvencí 1150 MHz a byla přidána lepší podpora přehrávání 4k videí či zpracování 3D grafiky. (59)

5.1.15.8 8. generace – Coffee Lake (2017)

Intel s touto generací pokračoval se zdokonalováním 14nm výroby. Nové procesory nesnížily výrobní proces a také nebyly kompatibilní se základními deskami předchozích procesorů. To znamená, že vyžadovaly jiné patice než předchůdci, takže pokud chtěl uživatel vyměnit svůj starý procesor za nový, tak si musel pořídit i novou základní desku s vhodnou paticí. Nová generace

ale přináší změny v počtu jader na procesoru. Nejlevnější modely i3 měly do té doby 2 jádra (4 vlákna), modely i5 4 jádra (4 vlákna) a i7 obsahovali 4 jádra (8 vláken). Coffee Lake nastavil nový standard s 4 jádry (4 vlákny) u modelu i3, 6 jádry (6 vláken) u i5 a 6 jader (12 vláken) obsahoval model i7. Podle počtu jader byla také zvýšena velikost L3 cache. (61)

5.1.15.9 9. generace – Coffee Lake Refresh (2018)

Intel zažíval problémy s 10nm výrobou, a proto byla vydána další generace založená na 14nm výrobním procesu. (57) Je to zatím poslední generace procesorů pro stolní počítače od Intelu. Tato generace procesorů přivítala nový model nazvaný i9, který měl patřit k nejvýkonnějším procesorům na trhu a zaujmout hlavně technologické nadšence. Nový procesor nabídl až 18 jader (36 vláken) s frekvencí 3 GHz (s turbo boostem 4,5 GHz), 1024 KB L2 cache pro každé jádro a 24,75 MB L3 cache. Tato verze procesoru byla vydána na konci roku 2018 a o rok později byla vydána další verze i9 9900KS, která obsahuje „jen“ 8 jader (16 vláken) s frekvencí 4 GHz (s turbo boostem 5,0 GHz), 256 KB L2 cache pro každé jádro a 16 MB sdílené L3 cache. Nový model dokázal porazit o rok starší čip o zhruba 15 procent i přes nižší počet jader. Ukázalo se, že stolní počítač využívaný na videohry a podobné věci nedokáže efektivně využít všechna jádra procesoru, a vyšší frekvence je tedy důležitější. Model i9 je také jediný z této generace, který využívá metodu Hyper-threading. Modelu i7 se sice zvýšil počet jader na 8, ale počet vláken má stejně jako jader. To samé platí pro šestijádrový i5 a čtyřjádrový i3. (64)

5.1.15.10 10. generace – Comet Lake (2019)

Generace Comet Lake znovu odsouvá převedení na 10nm výrobu. Zatím chybí procesory pro stolní počítače, které by snad měli být vydány během roku 2020. Zatím Intel nabízí jen procesory do mobilních zařízení s nízkou spotřebou. (62)

5.2 AMD

V roce 1982 AMD s Intelem podepsali smlouvu o desetileté výměně technologií. AMD dalších pár let vytvářel licencované kompatibilní kopie procesorů Intel 8086, 8088, 80186, 80286. Avšak Intel se v roce 1984 rozhodl, že nebude nadále spolupracovat s AMD a přestal sdělovat technické podrobnosti. To vedlo k řadě soudů a oficiální ukončení spolupráce dvou společností. AMD byla donucena přepracovat svoje procesory, tak aby vypadaly a pracovaly jako procesory od Intelu, ale neplatil na ně copyright Intelu. Takovým procesorem byl Am386, který byl vyvinut roku 1991 založený na již 6 let starém procesoru 80386. (52) Další klony byli Am486 a Am5x86. AMD vyvinulo i vlastní procesory mezi léty 1988 a 1990 řady se jménem Am29000. Byly to RISC procesory, které byly vestavěny do strojů jako například laserové tiskárny. (30)

5.2.1 K5 – 1996

První x86 procesor, který vyvinulo od píky samo AMD bez podpory či kopírování Intelu, byl model K5. Ten představoval konkurenci staršího Intelovského procesoru Pentium (1993). Stejně jako on byl tento 32bitový procesor superskalární, obsahoval 64bitovou datovou sběrnici a 24 KB L1 cache. Jeho frekvence dosahovala 133 MHz, což bylo o více jak třetinu méně než model Intelu a jeho reálná rychlost také nedosáhla na rivala. (31)

5.2.2 K6 – 1997

Druhá generace x86 kompatibilního 32bitového procesoru od AMD, který firma vytvořila tak, aby pasoval do počítačů navržené pro Pentium procesory. Tento procesor není vyvinutý na základě předchozího modelu K5 i přes jmenovku, která pokračuje v pořadí, a může tak klamat. Procesor je založený na čipu RISC86, který AMD získalo akvizicí firmy NexGen, jenž tento čip vyvíjela. (6)

Nově procesor podporuje MMX instrukce, zvětšena byla L1 cache na 64 KB a frekvence až na 300 MHz. K6 byla vyvíjena i v mobilní verzi s nižším napětím jádra.

Další rok přišlo AMD s vylepšením jménem K6-2, které dále posunulo výkon procesoru. Poskytnuty byly novinky jako 3DNow!, které vylepšovalo práci s čísly

a jejich pohyblivou řadovou čárkou, avšak programy musely být přímo sestrojené na nové instrukce. Intel vyvinul vlastní ekvivalent SSE až o rok později u procesoru Pentium III. K6-2 také podporoval skoro dvakrát rychlejší sběrnici spojující procesor se severním můstkem. (40)

Na začátku roku 1999 byla představena nová verze K6-III. Ta přinesla L2 cache o velikosti 256 KB integrovanou přímo na procesoru oproti K6-2, jenž používala L2 cache ze základní desky. K6-III dokázala využít cache ze základní desky jako L3. Procesor dokázal v běžných aplikacích výkonnostně překonávat svého konkurenta, díky frekvenci 450 MHz, avšak ztrácel, pokud se jednalo o 3D videohry, které nebyly naprogramovány pro 3DNow! instrukce. Obecně byl procesor velmi úspěšný a AMD se stal rovnocenným soupeřem Intelu. (58)

5.2.3 Athlon (K7) – 1999

V roce 1999 vydalo AMD nový procesor Athlon, který měl jako konkurenci Pentium III. Stejně jako jeho protivník byla první verze Athlonu vložena do kazety, která pasoval do „Slotu A“ na základních deskách, který se lišil od „Slotu 1“ pro Pentium III. Díky popularitě předchozích modelů si AMD vydobyl místo na trhu, a již nemusel kopírovat slot od Intelu, jelikož začaly být vyráběny základní desky se sloty a patičkami přímo pro AMD procesory.

Athlon vylepšil parametry předchozích modelů a přesunul L2 cache ze základní desky přímo do schránky kazety procesoru. Cache měla velikost 512 KB, avšak nebyla přímo v procesoru samotném, a ten k ní musel přistupovat takzvanou „Back-side bus“, takže rychlost cache byla jen zlomkem rychlosti samotného procesoru, což snižovalo výkon. Procesor, byl ale stále schopný porážet svého konkurenta díky 128 KB L1 cache, frekvenci 1000 MHz a front-side bus, který používal DDR (Double data rate) a dokázal tak přenést dva signály za jeden cyklus čili s frekvencí 100 MHz dokázal až 200 MT/s. (41)

Druhá verze s přezdívkou Thunderbird vyvinutá v roce 2000 byla znovu ve formátu PGA (Pin grid array) a zasouvala se do patice „Socket A“. Tato verze měla o polovinu menší L2 cache, ale byla přesunuta přímo na procesor, takže pracovala s mnohem vyšší frekvencí a zvýšila tak efektivitu. Frekvence procesoru

se vyšplhala až na 1400 MHz a FSB dokázal 266 MT/s. Procesor obsahoval 37 milionů tranzistorů s výrobním procesem 180 nm.

Athlon XP se jmenovala další verze procesoru vyvíjená od roku 2001 do roku 2003. Ta přinesla zmenšení výrobního procesu na 130 nm, zvýšení frekvence jádra na 2,33 GHz, rychlost sběrnice na 400 MT/s a znovu rozšíření L2 cache na 512 KB. Také to byl první AMD procesor, který obsahoval plnou instrukční sadu SSE. (42)

5.2.4 Athlon 64 (K8) – 2003

Athlon 64 byl první desktopový procesor od AMD s architekturou AMD64, která dokáže zpracovávat 64bitové aplikace, ale také starší 32bitové, 16bitové a 8bitové. Nový procesor uvedl technologii sběrnice „HyperTransport“, kvůli tlaku ze strany Intelu, který dokázal přenášet až dvojnásobek dat za sekundu než starší Athlon XP. Také byly přidány sady instrukcí SSE2 a SSE3.

Athlon 64 měl 2 další verze. První přidala za jméno X2 a využívala dvě jádra místo jednoho, druhá verze přidala FX a byla zaměřená na hráče. Dvoujádrová verze byla zhruba dvakrát větší než jednojádrový procesor Athlon 64 při stejném výrobním procesu 90 nm. Nebylo ani jasné, zda verze X2 bude celkově efektivnější a rychlejší než normální verze procesoru, jelikož jádra měla nižší frekvenci. Záleželo na tom, zda procesor bude zpracovávat více programů najednou. Při vykonávání pouze jedné aplikace se mohlo stát, že jednojádrový Athlon 64 výkonnostně překoná verzi X2.

AMD vyrobilo mnoho procesorů Athlon 64 a nejvýkonnější z nich byl dvoujádrový FX-74 s frekvencí 3 GHz, rychlostí sběrnice 2 GT/s, 128 KB L1 cache, 2 MB L2 cache a výrobním procesem o velikosti 90 nm. (32)

5.2.5 Phenom (K10) – 2007

S příchodem nového procesoru se AMD rozhodlo ustálit názvy vyráběných procesorů. Procesory pro počítače s nízkým rozpočtem se jmenovali Sempron a střední třída patřila procesorům Athlon. Phenom spadl do více výkonnějších procesorů zaměřené například na hráče. Pro servery a pracovní stanice se už od roku 2003 používalo pojmenování procesorů Opteron.

Procesor Phenom postavený na nové architektuře K10 byl zmenšen na 65nm výrobu a představen ve třech verzích X4, X3, X2. Stejně jako u předchozího modelu toto označení naznačuje, kolik jader procesor obsahuje. Phenom X4 se považuje za první procesor s opravdovým čtyřjádrovým designem, který obsahuje všechny 4 jádra v jedné formě. Intel Core 2 sice předvedl svůj čtyřjádrový procesor o rok dříve, ale jako dva dvoujádrové procesory v jedné schránce. Nová architektura také integrovala L3 cache o velikosti až 2 MB, sdílenou mezi všechny jádra. Nejvýkonnější Phenom X4 9950 obsahoval 512 KB L2 cache pro každé jádro, frekvenci jader 2,6 GHz, rychlost sběrnice 2000 GT/s, a to se spotřebou energie 125 W. (33)

5.2.6 Phenom II – 2008

Phenom II byl přímý následovník Phenomu, a stejně tak byl sestaven na architektuře K10. Vyráběl se ve verzích se 2, 3, 4 a 6 jádry a snížil dále výrobní proces na 45 nm. Mezi instrukcemi nově přibyla sada SSE4a, kterou ale moc aplikací nepoužívalo, a naopak chyběla docela využívaná instrukční sada SSE4.1. Kvůli tomuto nedostatku Phenom II nebyl schopen spustit určité aplikace, které vyžadují tyto instrukce a ztrácel i v různých benchmarcích oproti konkurenci od Intelu. (60) Sdílená L3 cache byla ztrojnásobena na 6 MB u všech verzí procesoru a velmi dobře přetaktovatelná frekvence zvýšena až na 3,7 GHz. Procesor také podporoval technologii „Turbo Core“, která při potřebě zvýšila frekvenci polovině jader procesoru až o 500 MHz a druhá polovina zůstala nečinná, pokud nebyly vyžadovány znovu všechny jádra. (69)

5.2.7 Athlon II – 2009

Méně výkonná řada procesorů vydávaná vedle Phenomu II pro nenáročného uživatele se nazývala Athlon II. Procesor se vyráběl se 2, 3 a 4 jádry, ale na rozdíl od Phenomu mu chyběla L3 cache, což znamenalo menší velikost procesoru. Dvoujádrová verze měla nejvyšší frekvenci 3,6 GHz a 2 MB L2 cache, zatímco čtyřjádrové procesory dosahovali frekvence jen 3,2 GHz se 4 MB L2 cache. (33)

5.2.8 FX - 2011

Nové procesory řady FX nahradily v roce 2011 vysoce výkonnostní Phenomy, aby soupeřily s procesory Intel Core. Byly založeny na zbrusu nové mikroarchitektuře Bulldozer. Tato architektura byla zajímavá tím, že obsahovala takzvané „Bulldozer cores“ (v překladu Buldozerová jádra). Jedno takové „jádro“ obsahovalo dvoujádrový čip nazvaný „modul“. (54) Osmijádrová procesorová řada FX-8 obsahovala tedy 4 moduly, šestijádrová FX-6 3 moduly a čtyřjádrová série FX-4 nabídla 2 moduly s dvoujádrovými čipy v jedné formě. Fungovalo to tedy podobně jako Hyperthreading u Intelu, kde jádro má dvě vlákna, které operační systém vidí jako logická jádra. U AMD jsou to ale dvě reálná jádra v jednom modulu. Každý modul měl k dispozici 64 KB L1 cache, 2 MB L2 cache a L3 cache o velikosti 8 MB byla sdílená pro všechny moduly. Vylepšena byla také funkce „Turbo Core 2.0“, ta dokázala při zátěži zvednout frekvenci všech jader o 500 MHz nebo polovině jader až o 1 GHz, to ale na úkor vyšší spotřeby energie. (55) Nejvyšší základní možné hodnoty procesoru byly až 4,5 GHz, avšak všechny procesory této řady bylo možné přetaktovat na vyšší hodnoty, a se správným chlazením šlo z procesoru dostat i frekvenci přes 8 GHz. Dále přibyly nové instrukce SSE 4.1, SSE 4.2, které používal Intel. I přes všechny novinky a vylepšení nebyl model FX tak výkonný, jak lidé očekávali. Pokud aplikace nedokázala plně využít vysoký počet jader, tak procesor zaostával za konkurencí. (56)

To se zlepšilo postupem času, kdy se aplikace a operační systémy více optimalizovaly pro procesory s vyššími počty jader (53) a AMD vydalo vylepšenou verzi architektury s názvem „Piledriver“. Princip modulů a jader zůstal stejný, ale jádra dostala vyšší frekvenci, která díky znovu vylepšenému „Turbo Core 3.0“, dokázala dosáhnout až 5,0 GHz. To ovšem vyžádalo kvalitní chlazení, protože tepelný výkon mohl dosáhnout až na 220 W. Nové verze procesorů byly hlavně chváleny za svůj poměr cena/výkon, který byl skvělý.

V roce 2014 bylo představena třetí generace architektury „Bulldozer“, která byla přezdívána „Steamroller“. Ovšem AMD se rozhodlo nepokračovat ve vývoji výkonné řady FX a soustředilo se na APU (Accelerated Processing Unit) neboli procesory s integrovanou grafikou zaměřené na trh s notebooky a levnějšími

sestavami stolních počítačů. Až na snížení výrobního procesu na 28 nm, nová řada procesorů nepředvedla nic výjimečného, přičemž nejvýkonnější procesor obsahoval jen 2 moduly, tedy 4 jádra a chyběla i L3 cache. To pokračovalo i další rok, kdy byla představena čtvrtá a poslední generace s názvem Excavator. Ta představila například nové instrukce AVX2, díky kterým procesor mohl rychleji pracovat s pohyblivou řadovou čárkou v multimediálních a finančních aplikacích. AMD předvedlo v celku průměrné procesory pro nenáročného uživatele, ale nic převratného. (34)

5.2.9 Ryzen – 2017

Po dvou letech se AMD vrátilo na pole procesorů vyšší třídy s řadou Ryzen založené na nové 14nm mikroarchitektuře Zen. Ta měla podle AMD zvýšit počet vykonaných instrukcí za jeden hodinový cyklus až o 52 procent oproti předchozí architektuře Excavator. (35)

Odstraněn byl princip modulů neboli „Bulldozer cores“, místo toho byl zaveden Multithreading jako u procesorů Intelu, kde jedno jádro má dvě vlákna, které operační systém vidí jako dvě jádra. Podobně jako konkurence AMD rozdělilo řadu procesorů Ryzen na různé modely. Ryzen 3, Ryzen 5 a Ryzen 7, seřazeny vzestupně podle výkonu, jsou hlavní konkurenti procesorů Intel Core i3, i5 a i7 až dodnes. Podle výsledků benchmarků byla první řada procesorů dostatečně výkonná natolik, že se dokázala „porvat“ s konkurencí od Intelu velice schopně. Ryzen sice ztrácel v porovnání výkonu jednoho jádra, ale pokud některé aplikace dokázaly využít všechna jeho jádra, tak porážel rivaly i dvakrát dražší. (36)

A to díky specifikacím jako 96 KB L1 cache (64 KB pro instrukce, 32 KB pro data) a 512 KB L2 cache pro každé jádro, 16 MB L3 cache sdílené pro všechny jádra, 4,0 GHz frekvence s TDP 95 W.

Roku 2018 byla vydána druhá generace řady Ryzen založená na vylepšené architektuře Zen+. Ta přinesla znovu zmenšení výrobního procesu na 12 nm a zdokonalení předchozího designu, avšak nevedlo to ke zmenšení formy procesoru, protože se AMD rozhodlo prázdná místa vyplnit silikonem. (37) Nové procesory vykazovaly při plné zátěži až o 10 procent vyšší výkon než předchozí generace, to ale nestačilo na procesory Intelu, který nespál a vyvinul

novou řadu svých procesorů. Jako u předchozí generace Intel vládne ve srovnání výkonu samostatného jádra a AMD zase při porovnání výkonu všech jader. Ovšem výkon jednoho jádra je důležitější, protože například v počítačových hrách dokáže vyvinout mnohem více snímků za sekundu.

Další generace Zen 2 přišla v roce 2019 a přinesla spoustu změn v architektuře procesorů. Změnila design a to tak, že přešla na multi-čipový modul, který obsahuje odděleně 7nm čipovou sadu procesoru a 12nm I/O čip v jedné schránce, dále zvýšila L3 cache na 4 MB za každé jádro v procesoru. Popis toho, jak si procesory vedou proti konkurentům od Intelu, je rozebráno v další kapitole „Porovnání nejnovějších řad procesorů“. (38)

Zen 3 je název zatím nevydané, čtvrté generace procesorů. Podle slov výkonné ředitelky AMD mají vyjít během roku 2020. (48)

6 Porovnání nejnovějších mikroprocesorů Intel a AMD

6.1 Úvod

Značku Intel bude v následujícím srovnání zastupovat devátá generace jejich dlouholeté série procesorů pro veřejnost s přízviskem Core, která se dále rozděluje na modely i3, i5, i7 a i9, které jsou vzestupně seřazeny podle výkonnosti.

Intel vytváří ještě další řady procesorů pro nenáročného uživatele Pentium, Celeron a pro servery řadu Xeon. Tyto řady nebudou zahrnuty do porovnání. AMD bude zastupovat v celku mladá série Ryzen, která vznikla teprve roku 2017 a má zatím jen tři generace a srovnání se bude soustředit na nejnovější třetí generaci.

Ryzen má modelové označení 3, 5, 7, 9, které se velmi podobá označení Intelu. AMD dále vyvíjí řadu procesorů s označením písmene „A“ a s označením Athlon, které jsou pro nenáročného uživatele. Tyto řady, stejně jako u Intelu, nebudou zařazeny do porovnání.

Porovnání probíhá poměřením výkonnostních bodů procesorů ze softwaru pro benchmarking „3DMark“ a průměrných cen z webových stránek Heureka.cz, viz kapitola 3 „Metodika zpracování“.

6.2 Nižší třída (do 3 000 Kč)

Tato nejméně nabitá kategorie nabídne porovnání pouze dvou procesorů. Jeden od každého ze dvou výrobců.

6.2.1 Intel Core i3 9100 vs. AMD Ryzen 3 3200G

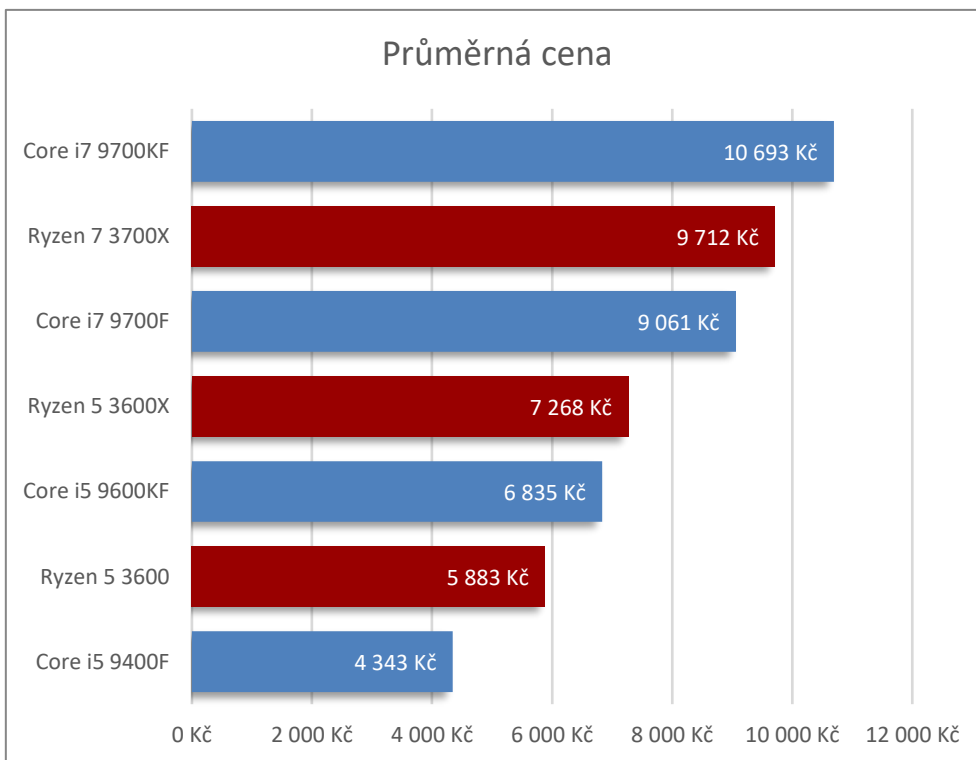
Oba procesory mají téměř identické technické parametry. Frekvence procesorů je 3600 MHz, dále obsahují 4 jádra, 4 vlákna, 6 MB cache paměti a mají tepelný výkon 65 W. První odlišnost je, že čip od Intelu dokáže za určitých podmínek zapnout turbo frekvenci, která se zvýší na 4200 MHz, oproti 4000 MHz, které dokáže vyvinout Ryzen. Každý procesor také podporuje jinou patici, takže je důležité si dát pozor, aby mohl být zapojen do určité základní desky, což bude problém i u všech následujících procesorů.

Intel nabízí možnost si koupit procesor bez grafického jádra, který vyjde na 2614 Kč. U procesoru s integrovanou grafikou se musí připlatit cca 1000 Kč. Zatímco AMD prodává svůj čip pouze s grafickým jádrem za nízkou průměrnou cenu 2788 Kč.

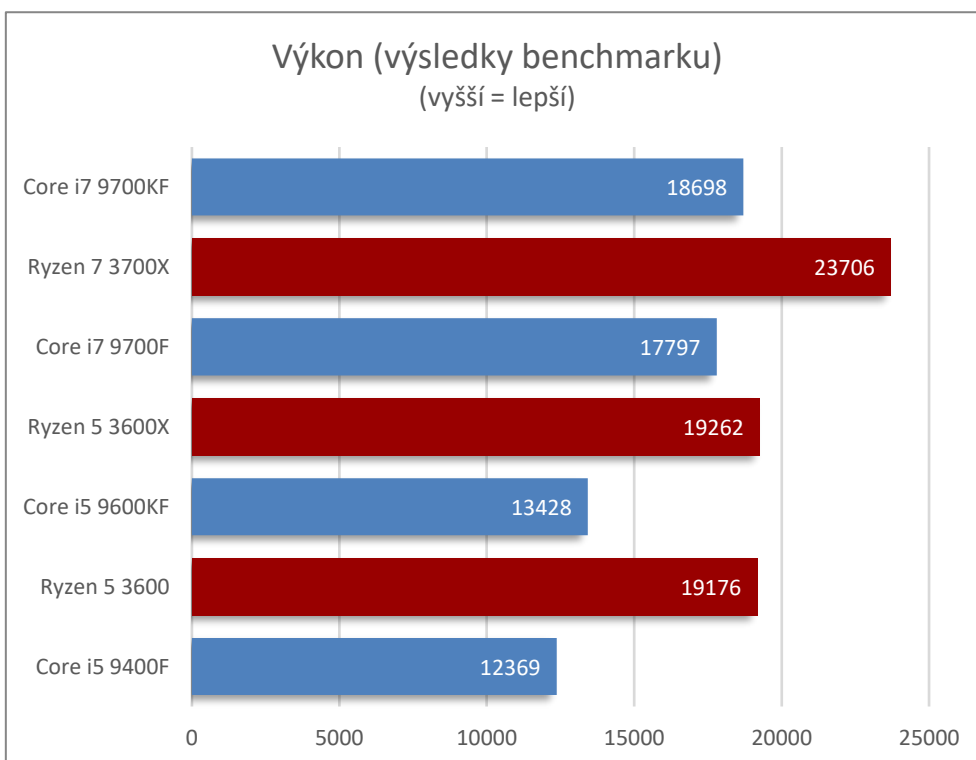
Co se týče benchmarku, tak u tohoto srovnání nastává problém, protože vzorek testů AMD Ryzen 3 3200G je malý a nemůže být brán v potaz. Proto jen pro toto porovnání bude použit jiný benchmark, z webové stránky www.cpu.userbenchmark.com, který má dostatečný počet vzorků. Z testů vyplývá, že čip od Intelu je o cca 5 procent výkonnější než jeho konkurent a oba nabízí slušný výkon za stanovenou cenu. Na závěr tedy vyplývá, že pokud je potřeba procesor s grafickým jádrem, tak se více vyplatí Ryzen 3 3200G, a pokud integrovaná grafika není nutností, tak porovnání vyhrál Intel Core i3 9100.

6.3 Střední třída (do 10 000 Kč)

Střední třída je nejvíce nabitou kategorií, neboť čítá 7 typů procesorů. Od značky Intel jsou v porovnání 4 zástupci a od značky AMD je to o jednoho zástupce méně. Jedná se také o nejvíce různorodou kategorii, kde nejlevnější procesor stojí průměrně 4343 Kč a nejdražší má průměrnou cenu 10693 Kč, lze ho ale koupit i pod 10 000 Kč, a to je také důvod proč byl zařazen do této kategorie. Aby bylo srovnání více přehledné, tak je tato kategorie dále rozdělena na dvě další podkategorie „Nižší střední třída“ a „Vyšší střední třída“. Porovnány budou procesory, které jsou obsaženy v následujících grafech.



Graf 1 - Střední třída (cena)
Zdroj: Heureka.cz



Graf 2 - Střední třída (výkon)
Zdroj: UL Benchmarks

6.3.1 Nižší střední třída

Zde jsou porovnány čipy Core i5 9600KF a Core i5 9400F, které oba patří značce Intel a dosáhly dvou nejnižších výsledků v testech střední třídy.

Oba tyto procesory jsou skoro totožné, jsou jen dvě vlastnosti, které je od sebe oddělují. První je frekvence, kterou má vyšší model 9600KF s číslem 3700 MHz a s turbem 4600 MHz. Frekvence modelu 9400F činí 2900 MHz a s turbem 4100 MHz. Druhá odlišná vlastnost je tepelný výkon, který má model 9600KF 95 W, zatímco druhý model 65 W. To znamená, že model s vyšší hodnotou bude nutné více chladit, aby se nepoškodily jeho součástky.

Jak už u Intelu bývá, písmeno „F“ na konci modelového označení udává, že tyto procesory neobsahují grafické jádro. A ten, kdo ho potřebuje, si bude muset připlatit znovu cca 1000 Kč.

Ani jeden z těchto dvou čipů autor nedoporučuje kupovat, pokud je prioritou poměr cena/výkon. Lze již vidět v grafech, že Ryzen 5 3600, který se bude porovnávat v další kategorii, je za podobnou cenu mnohem výkonnější. Pokud ale prioritou je značka Intel, tak je výhodnější koupit Core i5 9400F, který je sice o něco méně výkonný, ale skoro o třetinu ceny levnější než 9600KF.

6.3.2 Vyšší střední třída

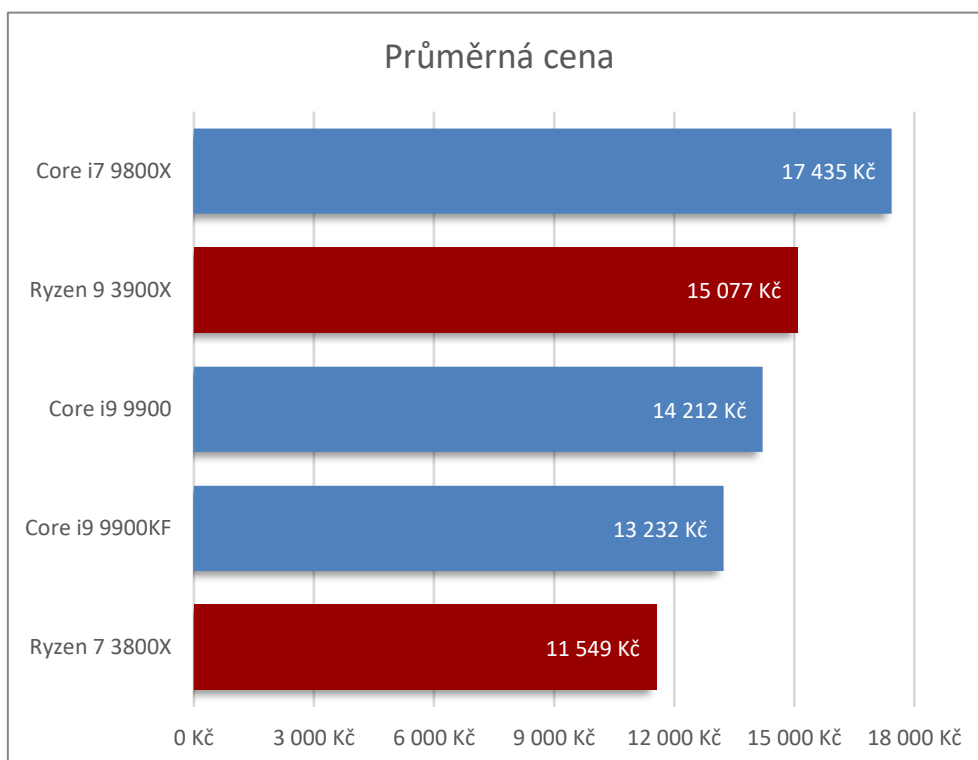
V této kategorii je poprvé a zároveň naposled více procesorů od AMD než od Intelu. Je očividné, že AMD se svou značkou cílí právě na střední a vyšší třídu. Jeho zástupci zde jsou Ryzen 5 3600, Ryzen 5 3600X a Ryzen 7 3700X. Intel zastupuje Core i7 9700F a Core i7 9700KF. Jde v podstatě o jeden a ten samý procesor, který avšak u druhého zmíněného modelu obsahuje v názvu písmeno „K“, což u Intelu označuje odemčený násobič, díky kterému procesor může dosáhnout vyšších frekvencí.

Hned na začátek si lze z grafů všimnout, že značka AMD konkurenci v této kategorii zcela rozdrtila. I nejlevnější model této kategorie 3600 má lepší výkonnostní výsledky, než o 5 000 Kč dražší procesor od Intelu. Dále osmijádrový a šestnácti vláknový model 3700X s frekvencí 3600 – 4400 MHz 32 MB cache paměti a tepelným výkonem 65W výsledky naprosto vyčnívá mezi ostatními otestovanými procesory. Jediné, co v téhle kategorii může hrát do karet Intelu, jsou integrované

grafiky. Porovnávané modely sice grafiku nemají, ale dá se znovu přikoupit za cca 1000 Kč. To u AMD není možné, ty nabízejí jen modely bez grafického jádra. Pokud je tedy grafické jádro prioritou, jediné, co zbývá je koupit Core i7 9700, který už má průměrnou cenu na hranici 10 000 Kč. Jinak se více vyplatí procesory AMD, respektive „3700X“ pro větší výkon nebo „3600“ pro velice výhodnou cenu a stále dobrý výkon.

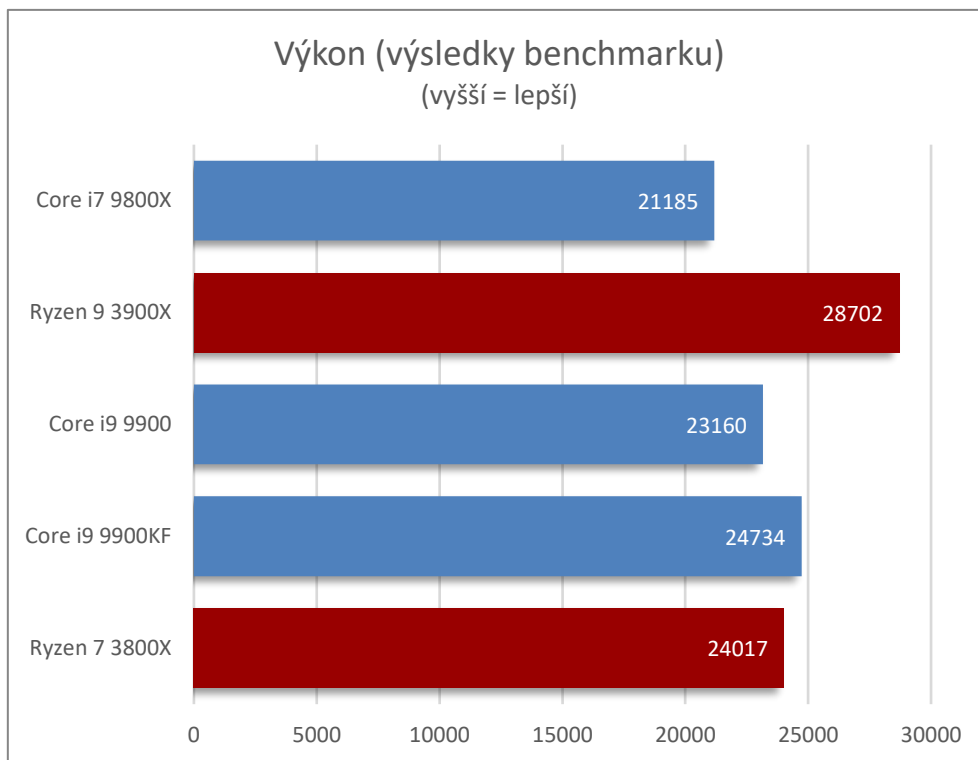
6.4 Vyšší třída (nad 10 000 Kč)

Další kategorie, ve které má počtem návrhů Intel v poměru 3 ku 2. Poprvé se zde objevuje model s označením „i9“ a model od AMD s označením „9“. Celkový seznam procesorů obsahuje Core i7 9800X, Core i9 9900, Core i9 9900KF, Ryzen 7 3800X a Ryzen 9 3900X.



Graf 3 - Vyšší třída (cena)

Zdroj: Heureka.cz



Graf 4 - Vyšší třída (výkon)
Zdroj: UL Benchmarks

Zdá se, že AMD není jen lepší v poměru/výkon, ale i v celkové výkonnosti je před Intellem a jeho procesory. Z grafů lze vidět, že tato kategorie je více vyrovnaná než ta předchozí, ale stejně tu dominuje procesor Ryzen 9 3900X. Tento procesor je nejvýkonnější v rámci celého porovnání a má 12 jader, 24 vláken, 64 MB cache paměti, tepelný výkon 105 W a frekvenci 3800 MHz, která dokáže stoupnout až na 4600 MHz. Jeho hlavní konkurent od značky Intel je Core i9 9900KF, který ale získal v bodování o 4000 méně bodů. Ten se může pochlubit základní frekvencí 3600 MHz, která se může zvýšit až na 5000MHz, 16 MB cache paměti, 8 jádry, 16 vláken a menším tepelným výkonem než konkurent neboli 95 W. Intel zase jako jediný nabízí integrovanou grafiku, kterou ale málo kdo využije, protože ten, kdo nakupuje v takovéto cenové relaci už si koupí i výkonnou grafickou kartu. Doporučení rozhodně dostávají oba procesory od AMD. Jeden za svůj skvělý výkon a druhý za svoji výhodnost v poměru cena/výkon. Na druhou stranu nejhorší procesor v poměru cena/výkon drží Core i7 9800X, který je nejméně výhodný z procesorů všech porovnaných kategorií.

6.5 Další vývoj

Není žádné tajemství, že Intel se chystá vydat 10. generaci řady Core, které mají mít 10nm výrobní proces. Některé jiné značky, jako je například Samsung, vyrábějí už s 7nm výrobním procesem a zkoumají i 5nm výrobní proces, který chtějí začít používat do dvou let. To znamená zvýšení počtů tranzistorů, zvýšení výkonu a snížení spotřeby čipu. (67)

Zvyšování cache paměti je určitě také možnost, jak trochu zvýšit výkon procesorů, což bylo vidět už v porovnání, kde AMD procesor nabízel až 64 MB cache paměti, zatímco Intel jen 16 MB. Počet jader a vláken se také postupně zvyšuje a je jen otázka času, kdy se začnou vyrábět např. 32 jádrové procesory pro veřejnost. Pro servery se už vytváří procesory s 64 jádry a 128 vlákny. Postupně jak se budou vyvíjet potřeby uživatelů (např. virtuální realita), tak se začnou objevovat výkonnější procesory, které budou tyto požadavky splňovat.

7 Shrnutí výsledků

Shrnutí stanovených hypotéz:

1. Nebyla potvrzena hypotéza, že se v blízké budoucnosti bude zvyšovat frekvence procesoru. Naopak ve srovnání nejnovějších procesorů bylo vidět, že nejvýkonnější procesory dokonce snižují frekvenci a drží se kolem hodnoty 3,6 GHz, zatím co například řady FX od AMD z roku 2011 dokázali dosáhnout až o 1 GHz vyššího kmitočtu. Výrobci mikroprocesorů raději zvyšují počet jader či cache pamětí.
2. Byla vyvrácena hypotéza, že Intel v současnosti vyvíjí výhodnější a lepší procesory. Ve srovnání bylo zjištěno, že AMD ve střední a vyšší třídě nabízí nejen levnější procesory než Intel, ale také výkonnější čili výhodnější pro koncového zákazníka, který za méně peněz dostane více výkonu.
3. Hypotéza, že se bude zmenšovat výrobní proces, byla potvrzena. Intel plánuje už delší dobu zmenšit svůj výrobní proces na 10 nm, ale stále ho trápí problémy s převedením na menší výrobu. AMD už předvedla procesory založené na architektuře Zen 2, které jsou částečně vyrobeny 7nm výrobou. Existují firmy, které vyvíjí celé čipy pomocí 7nm výroby, a kvůli neustálému tlaku, který na trh přináší smartphony a jejich nepřetržité vylepšování, se zkoumá i možnost přechodu na 5nm výrobní proces.

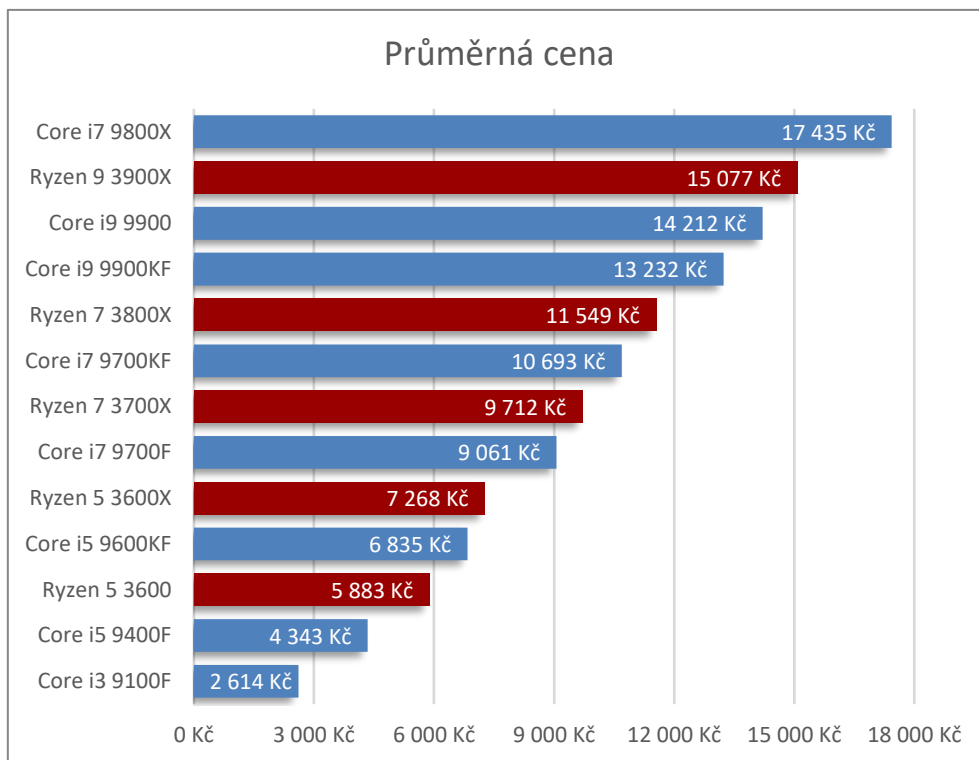
8 Závěry a doporučení

V rámci bakalářské práce byla velká část obsahu věnována rozboru historie mikroprocesorů a analýze jejich vývoje. Z historie jasně vyplývá rivalita sledovaných společností AMD a Intelu, aby si ujistili první místo na trhu s procesory. Zatímco Intel začínal s velmi dobrým prvním procesorem, AMD jej brzy ve vývoji dohnalo a ukázalo se, že Intel si nedokázal udržet „monopol“ na trhu, jelikož AMD postupem času velmi intenzivně investovalo do vývoje a jejich procesory jsou velmi konkurenceschopné.

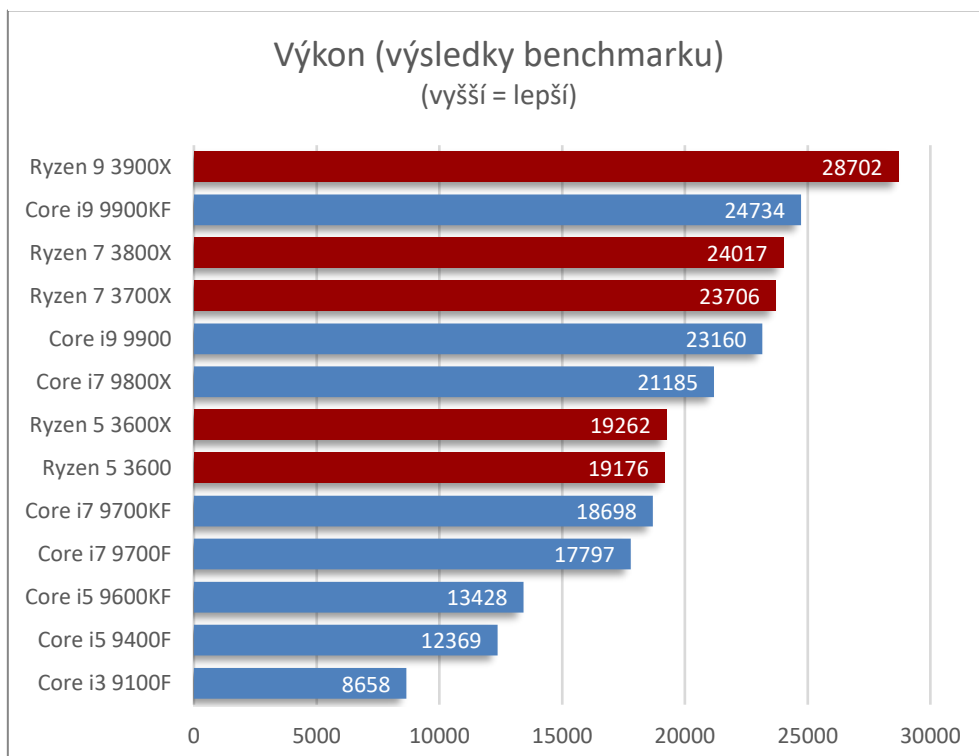
Porovnání AMD a Intelu neproběhlo podle očekávání a hypotéza, která předpokládala, že Intel ve srovnání procesorů prokáže lepší výsledky, se tedy nepotvrdila. AMD zvítězilo ve dvou kategoriích, konkrétně vyšší a střední třídy, jelikož v rámci této analýzy Intel nabízel dražší a méně výkonné procesory. Nejvýkonnější ze všech porovnávaných procesorů byl Ryzen 9 3900X, kterého nedokázal porazit ani nejvýkonnější procesor Intelu v rámci zmiňovaných procesorů tohoto porovnání, tj. Core i9 9900KF.

Ve střední třídě Intel také nebyl příliš velkou konkurencí pro AMD, jelikož všechny tři jeho procesory vyšly z testu jako nejvýkonnější v dané třídě. Jen v nižší třídě dokázal procesor Intelu zvítězit, ale jen v případě, že uživatel nepotřebuje integrované grafické jádro, jinak je výhodnější procesor od AMD, který jádro poskytuje, takže je to výhra jen pro specifické spotřebitelské potřeby. Intel ale může vše vynahradiť, tím že jeho příští generace přejde na výrobní proces 10 nm, čímž zvýší efektivitu a sníží spotřebu svých procesorů a dožene tak svého rivala AMD.

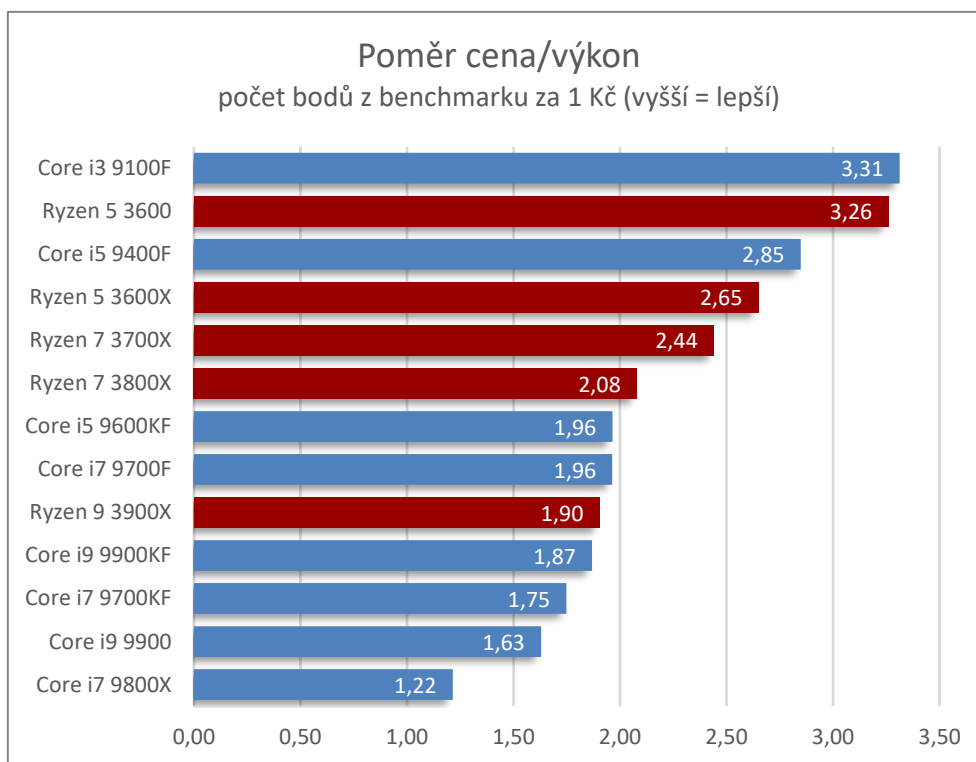
Na závěr jsou připraveny grafy, které obsahují všechny porovnávané procesory pro lepší vizuální přehled.



Graf 5 – Cena
Zdroj: Heureka.cz



Graf 6 – Výkon
Zdroj: UL Benchmarks



Graf 7 - Poměr cena/výkon

Jak vyplývá z grafů, cena procesorů se může pohybovat ve velmi širokém rozmezí od cca 2614 Kč až do 17435 Kč a musíme brát v potaz, že jsme sledovali jen část nabízených procesorů na trhu. Jejich cenové rozmezí je tak určitě ještě širší. Zároveň je viditelné, že výkon procesorů je stejně tak rozmanitý. Ne vždy ale musí platit, že čím vyšší cena, tím se úměrně bude zvyšovat i výkon. Jasným důkazem toho je Core i7 9800X, který je v rámci srovnání sice nejdražší, nicméně jeho výkon prvnímu místu neodpovídá.

V rámci srovnání nejlépe v kategorii nižší třídy v poměru cena/výkon vyhrává Core i3 9100F, za střední třídu si nejlépe vedl Ryzen 5 3600 a v kategorii vyšší třídy je vítězem efektivity Ryzen 7 3800X.

9 Seznam použité literatury

9.1 Tištěné zdroje

1. TANENBAUM, Andrew S. a Todd AUSTIN. Structured computer organization. 6th ed. Boston: Pearson, 2013. ISBN 0132916525.
2. YADIN, Aharon. Computer systems architecture. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2016]. ISBN 9781482231052.

9.2 Internetové zdroje

3. Advanced Micro Devices, Inc. AMD Ryzen™ Desktop Processors [online]. Copyright © Advanced Micro Devices, Inc [cit. 31.08.2019]. Dostupné z: <https://www.amd.com/en/ryzen>
4. Alza.cz. Test - Je Intel Haswell opravdu revolucí v CPU? [online]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/test-je-intel-haswell-opravdu-revoluci-v-cpu-art8188.htm>
5. ANTHONY, Sebastian. Intel 4004, the first CPU, is 40 years old today - ExtremeTech. [online]. Copyright © 1996 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/computing/105029-intel-4004-the-first-cpu-is-40-years-old-today>
6. BLOOMBERG BUSINESS NEWS. Chip Maker AMD to Buy Nexgen for \$857 Million - Los Angeles Times. News from California, the nation and world - Los Angeles Times [online]. Copyright © 2020, Los Angeles Times [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1995-10-21-fi-59417-story.html>
7. CPU-World. CPU Frequency [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/Glossary/C/CPU_Frequency.html
8. CPU-World. Intel 8008 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8008/index.html>
9. CPU-World. Intel 8080 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8080/index.html>

10. CPU-World. Intel 8086 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/8086/index.html>
11. CPU-World. Intel 80186 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/80186/index.html>
12. CPU-World. Intel 80286 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/80286/index.html>
13. CPU-World. Intel 80386 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/80386/index.html>
14. CPU-World. Intel 80486 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/80486/index.html>
15. CPU-World. Intel Pentium [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium/index.html>
16. CPU-World. Intel Pentium Pro [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium-II/TYPE-Pentium%20Pro.html>
17. CPU-World. Intel Pentium II [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium-II/TYPE-Desktop%20Pentium%20II.html>
18. CPU-World. Intel Celeron [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/Celeron/index.html>
19. CPU-World. Intel Pentium III [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium-III/index.html>
20. CPU-World. Intel Pentium 4 [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/index.html
21. CPU-World. Intel Pentium 4 Willamette [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/TYPE-Desktop%20Pentium%204%20Willamette.html
22. CPU-World. Intel Pentium 4 Northwood [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/TYPE-Desktop%20Pentium%204%20Northwood.html
23. CPU-World. Intel Pentium 4 Prescott [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/TYPE-Desktop%20Pentium%204%20Prescott.html

24. CPU-World. Intel Pentium 4 Cedar Mill [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_4/TYPE-Desktop%20Pentium%204%20Cedar%20Mill.html
25. CPU-World. Intel Pentium D [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Pentium_D/index.html
26. CPU-World. Intel Core 2 Duo [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Core_2/TYPE-Core%202%20Duo.html
27. CPU-World. Intel Core 2 Duo / Quad / Extreme [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Core_2/index.html
28. CPU-World. Intel Core 2 Quad [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/CPUs/Core_2/TYPE-Core%202%20Quad.html
29. CPU-World. Intel Core i5-3570K vs i5-4670K [online]. Dostupné z: http://www.cpu-world.com/Compare/579/Intel_Core_i5_i5-3570K_vs_Intel_Core_i5_i5-4670K.html
30. CPU-World. AMD 29000 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/29000/index.html>
31. CPU-World. AMD K5 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/K5/index.html>
32. CPU-World. AMD Athlon 64 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/K8/TYPE-Athlon%2064.html>
33. CPU-World. AMD K10 [online]. Dostupné z: <http://www.cpu-world.com/CPUs/K10/index.html>
34. CUTRESS, Ian. Conclusion: Impressed Yet Disappointed - AMD Carrizo Part 2: A Generational Deep Dive into the Athlon X4 845 at \$70. AnandTech: Hardware News and Tech Reviews Since 1997 [online]. Copyright © 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/10436/amd-carrizo-tested-generational-deep-dive-athlon-x4-845/26>
35. CUTRESS, Ian. AMD Launches Ryzen: 52% More IPC, Eight Cores for Under \$330, Pre-order Today, On Sale March 2nd. AnandTech: Hardware News and Tech Reviews Since 1997 [online]. Copyright © 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z:

- <https://www.anandtech.com/show/11143/amd-launch-ryzen-52-more-ipc-eight-cores-for-under-330-preorder-today-on-sale-march-2nd>
36. CUTRESS, Ian. Conclusions: AMD is Competing in HEDT Again - The AMD Zen and Ryzen 7 Review: A Deep Dive on 1800X, 1700X and 1700. AnandTech: Hardware News and Tech Reviews Since 1997 [online]. Copyright © 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/11170/the-amd-zen-and-ryzen-7-review-a-deep-dive-on-1800x-1700x-and-1700/23>
37. CUTRESS, Ian. Talking 12nm and Zen+ - The AMD 2nd Gen Ryzen Deep Dive: The 2700X, 2700, 2600X, and 2600 Tested. AnandTech: Hardware News and Tech Reviews Since 1997 [online]. Copyright © 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/12625/amd-second-generation-ryzen-7-2700x-2700-ryzen-5-2600x-2600/2>
38. CUTRESS, Ian. CCX Size, Packaging, and Routing: 7nm Challenges - AMD Zen 2 Microarchitecture Analysis: Ryzen 3000 and EPYC Rome. AnandTech: Hardware News and Tech Reviews Since 1997 [online]. Copyright © 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/14525/amd-zen-2-microarchitecture-analysis-ryzen-3000-and-epyc-rome/5>
39. ČAMBALA, Lukáš. Haswell vs Broadwell architektura: Co je nového? | Lenovo Blog CZ. Lenovo Blog CZ | Blog fanoušků Lenovo technologií [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <http://www.lenovoblog.cz/2015/02/haswell-vs-broadwell-architektura-co-je-noveho.html>
40. DANDUMONT, Pierre. The K6: AMD Extends Its Range - Imitation To Innovation: AMD's Best CPUs | Tom's Hardware. Tom's Hardware: For The Hardcore PC Enthusiast [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tomshardware.com/reviews/amd-cpu-history,2008-6.html>
41. DANDUMONT, Pierre. K7/Athlon: A Killer - Imitation To Innovation: AMD's Best CPUs | Tom's Hardware. Tom's Hardware: For The Hardcore PC

- Enthusiast [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z:
<https://www.tomshardware.com/reviews/amd-cpu-history,2008-7.html>
42. DANDUMONT, Pierre. AMD Improves the Athlon: Thunderbird, XP, and more. - Imitation To Innovation: AMD's Best CPUs | Tom's Hardware. Tom's Hardware: For The Hardcore PC Enthusiast [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tomshardware.com/reviews/amd-cpu-history,2008-8.html>
43. DVORAK, John C.. Whatever Happened to the Intel iAPX432? « Dvorak News Blog. [online]. Copyright © 2008 Copyright Dvorak News Blog [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <http://www.dvorak.org/blog/whatever-happened-to-the-intel-iapx432/>
44. HARDING, Scharon. What Is a CPU's IPC? A Basic Definition | Tom's Hardware. [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tomshardware.com/reviews/ipc-cpu-definition,5777.html>
45. HARDING, Scharon. What Is Simultaneous Multithreading? A Basic Definition | Tom's Hardware. [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tomshardware.com/reviews/simultaneous-multithreading-definition,5762.html>
46. HARDING, Scharon. What Is TDP? A Basic Definition | Tom's Hardware. [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.tomshardware.com/reviews/tdp-thermal-design-power-definition,5764.html>
47. Heureka.cz - Porovnání cen a srovnání produktů z internetových obchodů. [online]. Copyright © 2007. Dostupné z: <https://www.heureka.cz>
48. HRUSKA, Joel. AMD's Lisa Su Confirms Zen 3 Coming in 2020, Talks Challenges in Notebooks - ExtremeTech. ExtremeTech - ExtremeTech is the Web's top destination for news and analysis of emerging science and technology trends, and important software, hardware, and gadgets. [online]. Copyright © 1996 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/computing/304541-amds-lisa-su-confirms-zen-3-coming-in-2020-talks-challenges-in-notebooks>

49. Intel Corporation. Intel® Turbo Boost Technology 2.0. Intel | Data Center Solutions, IoT, and PC Innovation [online]. Copyright © Intel Corporation [cit. 20.04.2020]. Dostupné z:
<https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/turbo-boost/turbo-boost-technology.html>
50. Intel Corporation. Intel® Core™ i7-2700K Processor (8M Cache, up to 3.90 GHz) Product Specifications. [online]. Copyright © Intel Corporation [cit. 20.04.2020]. Dostupné z:
<https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/61275/intel-core-i7-2700k-processor-8m-cache-up-to-3-90-ghz.html>
51. Intel Corporation. Intel® Core™ i7-3970X Processor Extreme Edition (15M Cache, up to 4.00 GHz) Product Specifications. [online]. Copyright © Intel Corporation [cit. 20.04.2020]. Dostupné z:
<https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/70845/intel-core-i7-3970x-processor-extreme-edition-15m-cache-up-to-4-00-ghz.html>
52. Justia Law. Advanced Micro Devices, Inc. v. Intel Corp. (1994) :: :: Supreme Court of California Decisions :: California Case Law :: California Law :: US Law :: Justia. US Law, Case Law, Codes, Statutes & Regulations :: Justia Law [online]. Copyright © 2020 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z:
<https://law.justia.com/cases/california/supreme-court/4th/9/362.html>
53. Microsoft. An update is available for computers that have an AMD FX, AMD Opteron 4200, AMD Opteron 6200, or AMD Bulldozer series processor installed and that are running Windows 7 or Windows Server 2008 R2 [online]. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/help/2645594/an-update-is-available-for-computers-that-have-an-amd-fx-amd-opteron-4>
54. OBERMAIER, Z.. AMD Bulldozer – procesory FX-8150 a 8120 v testu (1/2). PCTuning – Stránka 2 [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/22227-amd-bulldozer-procesory-fx-8150-a-8120-v-testu-1-2?start=2>

55. OBERMAIER, Z.. AMD Bulldozer – procesory FX-8150 a 8120 v testu (1/2). PCTuning - Stránka 4. [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/22227-amd-bulldozer-procesory-fx-8150-a-8120-v-testu-1-2?start=4>
56. OBERMAIER, Z.. AMD Bulldozer – procesory FX-8150 a 8120 v testu (1/2). PCTuning - Stránka 19. [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/22227-amd-bulldozer-procesory-fx-8150-a-8120-v-testu-1-2?start=19>
57. SANDERS, James. 10nm Intel CPUs not coming to desktops until at least 2022, amid manufacturing issues - TechRepublic. News, Tips, and Advice for Technology Professionals - TechRepublic [online]. Copyright © 2020 CBS Interactive. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.techrepublic.com/article/10nm-intel-cpus-not-coming-to-desktops-until-at-least-2022-amid-manufacturing-issues/>
58. SHIMPI, Anand Lal. Windows 98 Performance Comparison - AMD K6-3 Review: Part 2. AnandTech: Hardware News and Tech Reviews Since 1997 [online]. Copyright © 2020. All rights reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/211/5>
59. SOUČEK, Jiří. Kaby Lake testy | Diit.cz. Diit.cz - Vybráno z IT [online]. Copyright © 1998 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/kaby-lake-testy>
60. SVOBODA, Karel. Test: AMD Phenom II X6 1100T a Phenom II X4 965 BE v roce 2020 - Závěrečné hodnocení | Diit.cz. Diit.cz - Vybráno z IT [online]. Copyright © 1998 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/test-amd-phenom-ii-x6-1100t-phenom-ii-x4-965-be-v-roce-2020/zaverecne-hodnoceni>
61. Techmaster. Nové procesory Coffee Lake – parametry, ceny a jak si vedou v testech – Techmaster. Techmaster - O spotřební elektronice, počítačích a chytrých zařízeních [online]. Copyright © 2016 [cit. 20.04.2020]. Dostupné

- z: <https://www.techmaster.cz/clanky/nove-procesory-coffee-lake-parametry-ceny-a-jak-si-vedou-v-testech>
62. THOMAS, Bill. Intel Comet Lake release date, news and features | TechRadar. TechRadar | The source for tech buying advice [online]. Copyright © [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/intel-comet-lake-release-date-news-and-features>
63. UL Benchmarks [online]. Copyright © 2020 All Rights Reserved. [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://benchmarks.ul.com/compare/best-cpus>
64. UserBenchmark. Intel Core i9-9980XE vs i9 9900KS [online]. Dostupné z: <https://cpu.userbenchmark.com/Compare/Intel-Core-i9-9980XE-vs-Intel-Core-i9-9900KS/m652504vsm929964>
65. VÍTEK, Jan. Procesory Intel Ivy Bridge: 22 nm je tady - Závěrečné hodnocení | Svět hardware. Svět hardware | homepage [online]. Copyright © 1998 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/recenze-procesory-intel-ivy-bridge-22-nm-je-tady/34817-11>
66. VÍTEK, Jan. Intel Skylake: test nových Core i7 a Core i5 - Závěrečné hodnocení | Svět hardware. [online]. Copyright © 1998 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/recenze-intel-skylake-test-novych-core-i7-a-core-i5/40964-9>
67. VÍTEK, Jan. Samsung úspěšně dokončil vývoj 5nm EUV procesu [online]. 2019 [cit. 31.08.2019]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/samsung-uspesne-dokoncil-vyvoj-5nm-euv-procesu/49149>
68. WAN, Samuel. Intel Ditches 'Tick-Tock' for 'Process-Architecture-Optimization' | eTeknix. [online]. Copyright © 2008 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://www.eteknix.com/intel-ditches-tick-tock-for-process-architecture-optimization/>
69. WIFT. AMD představuje technologii Turbo Core | Diit.cz. Diit.cz - Vybráno z IT [online]. Copyright © 1998 [cit. 20.04.2020]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/amd-predstavuje-technologie-turbo-core>

70. Wikipedia. Advanced Micro Devices [online]. Dostupné z:

https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Micro_Devices

71. Wikipedia. Intel [online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Intel>

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

| PŘEDKLÁDÁ: | ADRESA | OSOBNÍ ČÍSLO |
|---------------|----------------------------|--------------|
| Hrnčíř Martin | Žlab 8, Trutnov - Voletiny | I1700086 |

TÉMA ČESKY:

Architektury mikroprocesorů

TÉMA ANGLICKY:

Microprocessor Architectures

VEDOUCÍ PRÁCE:

prof. RNDr. Peter Mikulecký, Ph.D. - KIT

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Popsat, analyzovat a porovnat nejdůležitější rysy vývoje procesorových řad obou hlavních producentů mikroprocesorů ? Intel a AMD, a to období od nástupu vícejádrových procesorů, případně období dle dohody se zadavatelem. Přehledným způsobem utřídit poznatky o zásadních vývojových stupních procesorů a o jejich charakteristikách, se zdůrazněním důležitých inovací na každém stupni vývoje. Hlavním cílem je poskytnout čtenáři přehled toho nejdůležitějšího, co se ve vývoji architektury mikroprocesorů obou hlavních výrobců stalo, a pokusit se charakterizovat i možné trendy vývoje.

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:


Bude doporučena zadavatelem

Podpis studenta:


.....

Datum:

Podpis vedoucího práce:


.....

Datum: