

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra technologií a měření**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Srovnání paralelních a distribuovaných  
počítačových systémů**

**vedoucí práce: Ing. Jan Mayer  
autor: Michal Mazánek**

**2012**



## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na vznik sálových počítačů a následný vývoj až k superpočítačům dnešní doby. V práci jsou popsány použité technologie a uvedeno srovnání výpočetního výkonu v závislosti na stáří těchto sálových počítačů a superpočítačů. Následně je v práci popsán vznik paralelních superpočítačů, realizace a důvod vzniku distribuovaných výpočtů a vysvětlen pojem počítačový cluster.

## **Klíčová slova**

Sálový počítač, superpočítač, generace počítačů, historie počítačů, Konrad Zuse, Antonín Svoboda, SAPO, EPOS, Seymour Cray, CRAY-1, ENIAC, UNIVAC, IBM, System/360, S/370, S/390, Kei, Amálka, Tiahne-1A, Top500, Green500, benchmark, LINPACK, cluster, paralelizace, grid, distribuované výpočty, BOINC, Czech National Team

## **Abstract**

This bachelor's thesis is focused on the origins of mainframes and their following development to contemporary supercomputers. There are described the technologies used in computer production. A wide comparison of computational performance depending on the age of these mainframes and supercomputers was made. There is also described the birth of parallel supercomputers and distributed computing and the term computer cluster is explained.

## **Key words**

Mainframe, supercomputer, computer generations, history of computers, Konrad Zuse, Antonín Svoboda, SAPO, EPOS, Seymour Cray, CRAY-1, ENIAC, UNIVAC, IBM, System/360, S/370, S/390, Kei, Amálka, Tiahne-1A, Top500, Green500, benchmark, LINPACK, computer cluster, paralelization, grid, distributed computing, BOINC, Czech National Team

## **Prohlášení**

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

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software využitý při řešení této bakalářské práce je legální.

V Plzni dne 31. 5. 2012

Michal Mazánek

.....

## **Poděkování**

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

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>1 GENERAČNÍ ROZDĚLENÍ POČÍTAČŮ</b> .....	<b>10</b>
1.1 NULTÁ GENERACE POČÍTAČŮ.....	10
1.1.1 Německý vědec Konrad Zuse .....	10
1.1.2 Sálový počítač Mark .....	10
1.1.3 Československý počítač SAPO .....	11
1.2 PRVNÍ GENERACE POČÍTAČŮ (1945-1951) .....	12
1.2.1 Sálový počítač ENIAC .....	12
1.2.2 Sálový počítač MANIAC.....	12
1.2.3 První generace sálových počítačů IBM.....	12
1.2.4 Sálový počítač IBM 704 .....	13
1.3 DRUHÁ GENERACE POČÍTAČŮ (1951-1965) .....	14
1.3.1 Sálový počítač UNIVAC I .....	14
1.3.2 Sálový počítač EPOS .....	15
1.3.3 Přínosy a úspěchy profesora Antonína Svobody.....	16
1.3.4 Druhá generace sálových počítačů IBM .....	16
1.4 TŘETÍ GENERACE POČÍTAČŮ (1965-1980).....	17
1.4.1 IBM System/360, S/370, S/390.....	17
1.4.2 Vznik superpočítačů CRAY.....	18
1.5 ČTVRTÁ GENERACE POČÍTAČŮ (1981- SOUČASNOST) .....	21
1.5.1 Čtvrtá generace IBM.....	21
1.5.2 Superpočítač CRAY XT5 .....	22
1.5.3 Fujitsu – Superpočítač K.....	23
1.5.4 Čínský superpočítač Tiahne-1A.....	24
1.5.5 Český superpočítač Amálka.....	25
<b>2 SROVNÁNÍ VÝKONNOSTI MODERNÍCH SUPERPOČÍTAČŮ</b> .....	<b>27</b>
2.1 ŽEBŘÍČEK TOP500 .....	27
2.2 ŽEBŘÍČEK GREEN500 .....	29
2.3 JAK ROSTL VÝKON OD ROKU 1995 DO ROKU 2010 .....	29
2.4 DNEŠNÍ JEDNIČKA.....	30
2.5 SROVNÁNÍ SÁLOVÉHO POČÍTAČE UNIVAC I SE SUPERPOČÍTAČEM K.....	30
2.6 JAK ROSTL VÝKON CRAY SUPERPOČÍTAČŮ.....	30
<b>3 POUŽITÍ CLUSTERŮ S OHLEDEM NA ZVYŠOVÁNÍ VÝKONNOSTI POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ</b> .....	<b>32</b>
<b>4 PARALELNÍ SUPERPOČÍTAČE</b> .....	<b>34</b>
<b>5 DISTRIBUOVANÉ SYSTÉMY VÝPOČTŮ</b> .....	<b>36</b>
5.1 VÝPOČETNÍ SYSTÉM BOINC .....	36
5.2 ZAJÍMAVÉ BOINC PROJEKTY .....	37
5.3 CZECH NATIONAL TEAM .....	39
5.4 CLOUD COMPUTING .....	40
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>41</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>42</b>

## Úvod

Dnes jsou superpočítače obrovskými pomocníky. Díky nim vytváříme mnoho užitečných fyzikálních modelů, s jejich pomocí můžeme například předpovídat počasí, vyhodnocovat seismická data nebo zkoumat lidský genom. Jejich předchůdci byly sálové počítače, v angličtině nazývané Mainframe. Česky byly označovány jako sálové počítače díky svým rozměrům, protože to byla monstra zabírající celé velké sály. Anglický název „mainframe“ je založen na faktu, že moduly sálových počítačů jsou umístěny ve velkých kovových rámech. Doslovný překlad zní „hlavní rám“. Superpočítače nejsou přímo definované. Platí nepsané pravidlo, že o superpočítač se jedná, pokud je minimálně desetkrát výkonnější než nejlepší běžně dostupný počítač. Dnes superpočítače také zabírají obrovský prostor. Jejich vznik a historie jsou uvedeny na začátku práce.

První kapitola popisuje generační rozdělení počítačů a vývoj od prvních sálových počítačů, které ještě pracovaly na mechanickém principu, po dnešní moderní superpočítače. V této kapitole je zmíněn i takzvaný „otec“ superpočítačů a jiné významné osobnosti, které se podílely na vývoji počítačové techniky. Druhá kapitola je zaměřena na srovnání sálových počítačů a superpočítačů z hlediska jejich výkonu. V této kapitole je například zmíněno deset dnes nejvýkonnějších superpočítačů, deset nejúspěšnějších superpočítačů a postupný nárůst výkonu od prvních superpočítačů po nejvýkonnější výpočetní stroje dnešní doby. V další kapitole je představen pojem počítačový cluster a způsoby jeho využití v praxi. Předposlední kapitola popisuje pojem paralelní superpočítač, důvod paralelizace, rozdělení paralelismu do různých úrovní a základní klasifikace dle paralelity zpracování dat. Poslední kapitola charakterizuje distribuované výpočty, popisuje systém BOINC a představuje zajímavé projekty, do kterých se lze zapojit.



## Seznam použitých zkratk

SAPO	Samočinný počítač
IBM (International Business Machines)	Firemní název
EPOS	Elektronický počítačový stroj
MIPS (Million Instruction Per Second)	Milion instrukcí za sekundu
JSEP	Jednoduchý systém elektronických počítačů
FLOPS (Floating Point Operations per Second)	Počet operací v pohyblivé řadové čáře
DOS (Disk Operating System)	Diskový operační systém
ECL (Emitter Coupled Logic)	Emitorově vázaná logika
TTL (Transistor-Transistor-Logic)	Tranzistorově-tranzistorová logika
ASCII (American Standard Code for Information Interchange)	Americký standardní kód pro výměnu informací
CPU (Central Processing Unit)	Centrální výpočetní jednotka
PVP (Parallel Vector Processing)	Paralelní vektorový procesor
MPP (Massive Parallel Processing)	Masivně paralelní processing
SISD (Single Instruction Single Data)	Jedna instrukce, jedny data
MISD (Multiple Instruction Single Data)	Vícenásobné instrukce, jedny data
SIMD (Single Instruction Multiple Data)	Jedna instrukce, vícenásobná data
MIMD (Multiple Instruction Multiple Data)	Vícenásobná instrukce, vícenásobná data
SMP (Symetric MultiProcessing)	Symetrický multiprocessing
LSI (Large Scale Integration)	Velký stupeň integrace,
VLSI (Very Large Scale Integration)	Velmi velký stupeň integrace

# 1 Generační rozdělení počítačů

## 1.1 Nultá generace počítačů

Nultá generace počítačů přichází v období druhé světové války, kdy docházelo k masivnímu technologickému pokroku ve více zemích současně. Nultá generace je definována elektromechanickými počítači, které většinou jako základní součástku využívají relé. [1]

### 1.1.1 Německý vědec Konrad Zuse

Tento německý vědec, který se narodil 22. června 1910, začal v roce 1934 pracovat na konstrukci mechanické výpočetní pomůcky. V roce 1936 dokončil základní návrh stroje, pracujícího ve dvojkové soustavě a dokázal pracovat s aritmetikou v plovoucí čárce. Zuse do této koncepce sice nezahrnul podmíněné skoky, ale přesto se dá tvrdit, že v roce 1938 vznikl první počítač nazvaný Z1. Protože byl velmi poruchový a díky tomu i nevhodný pro praktické použití, Zuse přistoupil ke stavbě nového počítače. Postavil počítač Z2, který obsahoval 200 relé, paměť zůstala mechanická kuličková na 16 čísel.

Své úsilí následně Zuse spojil s Helmutem Schreyrem a společně se pustili do vývoje nového výkonnějšího počítače Z3. Jednalo se o první prakticky použitelný počítač, který obsahoval 2600 elektromagnetických relé a byl dokončen v roce 1941. Pracoval ve dvojkové soustavě a za necelou vteřinu dokázal provést součet nebo rozdíl a součin nebo podíl mu trval tři sekundy. Měl paměť na 64 čísel po 22 bitech. Sloužil k výpočtům charakteristik balistických raket V2. V roce 1944 však byl tento počítač zničen při náletu. Následně, v roce 1962, pak postavila Zuseho firma plně funkční repliku, která je v dnešní době vystavena v Mnichově ve vědeckotechnickém muzeu. [1, 2]



Obr. 1.1 - Konrad Zuse a jeho první počítač [1]

### 1.1.2 Sálový počítač Mark

Počítač Mark I byl, po dokončení ve vývojových laboratořích IBM, dodán Harvardské Univerzitě v Cambridge roku 1944. Tento patnáct metrů dlouhý stroj byl poháněn elektromotorem o výkonu 3,7 KW. Obsahoval 765 000 elektromechanických prvků

a pracoval v desítkové soustavě s pevnou desetinou čárkou. Součet tomuto počítači trval 0,3 sekundy a násobení trvalo 6 sekund. Sinus úhlu zvládl vypočítat za jednu minutu. [1]

Tento stroj byl neoficiálně nazýván Harvard Mark I. Projekt vedl Howard Hathaway Aiken a tento projekt se oficiálně jmenoval ASCC (Automatic Sequence Controlled Calculator), což v překladu do češtiny znamená automatický sekvenčně řízený počítač. Projekt byl financován firmou IBM (International Business Machines). Firma IBM vznikla sloučením několika společností a do doby Marku se zabývala hlavně výrobou děrnoštítkových strojů. Projektem Harvard Mark I chtěla tato firma demonstrovat své technické možnosti. Mark I byl používán americkým námořnictvem k výpočtu balistických tabulek. [1]

Po úspěchu Marku I byl zprovozněn v roce 1947 počítač Mark II, který byl už čistě releový. Skládal se z 13 000 relé a součet mu trval jen 0,125 sekundy a násobení mu trvalo v průměru 0,25 sekundy. Tento počítač byl také využíván americkým námořnictvem. [1]

### 1.1.3 Československý počítač SAPO

Prvním československým sálovým počítačem se mohl pochlubit tým Antonína Svobody v roce 1957. Byl instalován v budově Ústavu matematických strojů na Loretánském náměstí. Jednalo se o SAPO (SAmočinný POčítač). Obsahoval 400 elektronek, 7 000 relé a měl bubnovou magnetickou paměť s kapacitou 1 024 slov o délce 32 bitů. Pracoval ve dvojkové soustavě s pohyblivou řadovou čárkou. Měl zajímavé mechanismy pro opravy chyb. Skládal se ze tří shodných procesorů, které paralelně zpracovávaly výpočet a poté pokud alespoň dva výsledky vyšly shodné, byl tento výsledek výpočtu brán jako správný. V případě, že se výsledky ze všech tří procesorů lišily, operace byla zopakována.

Bohužel vlivem zapálené loužičky oleje jiskřícími reléovými kontakty vznikl požár, který poškodil malou část počítače. Protože byl zastaralý, nevyplatilo se jej opravovat, a proto byl SAPO v roce 1962 rozmontován. [2, 3]

## 1.2 První generace počítačů (1945-1951)

Počítače první generace jsou charakterizovány použitím elektronek a pouze v menší míře i elektromechanických relé. Tyto počítače měly velkou poruchovost a velmi nízkou výpočetní rychlost. Jelikož v této době neexistovaly programovací jazyky, byly ovládány ze systémové konzole jedním týmem, který zajišťoval ukončení výpočtu bez poruchy počítače. Tento tým lidí tedy vykonával funkce techniků, operátorů a konstruktérů. [1]

### 1.2.1 Sálový počítač ENIAC

Elektronkový počítač ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) byl uveden do provozu na univerzitě v Pensylvánii roku 1944. Byl to první počítač, který dokázal pracovat podobně jako dnešní počítače. Umožňoval vytvářet podmíněné skoky i smyčky. Zvládl provést až 5 000 součtů za sekundu. Pro svou velkou energetickou náročnost a poruchovost byl jeho provoz velmi drahý, proto byl provoz ENIACu v roce 1955 ukončen. [4, 5]

### 1.2.2 Sálový počítač MANIAC

Počítač MANIAC (Mathematical Analyser Numerical Integrator And Computer) byl zprovozněn John von Neumannem v roce 1945 a nacházel se v laboratořích v Los Alamos National Laboratory. Prováděl matematické výpočty pro popis fyzikálních dějů a byl dokonce využit i pro vývoj jaderné bomby. [1]

### 1.2.3 První generace sálových počítačů IBM

První generace sálových počítačů od IBM nesla označení o třech cifrách začínající číslicí 7. V této generaci bylo vyrobeno pět typů počítačů. Jednalo se o IBM 701, IBM 702, IBM 704, IBM 705, IBM 709. Tyto modely byly složeny z mnoha pasivních elektronických součástí a elektronek. To mělo velký vliv na vysokou spotřebu elektrické energie, cenu a samozřejmě i velikost. Operační paměť prvních dvou modelů se skládala z katodových trubic, u zbylých tří modelů byly použity magnetické paměti vytvořené ze sítě feritových jader. Tato jádra byla navlečena na adresové a čtecí/zápisové vodiče. [6, 7]

První elektronický sálový počítač IBM 701 byl vyroben v roce 1952. Model IBM 702 byl vyroben v roce 1953 a sloužil k hromadnému zpracování dat. IBM 704 sloužil pro vědeckotechnické výpočty a vyroben byl v roce 1954, tedy ve stejném roce, kdy byl vyroben i model IBM 705. Na modelu IBM 705 probíhalo hromadné zpracování dat. Poslední model z řady 700 byl vyroben v roce 1958. Jednalo se o IBM 709. Všechny tyto počítače se od sebe lišily hlavně instrukční sadou a strukturou procesorové jednotky. Co se týče jednotek pro

zápis a čtení (děrné štítky, magnetické pásky, bubnové paměti), tyto byly u všech modelů stejné, a proto i zaměnitelné. [6, 7]

#### 1.2.4 Sálový počítač IBM 704

Sálový počítač určený pro vědeckotechnické výpočty IBM 704 byl založen na dnes už překonaných technologiích, kterými byly elektronky a feritové paměti s dobou přístupu dvanáct mikrosekund. Byl schopen zpracovat slova o šířce 36 bitů a akumulátor byl rozšířen na 38 bitů. Aritmeticko-logická jednotka dokázala pracovat se třemi typy hodnot, jimiž byla celá čísla, čísla s pohyblivou řadovou čárkou a alfanumerické znaky. Celkový počet slov o šířce 36 bitů uložených v paměti mohl nabývat hodnot 18 kB, 36 kB a 144 kB. Při těchto hodnotách musela feritová paměť obsahovat více než milion feritových jader. Aritmeticko-logická jednotka zvládala provádět 4 000 operací násobení nebo dělení za sekundu (jedna tato operace trvala 240 mikrosekund). Pokud probíhalo sčítání nebo odečítání, zvládla těchto operací provést 12 000 za sekundu (jeden součet či rozdíl trval 84 mikrosekund). K tomuto sálovému počítači bylo také možné připojit například tiskárnu, model IBM 716. Jako externí paměť bylo možné u IBM 704 používat děrné štítky, bubnové paměti nebo magnetické pásky o kapacitě až 5 MB. [6, 7]



Obr. 1.2 - Sálový počítač IBM 704 [6]

### 1.3 Druhá generace počítačů (1951-1965)

Tato generace je charakterizována použitím polovodičové elektroniky, což znamenalo přechod na tranzistory. Uvedená technologie umožnila zlepšení všech parametrů počítačů, tedy snížení energetických nároků, zmenšení rozměrů a zvýšení spolehlivosti a rychlosti. V této generaci se díky počátku obchodu s počítači začaly využívat operační systémy, jazyk symbolických adres a první programovací jazyky. [1]

#### 1.3.1 Sálový počítač UNIVAC I

- **Představení**

První mainframe UNIVAC I (UNIVersal Automatic Computer I) vznikl ve společnosti Remington Rand a poté byl dovezen do Úřadu pro sčítání lidu v USA 30. března 1951. Jednalo se o první komerční a sériově vyráběný počítač v USA. Skládal se z 5 200 elektronek, 18 000 diod, jeho příkon byl 125 kW a hmotnost 7,6 tuny. Základní jednotkou bylo slovo o dvanácti znacích a velikost paměti byla tisíc slov. Zajímavý byl použitý druh paměti. Jednalo se o převod elektrických pulzů na mechanické, které se relativně pomalu šířily válcem naplněným rtuť. UNIVAC I byl schopný provést 1905 operací za sekundu. Celkem jich bylo postaveno čtyřicet šest a to jak pro vládní, tak i pro obchodní použití. [8, 9, 10]

- **Zasloužená sláva UNIVACu I**

UNIVAC I byl použit k předpovědi výsledku prezidentských voleb roku 1952. Jednalo se o rozhodování mezi Dwightem D. Eisenhowerem a Adlai E. Stevensonem. Dle této předpovědi mělo z dat získaných z pouhého procenta obyvatel hlasovat pro Eisenhowera 43 států s 32 915 049 hlasy a pro Stevensona to bylo pouhých 5 států a 18 936 436 hlasů. Při skutečném hlasování pak hlasovalo pro Eisenhowera 39 států s 33 936 252 hlasy a pro Stevensona 9 států s 27 314 992 hlasy. UNIVAC I za toto hodnocení nejprve dostal veliké kritiky, ale po potvrzení předpovězených výsledů a také díky tomu, že odhad hlasování byl poměrně přesný, dostal se tak do povědomí obyvatel a získal si tím zaslouženou slávu. [8, 10]

- **Cenový odhad v dnešní době**

Pro představu, základní měsíční pronájem UNIVACu I byl \$ 13 390 (což by v dnešní době činilo přibližně \$ 117 246). Pokud byla jeho součástí i vysokorychlostní tiskárna, která zvládala vytisknout 600 řádků za minutu při 130 znacích na řádku a vážila 363 kg, zvýšila se částka za měsíční pronájem o dalších \$ 3 300 (dnešních cca \$ 28 895). V případě koupě celého zařízení byla cena za samotný UNIVAC I \$ 750 000 (dnes přibližně \$ 6 567 201).

Pořízení vysokorychlostní tiskárny přišlo na \$ 185 000, což by v dnešní době činilo navíc ještě přibližně \$ 1 619 909. [8]

### 1.3.2 Sálový počítač EPOS

Druhý československý sálový počítač EPOS 1 (Elektronický POčítač Stroj), vytvořený pod vedením Antonína Svobody, byl spuštěn v roce 1960. Umístěn byl ve Výzkumném ústavu matematických strojů. Tvořen byl 8 000 elektronkami a diodovými logickými obvody. Měl feritovou paměť, která měla kapacitu 1 024 slov po 65 bitech. EPOS 1 uměl zpracovávat dvanáctimístná dekadická čísla. Díky logickému návrhu EPOS 1 dokázal sám opravit jednotlivé chyby a indikovat více chyb bez narušení průběhu výpočtu. U tohoto počítače se objevilo několik průkopnických řešení. Jedním z nich bylo rozdělení operační jednotky do více paralelně pracujících částí. Jedním ze Svobodových návrhů bylo vnější sdílení času EPOSu 1 a umožňovalo řešit až pět programů běžících paralelně. Bohužel v době EPOSu 1 nedokázali uživatelé této schopnosti většinou ani využít. V roce 1965 se objevil funkční vzor jednotky počítače EPOS 2, jenž byl nástupcem EPOSu 1. Jednalo se o počítač střední výkonnostní kategorie, který byl již osazen tranzistory a sériově se začal vyrábět roku 1968. [1, 11]



Obr. 1.3 – Sál s počítačem EPOS 1 [13]

### 1.3.3 Přínosy a úspěchy profesora Antonína Svobody

Pražský rodák Antonín Svoboda se narodil v roce 1907. V roce 1931 absolvoval strojní a elektrotechnické oddělení Českého vysokého učení technického. V roce 1943 se stal Svoboda členem skupiny v „*Radiation laboratory*“ na Massachusettské technice v Bostonu, která vyvíjela radarem řízený protiletadlový zaměřovač pro válečné lodě. Označován byl Mark 56 a jelikož zachránil v závěrečných fázích války v Tichomoří životy mnoha námořníků, dostal Antonín Svoboda jako jediný Čech ocenění „*Naval Ordnance Development Award*“. Antonín Svoboda také napsal první knihu o počítačích zvanou „*Computing mechanisms and linkages*“. V roce 1946 se vrátil do Prahy a v roce 1950 bylo Antonínu Svobodovi umožněno založit laboratoř matematických strojů v Ústředním ústavu matematickém. Dva roky poté vznikl samostatný Ústav matematických strojů vedený právě Antonínem Svobodou. Zde byla také dokončena konstrukce počítače SAPO a vznikl projekt EPOS, jehož dokončení se Svoboda v Praze nedočkal, protože byl nucen roku 1964 opět emigrovat. Americké úřady mu ve všem vyšly vstříc a v USA byl brán za velmi váženou osobu. Až do roku 1977 působil jako profesor na Kalifornské univerzitě v Los Angeles a poté odešel do důchodu. [12, 13]

Jednou ze Svobodových technik byla takzvaná Svobodova mapa a byla používána pro zápis logických funkcí. Mapa je indexována binárně, proto se sousední pole nemusejí lišit jen v jedné proměnné jako u Karnaughovy mapy. Svobodova mapa se hodí pro získání inverzní funkce, kterou dostaneme rotací mapy o 180°. [14]

### 1.3.4 Druhá generace sálových počítačů IBM

Druhá generace počítačů IBM už byla označována kódem o čtyřech cifrách opět začínajícím číslem 7. V této generaci se místo rozměrných a poruchových elektronek, které měly navíc i velkou spotřebu, začaly objevovat tranzistory. Převážně se tedy jednalo o první generaci počítačů, ale s použitím odlišných součástek a drobných vylepšení. Modely druhé generace jsou IBM 7090, IBM 7094, IBM 7094 II, IBM 7040, IBM 7044, IBM 7080, IBM 7010, IBM 7070, IBM 7072, IBM 7074. Tyto modely se začaly vyrábět v letech 1959 – 1964 a to pro tři účely. Prvních pět modelů (IBM 7090 - IBM 7044) bylo použito pro vědeckotechnické výpočty. Model IBM 7080 sloužil k hromadnému zpracování dat a poslední tři modely (IBM 7070 – IBM 7074) byly určeny pro dekadickou soustavu. [6]



## 1.4 Třetí generace počítačů (1965-1980)

Třetí generace počítačů je charakterizována použitím integrovaných obvodů a s postupem času i nárůstem počtu tranzistorů v integrovaném obvodu. Začalo se využívat multiprogramování, což znamená, že když čeká jeden program na dokončení operace, procesor zpracovává druhou úlohu. Objevuje se i první podpora multitaskingu. Při tomto procesu se může zdát, že všechny programy pracují současně. Ve skutečnosti se jen programy zpracovávají procesorem střídají. Praktické využití nových poznatků umožnilo rovněž zavádění interaktivních systémů. Byly vytvářeny první verze Unixu na jehož bázi fungovalo mnoho superpočítačů a funguje hodně výpočetních strojů i dnes. Výkon počítačů třetí generace byl úměrný druhé mocnině ceny počítače, proto bylo výhodné zakoupit ten nejvýkonnější a následně prodávat jeho strojový čas. V této generaci se objevují hlavně velké střediskové počítače. Vznikají také první vektorové superpočítače, s nimiž je spojeno jméno Seymour Cray, který je považován za otce superpočítačů. [1]

### 1.4.1 IBM System/360, S/370, S/390

- **System/360**

Nejnámějšími počítači ve třetí generaci byly mainframy IBM 360. Tato řada počítačů byla uvedena roku 1964 a výkonnostně byla rozdělena od modelu 360/20 až po největší model 360/90. Všechny měly téměř stejný soubor instrukcí, takže bylo možné použít stejný software. [6, 15]

Oproti první a druhé generaci počítačů neměly tyto počítače přesné určení, a proto je v názvu i číslo 360. Je tím myšleno 360 stupňů, což vyjadřuje celý kruh. Tyto počítače bylo možné použít jak pro hromadné zpracování dat nebo účetní operace, tak i pro vědeckotechnické výpočty. Vyráběly se až do roku 1977 a byly velmi populární. Počítače System/360 se od sebe odlišovaly především výpočetním výkonem a kapacitou operačních a externích pamětí. Do první série těchto sálových počítačů patřil model 30. Jeho procesorová jednotka byla složena z diskrétních součástek, mezi které řadíme hlavně diody, rezistory a tranzistory. Podobně jako u první a druhé generace sálových počítačů IBM byla i u tohoto stroje tvořena operační paměť feritovými jádérky a její kapacita se pohybovala od 16 kB až do 128 kB. Cyklus této operační paměti byl 750 ns, to odpovídá frekvenci 1,33 MHz. Roku 1966 přišel na trh model 91 z řady 360/90. Procesor tohoto počítače byl opět složen z diskrétních elektronických součástek a měl výpočetní výkon rovný jeden MIPS (Million Instruction Per Second). Kapacita operační paměti dosahovala velikosti 4 MB až 6 MB. Tento model byl dokonce vybaven i matematickým procesorem se čtyřmi pracovními registry,

z nichž každý disponoval šířkou 64 bitů. Matematicky zaměřené aplikace se samozřejmě programovaly hlavně ve FORTRANu, ale byla využívána i spousta dalších programátorských jazyků jako například LISP, ALGOL či COBOL. Počítače System/360 udělaly skutečný průlom do praktického a komerčního využití. Proto se i řada jiných výrobců pokoušela System/360 napodobit. V komunisticky orientovaných zemích se od roku 1969 vyráběly pod označením EC resp. JSEP. V Československu vznikl počítač EC 1021 a vyrobeno bylo téměř 400 kusů. Tyto klony se vyznačovaly velkou poruchovostí. [1, 6, 15]

- **S/370, S/390**

Roku 1970 byl na trh uveden nový mainframe IBM, který byl díky popularitě počítače System/360 pojmenován System/370, také zkráceně označován jen S/370. Jelikož byl System/360 velmi rozšířený, musel být S/370 zpětně kompatibilní se staršími aplikacemi. Kompatibility bylo potřeba dosáhnout i přesto, že se technologie ve srovnání se starším modelem System/360 hodně změnila. S/370 byl složen z integrovaných obvodů LSI, VLSI a obsahoval jeden či více procesorů. Každý procesor měl šestnáct 32-bitových řídicích registrů, pojmenovaných zkratkou CR, stejný počet pracovních registrů, značených zkratkou GPR a 64-bitové stavové slovo značené zkratkou PSW. Základní procesory uměly zpracovávat přímo jen celočíselné 32-bitové hodnoty, proto zde byla možnost přidat koprocesory, které umožnily práci s vektory a koprocesory pracující s 64-bitovými nebo 128-bitovými hodnotami, které byly uloženy ve formátu plovoucí řadové čárky. Mainframe S/370 byl firmou IBM vyráběn velmi dlouho, a to až do počátku devadesátých let. Na trhu se totiž objevila nová řada značená System/390, zkráceně označována S/390, se kterou je možné se setkat i dnes, protože na nich lze bezproblémově provozovat operační systém Linux. [6, 16, 17]

#### 1.4.2 Vznik superpočítačů CRAY

- **Seymour Cray**

Seymour Cray je americký inženýr, který se narodil 28. 9. 1925. V letech 1968 až 1992 pracoval ve firmě Control Data Corporation, která byla také označována jako CDC. Pracoval na počítačových modelech CDC 6600 a CDC 7600, který v té době představoval nejvýkonnější počítač prodáváný za pět milionů dolarů. Podílel se i na vývoji modelu CDC 8600. Zde se poprvé díky Seymourovu Crayovi a jeho spolupracovníkům implementovaly první funkční jednotky, které dokázaly zpracovat data uložená ve vektorech. Upravená aritmeticko-logická jednotka dokázala některé operace s vektory urychlit až čtyřnásobně oproti klasickému sekvenčnímu zpracování. Bohužel kvůli soudnímu sporu firmy CDC s IBM

a následným finančním problémům Cray firmu roku 1972 opustil a založil Cray Research a později Cray Computer Corporation. [18, 19, 20, 21]

- **Otec superpočítačů**

Všeobecně byl Seymour Cray znám jako otec superpočítačů. Superpočítače CRAY totiž byly konstruovány tak, aby byl jejich výpočetní výkon co nejvyšší bez ohledu na cenu. Výkon byl kladen především na oblast numerických výpočtů s číselnými hodnotami, které byly uloženy v systému plovoucí řadové čárky. Tyto superpočítače musely provádět numerické operace v co nejkratších časech. Architektura superpočítačů CRAY byla koncipována tak, aby byly výpočty s vektory a maticemi provedeny co nejrychleji. K tomu byl využit větší počet procesorových jednotek, aby bylo možné v případě výskytu podmínek ve výpočtech vyhodnotit tyto podmínky v co nejkratším čase a to pro každý prvek matice nebo vektoru. Každý procesor pracoval samostatně a každý procesor byl rozdělen do několika funkčních jednotek. Součástí byla i jednotka, která byla určena pro práci s vektory. Díky těmto jednotkám bylo možné nahrazení zdlouhavých výpočtů s programovými smyčkami jedinou instrukcí nebo krátkou sekvencí instrukcí, která neobsahuje žádné skoky. Jelikož měly tyto superpočítače vektorových jednotek více, dokázaly jednotky pracovat paralelně a nezávisle na sobě. To ale platilo jen za předpokladu, že nedocházelo ke kolizím při zápisu dat. [18, 22, 23]

Z toho vyplývá, že srovnání superpočítače, který dokáže provést více operací nad celými vektory současně, například s klasickým procesorem Pentium 1 na základě jeho taktu, je nesmyslné, protože Pentium 1 pracuje jen se skalárními hodnotami. Proto se udává výpočetní výkon superpočítačů v jednotkách FLOPS (FLoating point OPERations per Second).

- **CRAY-1**

Superpočítač CRAY-1 byl veřejnosti představen roku 1975. Byl sestaven z dvanácti vysokých skříní, které byly propojeny tak, aby tvořily tříčtvrteční kruh. To při pohledu shora připomínalo tvar písmene C. Pod těmito dvanácti skříněmi se nacházela místa pro sezení, v nichž byla zabudována část napájecího systému a kapalinové chlazení. Tento design byl velmi unikátní a rozměry tohoto superpočítače byly ve srovnání s mainframy CDC firmy IBM poměrně malé. Seymour Cray zastával názor, že menší počítač znamená při jeho správném návrhu i rychlejší počítač. Cílem menších rozměrů stroje byla kratší vzdálenost vodičů pro komunikaci mezi jednotlivými moduly. Díky konstrukci tvaru písmene C bylo možné doslova vstoupit do superpočítače jak pro techniky, tak i pro případné návštěvníky. CRAY-1 pracoval na frekvenci 80 MHz a jeho hmotnost byla více jak pět tun. Spotřeba byla pouhých 115 kW a její velikost se téměř neměnila, a to ani při čekání na vstup či při provádění operací.

Důvodem byla použitá technologie ECL oproti konkurenční TTL. Na rozdíl od TTL, v technologii ECL pracují tranzistory ve své aktivní oblasti podobně jako v zesilovačích. Vyloučí se tím pomalý přechod tranzistoru ze saturace a naopak do saturace. Nevýhodou jsou větší proudy, které jsou pro technologii ECL potřeba a tím i silnější zdroj s výkonnějším chlazením. [24]

Jelikož byl CRAY-1 vytvořen především pro numerické výpočty, byla potřeba správného programovacího jazyku. Jasnou volbou byl FORTRAN, protože už od svých prvních verzí, kdy byl určen pro mainframe IBM 704, byl vybaven základními aritmetickými i relačními operátory, možností pracovat s komplexními čísly a variantou podmíněného příkazu IF, kde nebyla podmínka vyjádřena pravdivostním výrazem, ale byla vyjádřena aritmetickým výrazem. Tento jazyk byl na CRAY-1 používán pod názvem CRAY-1 Fortran Compiler, což bylo zkráceně CFT. [22, 24]

První superpočítač CRAY-1 se sériovým číslem 001 byl roku 1976 použit na šestiměsíční zkušební dobu v národní laboratoři v Los Alamos. Prvním oficiálním zákazníkem bylo



Obr. 1.4 – Seymour Cray a jeho superpočítač CRAY-1 [24]

Národní centrum pro atmosférický výzkum, které v červnu 1977 zaplatilo za superpočítač 8,86 milionu amerických dolarů. Stroj, patřící Národnímu centru pro atmosférický výzkum, byl vyřazen z provozu v lednu 1979. Díky tomuto zařízení se stala společnost Cray Research úspěšnou a slavnou. Poté, co si společnost získala jméno a důvěru, uvedla roku 1982 zdokonalené modely CRAY-1S a CRAY-1M. Celkový prodej vystoupal na 80 kusů, což byl značný úspěch. Do skupiny zákazníků patřily především státní instituce jako jaderné laboratoře nebo jiná špičková vědecká zařízení. Superpočítače se

prodávaly za ceny v rozmezí od pěti do devíti milionů dolarů. [18]

## 1.5 Čtvrtá generace počítačů (1981- současnost )

Mikroprocesory a osobní počítače - těmi je charakterizována čtvrtá generace počítačů. Dříve se procesory skládaly z více obvodů, ale v této generaci mikroprocesorů je celý procesor obsažen pouze v jednom pouzdře. Díky obvodům s vysokou integrací je snížen počet obvodů na základní desce a tím i celkové zmenšení rozměrů. Zvýšila se i rychlost, spolehlivost a kapacita paměti. Střediskové počítače ustupují a jsou nahrazeny pracovními stanicemi. S osobními počítači nejprve přichází systém DOS a vznikají grafická uživatelská rozhraní. Již se nevyplatí kupovat nejvýkonnější stroje a začínají vznikat clustery z mnoha běžných počítačů. [1]

### 1.5.1 Čtvrtá generace IBM

- **Roadrunner – BladeCenter**

Dle renomovaného žebříčku Top500 (na webových stránkách [www.top500.org](http://www.top500.org)) byl superpočítač firmy IBM v listopadu roku 2008 prohlášen za superpočítač s nejlepším výpočetním výkonem na světě. Jednalo se o superpočítač postavený z několika počítačů IBM BladeCenter QS22/LS21 Cluster, který nesl kódové označení Roadrunner. [25, 27]

Roadrunner je umístěn v USA v Novém Mexiku v Národní laboratoři v Los Alamos a v provozu dokázal dosáhnout výpočetního výkonu 1,105 PFLOPS. K tomuto výkonu mu dopomohl hardware o celkovém počtu 129 600 procesorových jader. Roadrunner se skládá z procesorů IBM PowerXCell 8i pracujících na frekvenci 3,2 GHz v kombinaci s procesory od společnosti AMD. Jedná se o dvoujádrové procesory AMD Opteron Dual Core pracující na frekvenci 1,8 GHz. [25, 26, 27]

Prvenství v žebříčku Top500 si Roadrunner udržel do listopadu roku 2009, kdy se na první místo dostal superpočítač CRAY XT5, kódově značený Jaguar. Roadrunner se tedy posunul na druhou příčku. [26]

V dnešní době má Roadrunner výpočetní výkon 1,042 PFLOPS a 122 400 jader. V této hardwarové sestavě dnes obsazuje desátou příčku v žebříčku Top500. Má spotřebu 2 345 kW, a pokud přepočteme výpočetní výkon tak, abychom zjistili, kolik operací případně na spotřebu jednoho Wattu, vyjde nám přibližná hodnota 444,35 MFLOPS/Watt. [25, 26, 27]

- **BlueGene/Q**

V čem dnes ale IBM drží prvenství, je právě poměr výkonu v závislosti na spotřebě. IBM dosáhlo tohoto prvenství díky superpočítači IBM Systém BlueGene/Q z roku 2011. Zmiňovaný superpočítač, obsazující první příčku ve srovnání poměru výkonu a spotřeby, je osazen procesory IBM PowerPC A2 1,6 GHz, přičemž na každý uzel připadá šestnáct jader

a 16 GB operační paměti typu SDRAM-DDR3. Celkový součet všech jader je 16 384 s výpočetním výkonem 172,49 TFLOPS a spotřebou 85,1 kW. Po přepočtení nám vychází 2026,48 MFLOPS/Watt. Z devadesáti procent je vodou chlazený a zbylých deset procent obstarává vzduchové chlazení. Teploty tohoto stroje jsou udržovány v rozmezí od 18 do 25 °C a jeho hmotnost se pohybuje mírně nad dvěma tunami. Co se výkonu týče, obsazuje šedesátou čtvrtou pozici v žebříčku výkonnosti Top500. [28, 29]



Obr. 1.5 - Superpočítač BlueGene [29]

### 1.5.2 Superpočítač CRAY XT5

Dnes nejvýkonnějším CRAY-superpočítačem je superpočítač CRAY XT5-HE. Byl představen v roce 2009 a nese kódové označení Jaguar. Od listopadu 2009 téměř do konce roku 2010 obsazoval první příčku ve srovnání výkonnosti superpočítačů dle žebříčku Top500. V listopadu 2011 se propadl až na třetí příčku. První model se skládal z 224 162 procesorových jader a jeho výpočetní výkon měl být dle teoretických předpokladů 2 331 TFLOPS. Ve skutečnosti ale dosáhl výpočetního výkonu jen 1 759 TFLOPS. Při tomto výkonu dosahoval spotřeby 6 950 kW. Byl osazen šestijádrovými procesory Opteron pracujícími na frekvenci 2,6 GHz. Tento model se nachází v Oak Ridgeské národní laboratoři a v dnešní době probíhají jeho přestavby na CRAY XK6, který ponese kódové označení Titan. Pokud se bude výsledný výkon podobat předpokládanému, padne hranice 20 PFLOPS. První fáze přestavby byla dokončena v únoru roku 2012. Doposud byl každý z 18 688 uzlů CRAY XT5 nahrazen uzly CRAY XK6. Došlo tedy k výměně dvou šestijádrových procesorů připadajících jednomu uzlu za jeden nový, šestnáctijádrový procesor AMD Opteron 6274,

pracující na frekvenci 2,2 GHz. Každému uzlu také nově připadlo 32 GB operační paměti typu DDR3. Takto upravený Jaguar je osazen celkovým počtem 299 008 procesorových jader s 600 TB operační paměti a dosahuje výpočetní rychlosti 3,3 PFLOPS. 960 uzlů bylo také obohaceno o grafické jednotky NVIDIA Fermi. Další fáze úprav je naplánována koncem roku 2012. Mělo by dojít k úplnému vyjmutí nově instalovaných 960 grafických akceleratorů NVIDIA Fermi z důvodu jejich nahrazení novější, úspornější a výkonnější generací NVIDIA Kepler. Tyto grafické akcelerátory budou umístěny do 14 592 uzlů, tj. 78 procent celkového počtu 18 688 uzlů. Nový model CRAY XK6 by měl být dokončen začátkem roku 2013. [30, 31, 32, 33, 34, 35]



Obr. 1.6 - Superpočítač Cray XT5 [29]

### 1.5.3 Fujitsu – Superpočítač K

Nový superpočítač nese označení K (Kei = deset quadrilionů) a podle oficiálního benchmarku LINPACK (způsob testování počítačů) dosáhl v konfigurační fázi 8,162 PFLOPS. Nyní stále obsazuje první příčku s výkonem 10,510 PFLOPS. Když se v červnu 2011 objevil, v podstatě zesměšnil superpočítač, který obsazoval do té doby první příčku ve srovnání nejvýkonnějších superpočítačů. Nyní je čtyřnásobně rychlejší než superpočítač Tiahne-1A, který v dnešní době obsazuje druhé místo. K je v současnosti tvořen procesory SPARC64 VIIIfx nesoucí kódové označení Venus s integrovaným paměťovým

řadičem Tofu interconnect a s přenosovou rychlostí 500 GB/s. Procesory pracují na frekvenci 2 GHz, jsou vyráběny 45 nm technologií a jeden procesor dosahuje výkonu 128 GFLOPS. Superpočítač navrhovala a sestrojila společnost Fujitsu ve spolupráci s RIKEN (institut pro výzkum fyziky a chemie), kde je i umístěn. Na jedné základní desce je 64 GB operační paměti a čtyři procesory. Chlazení celého systému je realizováno pomocí kapaliny, která udržuje stálou teplotu 30 °C. Toto médium proudí skrze chladicí věže, které tvoří převážnou část prostor a kde probíhá výměna tepla s okolím. Cena tohoto superpočítače činí přibližně 1,4 miliardy dolarů a každoroční účet za elektřinu se pohybuje kolem deseti milionů dolarů při spotřebě 12,66 MW. [36, 37, 38]



Obr. 1.7 - Superpočítač Kei [38]

#### 1.5.4 Čínský superpočítač Tiahne-1A

Superpočítač Tiahne-1A je umístěn v National Supercomputer Centru v čínském Tianjinu. Je postaven na hybridní architektuře. Skládá se z celkového počtu 14 336 šestijádrových procesorů Intel Xeon X5670 pracujících na frekvenci 2,93 GHz a zbytek tvoří 7 168 grafických karet NVIDIA Tesla M2050. Tyto grafické karty NVIDIA Tesla tvoří přesně jednu třetinu superpočítače Tiahne-1A. Celkem je tvořen 186 368 výpočetními jádry a skládá se z 3 584 racků. Tento superpočítač dosahuje dle žebříčku Top500 výkonu 2,566 PFLOPS a do nedávna obsazoval pozici nejvýkonnějšího superpočítače na světě. První příčku si udržel od listopadu roku 2010, kdy ukázal svůj výkon světu, do představení výkonnějšího superpočítače, což se stalo v červnu roku 2011. Díky použití hybridní technologie má Tiahne-1A spotřebu 4,04 MW. Kdybychom použili klasické procesory místo grafických



jednotek, spotřeba by dle společnosti NVIDIA prý dosáhla 12 MW a rozdílová hodnota, která je 7,96 MW by měla postačit k napájení 5 000 průměrných domácností po celý jeden rok. Společnost také uvádí, že pro dosažení stejného výkonu bychom museli použít okolo 50 000 procesorových jednotek místo 7 168 grafických karet. [39, 40, 41]



Obr. 1.8 - NVIDIA Tesla M2050 [40]

### 1.5.5 Český superpočítač Amálka

Jedná se o český paralelní superpočítač, který se nachází v Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR. První generace Amálky vznikla v roce 1998 a dosahovala výkonu v jednotkách MFLOPS. V této generaci se skládala z 8 počítačů, 8 procesorů a 8 výpočetních jader. Druhá generace vznikla v roce 2000 a dosahovala s 16 výpočetními jádry desítek GFLOPS. Ve třetí generaci roku 2003 dosáhla Amálka téměř 1 TFLOPS. V této generaci se skládala z 96 počítačů, 188 procesorů a 188 výpočetních jader. Čtvrtá generace měla v roce 2006 výpočetní výkon 2,6 TFLOPS s 272 procesory a 360 výpočetními jádry. Operační paměť činila 180 GB RAM, diskový prostor byl 20 TB a příkon celého systému 40 KW. K přechodu na pátou generaci došlo v roce 2007. Tato generace měla 572 výpočetních jader a dosahovala výkonu 4,07 TFLOPS. Došlo také k rozšíření operační paměti na hodnotu 280 GB RAM a diskový prostor byl rozšířen na 30 TB. Díky výměně starých uzlů zůstala stejná energetická náročnost. Na aktuální šestou generaci přešla Amálka roku 2009. Šestá generace se skládá



Obr. 1.9 - Česká Amálka [48]

z 356 procesorů a 800 výpočetních jader. Zástupci společností Intel a Sprinx Systems, které zajistily rozšíření Amálky, oznámili, že po přechodu na šestou generaci se spotřeba elektrické energie Amálky snížila z původní hodnoty 40 KW o 40 %. [42, 43, 44, 45, 48]

**Tab. 1.1 – Použité procesory u superpočítače Amálka [42]**

Typ procesoru	Od generace	Počet procesorů	Počet jader
Intel Pentium III Xeon 700	2	16	16
Intel Xeon 2,8 GHz	3	172	172
Intel Xeon 5140 2,33 GHz	4	84	168
Intel Xeon E5345 2,33 GHz	5	54	216
Intel Xeon L5520 2,26 GHz	6	64	256

**Tab. 1.2 – Vývoj a složení Amálky v dnešní době [42]**

Rok	Generace	Počet procesorů	Počet výpočetních jader	Výkon [GFLOPS]
1998	1	8	8	Tisíciny
2000	2	16	16	Desítky
2003	3	188	188	1 000
2006	4	272	360	2 580
2007	5	326	572	4 070
2009	6	356	800	6 380

Amálka slouží k náročným experimentům a výpočtům v rámci kosmického programu v České republice. Spolupracuje s Evropskou kosmickou agenturou ESA a americkým úřadem NASA. Dále Amálka vypomáhá na americkém projektu Artemis. Ten se zabývá výzkumem blízkého okolí měsíce za pomoci dvou družic Themis. Získané informace nám umožňují studium magnetických anomálií na Měsíci, jeho exosféry a způsobu interakce malých magnetosfér na jeho povrchu s kosmickým plazmatem. [46, 47]

„Dle Dr. Pavla Trávníčka z ÚFA AV ČR mají podobně jako zemská magnetosféra schopnost odstínit tok životu nebezpečného slunečního větru a vymezit tímto způsobem vhodné lokality pro budování základen s lidskou posádkou. Amálka tak pomáhá připravovat návrat lidí na naši přirozenou družici a vybudování stálých lunárních základen.“ [46]

## 2 Srovnání výkonnosti moderních superpočítačů

Způsob testování a srovnávání určitých veličin se nazývá benchmark. Nejrozšířenější a nejvíce používaný benchmarkovací program v oblasti superpočítačů je nazýván LINPACK. Nejprve se výkon superpočítačů udával v jednotkách MIPS. To je zkratka pro počet operací s celými čísly provedenými za sekundu. V souvislosti se vznikem superpočítače CDC 6600 byla zavedena nová jednotka pro měření výkonnosti, tzv. FLOPS. Anglický název je FLoating-point OPerations per Second, což v překladu do češtiny znamená počet operací v plovoucí řadové čárce za sekundu. Tato jednotka byla zavedena Frankem H. McMahonem z Lawrence Livermore National Laboratory. Standardizovaný benchmark je právě LINPACK, který byl založen na Fortranovské knihovně. [49]

V dnešní době jsou dva nejznámější a nejvyužívanější žebříčky, a to Top500 a Green500.

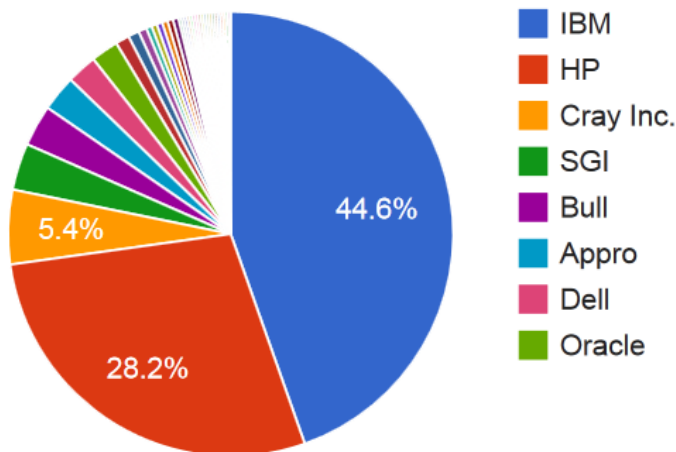
### 2.1 Žebříček Top500

O srovnání nejlepších superpočítačů dle výkonu se stará renomovaný žebříček Top500 (webové stránky [www.top500.org](http://www.top500.org)).

Rank	Site	Computer/Year Vendor	Cores	R <sub>max</sub>	R <sub>peak</sub>	Power
1	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect / 2011 Fujitsu	705024	10510.00	11280.38	12659.9
2	National Supercomputing Center in Tianjin China	NUDT YH MPP, Xeon X5670 6C 2.93 GHz, NVIDIA 2050 / 2010 NUDT	186368	2566.00	4701.00	4040.0
3	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz / 2009 Cray Inc.	224162	1759.00	2331.00	6950.0
4	National Supercomputing Centre in Shenzhen (NSCS) China	Dawning TC3600 Blade System, Xeon X5650 6C 2.66GHz, Infiniband QDR, NVIDIA 2050 / 2010 Dawning	120640	1271.00	2984.30	2580.0
5	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	HP ProLiant SL390s G7 Xeon 6C X5670, Nvidia GPU, Linux/Windows / 2010 NEC/HP	73278	1192.00	2287.63	1398.6
6	DOE/NNSA/LANL/SNL United States	Cray XE6, Opteron 6136 8C 2.40GHz, Custom / 2011 Cray Inc.	142272	1110.00	1365.81	3980.0
7	NASA/Ames Research Center/NAS United States	SGI Altix ICE 8200EX/8400EX, Xeon HT QC 3.0/Xeon 5570/5670 2.93 Ghz, Infiniband / 2011 SGI	111104	1088.00	1315.33	4102.0
8	DOE/SC/LBNL/NERSC United States	Cray XE6, Opteron 6172 12C 2.10GHz, Custom / 2010 Cray Inc.	153408	1054.00	1288.63	2910.0
9	Commissariat a l'Energie Atomique (CEA) France	Bull bullx super-node S6010/S6030 / 2010 Bull	138368	1050.00	1254.55	4590.0
10	DOE/NNSA/LANL United States	BladeCenter QS22/LS21 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 GHz, Voltaire Infiniband / 2009 IBM	122400	1042.00	1375.78	2345.0

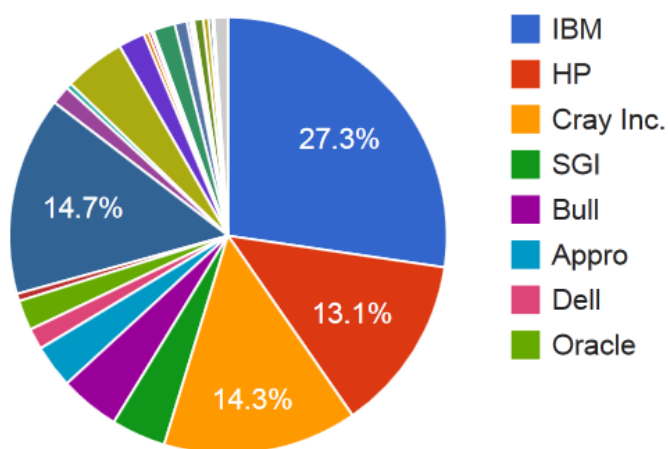
Obr. 2.1 - Deset nejvýkonnějších superpočítačů 11/2011 [50]

V uvedeném žebříčku je 223 superpočítačů od společnosti IBM, 141 superpočítačů od společnosti Hewlett Packard.. Společnost Cray Inc. obsazuje v žebříčku Top500 celkem 27 příček. Zbylých 109 příček obsazují superpočítače společností jako například SGI, Bull, Dell, Oracle, Fujitsu, Hitachi, NUDT, NEC, ASUS, Acer Group, Intel a mnoho dalších. [51]



Obr. 2.2 - Zastoupení společností dle množství strojů v žebříčku Top500 [51]

Velikost výkonu produktů těchto společností v žebříčku Top500 je následující. Všechny superpočítače IBM dosahují výkonu 20,234 PFLOPS s 3 317 036 výpočetními jádry, superpočítače společnosti HP dosahují výkonu 9,67 PFLOPS s 1 509 694 výpočetními jádry, superpočítače společnosti Cray Inc. dosahují výkonu 10,61 PFLOPS s 1 457 068 výpočetními jádry. Za zmínku stojí ještě společnost Fujitsu, která dosahuje se 4 superpočítači a 743 176 výpočetními jádry výkonu 10,91 PFLOPS, což je 14,7 % celkového výpočetního výkonu žebříčku Top500. Tohoto výkonu dosahuje společnost díky dnešnímu nejvýkonnějšímu superpočítači K, který sám disponuje výkonem 10,51 PFLOPS. [51]



Obr. 2.3 - Zastoupení společností dle výkonnosti všech jejich strojů v žebříčku Top500 [51]

## 2.2 Žebříček Green500

O srovnání nejúspěšnějších superpočítačů v porovnání spotřeby k výpočetnímu výkonu se stará renomovaný žebříček Green500 (webové stránky [www.green500.org](http://www.green500.org)), který čerpá informace z veřejně dostupných zdrojů včetně Top500. [52]

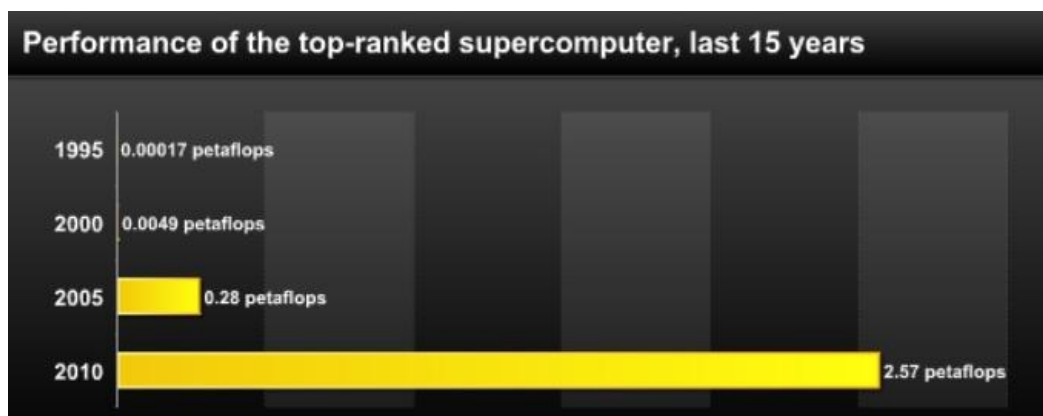
Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	2026.48	IBM - Rochester	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom	85.12
2	2026.48	IBM Thomas J. Watson Research Center	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom	85.12
3	1996.09	IBM - Rochester	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom	170.25
4	1988.56	DOE/NNSA/LLNL	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom	340.50
5	1689.86	IBM Thomas J. Watson Research Center	NNSA/SC Blue Gene/Q Prototype 1	38.67
6	1378.32	Nagasaki University	DEGIMA Cluster, Intel i5, ATI Radeon GPU, Infiniband QDR	47.05
7	1266.26	Barcelona Supercomputing Center	Bullx B505, Xeon E5649 6C 2.53GHz, Infiniband QDR, NVIDIA 2090	81.50
8	1010.11	TGCC / GENCI	Curie Hybrid Nodes - Bullx B505, Nvidia M2090, Xeon E5640 2.67 GHz, Infiniband QDR	108.80
9	963.70	Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences	Mole-8.5 Cluster, Xeon X5520 4C 2.27 GHz, Infiniband QDR, NVIDIA 2050	515.20
10	958.35	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	HP ProLiant SL390s G7 Xeon 6C X5670, Nvidia GPU, Linux/Windows	1243.80

Obr. 2.4 – Deset nejúspěšnějších superpočítačů [52]

## 2.3 Jak rostl výkon od roku 1995 do roku 2010

Superpočítač z roku 1995 byl 15 000 krát pomalejší než čínský superpočítač Tiahne-1A z roku 2010.

V roce 1995 měl nejrychlejší stroj výkon 170 GFLOPS. V roce 2000 už to bylo 4,94 TFLOPS. Roku 2005 se tato hodnota znásobila na 280 TFLOPS a v roce 2010 nejrychlejší čínský Tiahne-1A zvládl 2,57 PFLOPS. [53]



Obr. 2.5 – Jak rostl výkon superpočítačů od roku 1995 do roku 2010 [53]

## 2.4 Dnešní jednička

Z výše zmíněných informací je zřejmé, že v oblasti nejvýkonnějších superpočítačů nevydrží žádný model příliš dlouho, protože se jeho výkon rychle stane nedostačujícím a nahradí ho nový výkonnější model.

Od listopadu 2009 ovládal první příčku žebříčku Top500 superpočítač CRAY XT5 (Jaguar) s výkonem 1,759 PFLOPS. Podle měření benchmarku Linpack byl Jaguar na konci roku 2010 překonán čínským superpočítačem Tiahne-1A o 0,807 PFLOPS. V červnu roku 2011 se ale objevil superpočítač K, který dnes obsazuje první místo s výpočetním výkonem 10,510 PFLOPS.

## 2.5 Srovnání sálového počítače UNIVAC I se superpočítačem K

Srovnat UNIVAC I s dnešní jedničkou, kterou je superpočítač K, není tak jednoduché. Co se technické stránky týče, UNIVAC I ještě neměl mikroprocesory, tranzistory anebo moderní paměti. Dnes je základní jednotkou informace jeden bit a složením osmi bitů vznikne jeden bajt. Jeden bajt je složen z jednoho znaku znakové sady ASCII a čísla v rozsahu od 0 do 255. Jak bylo výše zmíněno, nejmenší jednotkou UNIVACu I bylo slovo skládající se ze dvanácti znaků a to jak číslic, tak i písmen. Pro srovnání si tedy musíme udělat přepočet. Operační paměť UNIVACu I měla velikost tisícovky slov, což je v přepočtu 12 000 bajtů. Superpočítač K má operační paměť přibližně 1 410 TB, což je 117 500 000 000 krát více. Výkon dnešních strojů se měří podle toho, kolik zvládnou reálných matematických výpočtů za sekundu. Superpočítač K zvládne 10,51 biliard výpočtů za sekundu a UNIVAC I byl schopen provést 1 905 operací za sekundu. Z těchto výpočetních výkonů jednoduše zjistíme, že superpočítač K zpracuje 5 517 060 367 454 krát více výpočtů za sekundu. Když vezmeme v úvahu ještě spotřebu elektrické energie, superpočítač K při plném vytížení spotřebuje 12 MW a UNIVAC I měl příkon 125 kW. Z tohoto srovnání je zřejmé, že superpočítač K má sice 96 krát vyšší energetické nároky než UNIVAC I, ale v porovnání s rozdílem výsledného výpočetního výkonu je tento rozdíl ve spotřebě zcela zanedbatelný. [54]

## 2.6 Jak rostl výkon CRAY superpočítačů

Pokud srovnáme superpočítače CRAY, zjistíme, že skoky ve výpočetním výkonu jsou ohromující. Superpočítač CRAY-1 z roku 1977 měl výpočetní výkon 160 MFLOPS. CRAY-2 z roku 1985, který se skládal maximálně ze čtyř procesorů, měl výpočetní výkon až 1 951 MFLOPS. CRAY-2 tedy provedl přibližně 11 krát více operací za sekundu. CRAY-3 z roku 1993, který mohl být složen maximálně z 16 procesorů, dosahoval výkonu až 15 168

MFLOPS, což je přibližně 95 krát více operací za sekundu než dosáhl superpočítač CRAY-1. Roku 1995 se objevil superpočítač CRAY-T90 o výpočetním výkonu až 57 600 MFLOPS. Byl složen maximálně z 32 procesorů a výpočetní výkon tohoto stroje byl 360 krát větší než výpočetní výkon superpočítače CRAY-1. Pokud srovnáme superpočítač CRAY-1 z roku 1977, který měl maximálně 2 procesory s dnešní jedničkou společnosti CRAY XT5, tak tento dnes nejvýkonnější CRAY-superpočítač zvládne 10 937,5 milionkrát více číselných operací v pohyblivé řadové čáře za sekundu. [55, 56]

Tab. 2.1 – Výkon CRAY superpočítačů [56]

	ROK PŘEDSTAVENÍ	VÝKON [MFLOPS]	MAXIMÁLNÍ POČET PROCESOROVÝCH JADER	ARCHITEKTURA	FREKVENCE CPU [MHz]
CRAY-1	1976	160	2	PVP	80
CRAY-2	1981	1951	4	PVP	244
CRAY-3	1993	15 168	16	PVP	474
CRAY-T90	1994	57 600	32	PVP	455
CRAY-XT5	2009	1 759 000	224 256	MPP	2 600

PVP – paralelní vektorový procesor

MPP – masivně paralelní procesing

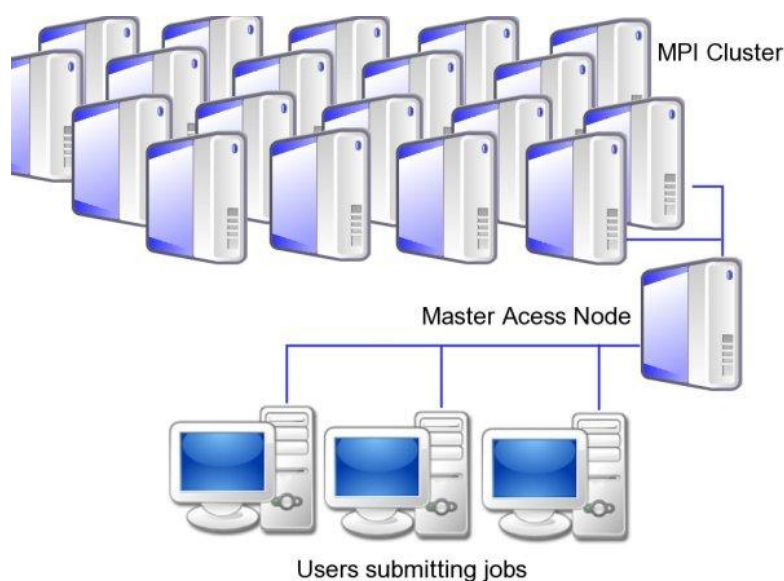


Obr. 2.6 – Pohled do superpočítače CRAY-2

### 3 Použití clusterů s ohledem na zvyšování výkonnosti počítačových systémů

Cluster je spojení volně vázaných počítačů, úzce spolupracujících tak, že na venek pracují jako jeden. Propojení obvykle zajišťuje velmi rychlá počítačová síť. Jeden počítač se srovnatelnou rychlostí nebo spolehlivostí ve srovnání s clusterem by byl podstatně dražší. [56]

Clustery jsou nasazovány pro zvýšení spolehlivosti nebo výpočetní rychlosti s větší efektivitou než by dokázal poskytnout jediný počítač. Stačí, aby byly požadované úlohy speciálně navrženy. Clustery nemusejí být tvořeny jen specializovanými víceprocesorovými systémy, ale lze je vytvořit i z běžných osobních počítačů. Cluster je zařízení s homogenními uzly, které jsou propojeny velmi rychlou sítí na pokud možno nejkratší vzdálenost pro dosažení vysoké spolehlivosti. Všechny počítače v clusteru musejí být vybaveny vhodným softwarem, aby dokázaly pracovat společně na řešení jedné úlohy podobně jako klasický superpočítač. Oproti klasickému superpočítači, který bývá vybaven firemním operačním systémem, je typicky používaným softwarem u clusterů Linux nebo jiný „open source“ software. Možné je i použití operačních systémů MS Windows, ale s tím jsou spojeny poplatky za licence. Cluster má obvykle podobu mnoha osobních počítačů naskládaných vedle sebe anebo v tenkém „rackovém“ provedení. Nejedná se tedy o víceúčelová zařízení, která by využívala nadbytečný výkon jako je tomu např. u klienta BOINC pro distribuované výpočty. [57, 58, 59, 60]



Obr. 3.1 – Clusterové zapojení [60]



Na obr. 3.1 je příklad clusterového zapojení. „MPI Cluster“ je shluk počítačů, kde zkratka MPI (Message Passing Interface) označuje knihovnu, která implementuje specifikaci pro řešení výpočetních problémů v počítačových clusterech paralelně, jinými slovy se jedná o softwarový nástroj, který je potřebný k vytvoření superpočítače z několika propojených počítačů. „Master Access Node“ je hlavní přístupový uzel přes který uživatelé žádají o výpočet určité úlohy. [60]

Existuje více druhů clusterů. Jedním z nich je *úložný cluster*, který zajišťuje přístup k diskové kapacitě tím, že je kapacita rozložena mezi více strojů a zajišťuje tak vyšší výkon a hlavně vyšší spolehlivost. [58, 59]

Další typ je *cluster s vysokou dostupností*. Ten umožní nepřetržitou službu. Tento typ clusteru bude bez výpadku fungovat i v případě poruchy či odstavení nějakého počítače za účelem údržby, protože ho nahradí jiný počítač. [58, 59]

*Cluster s rozložením zátěže* poskytuje paralelně pomocí několika počítačů ten samý obsah a díky tomuto rozložení se sníží jeho celkové zatížení. [58, 59]

Nejvýkonnější je, jak nám i název napovídá, *výpočetní cluster*. Ten je typicky vytvořen jako vysoce výkonný celek za pomoci vysokorychlostní počítačové sítě spojující většinou mnoho středně výkonných počítačů. [58, 59]

*Serverový cluster* rozkládá zátěž jednoho virtuálního serveru mezi několik skutečných serverů a v případě poruchy nějakého z nich přesměruje jeho práci na jiný, aby nedošlo k přerušení průběhu výpočtu. [58]

*Gridový cluster* vychází z distribuovaného clusterového řešení, kdy se o výpočet starají i geograficky velmi vzdálené individuální nehomogenní počítače. [58]

## 4 Paralelní superpočítače

Myšlenka paralelního superpočítače je založena na tom, že více procesorů, případně i pomalejších, dokáže vykonat stejnou práci jako jeden velmi výkonný procesor. Jediný problém, který nastává, je správné rozčlenění požadované úlohy, protože je potřeba, aby více procesorů pracovalo na této úloze souběžně, kdežto u jednoho rychlého procesoru stačí pracovat v jednoduchém sériovém režimu. Toto dělení nazýváme paralelizace. [61, 62, 63]

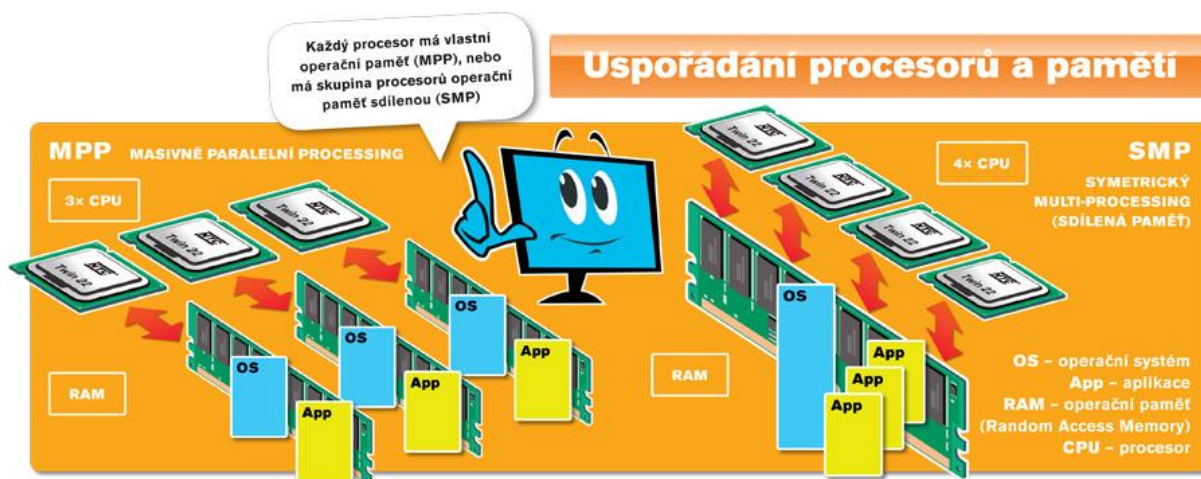
Paralelizace se stává bezpochybně nutností z důvodu neustálého zvyšování výkonu. Zvyšováním frekvence jsme ovlivněni fyzikálními zákony. Každý vodič se při vysoké frekvenci chová jako anténa a dochází tím k rušení. Také chlazení vysoce taktovaného procesoru je velmi náročné. [61, 62, 63]

Existuje paralelismus různých úrovní. Paralelismus na úrovni bitů je založen na vyšším počtu paralelních proudů, kterými data tečou uvnitř počítače. Podstatou paralelismu na úrovni instrukcí je zpracování více instrukcí najednou v jednom taktu. Paralelismus na úrovni dat nastává, když máme více dat stejného druhu a chceme s nimi provádět stejné operace zároveň. Poslední je paralelismus na úrovni úloh, kdy se program rozloží na několik nezávislých úloh, které se dají rozeslat na několik nezávislých počítačů. [61, 62, 63]

Základní klasifikace, dělicí počítače na čtyři základní typy podle paralelity zpracování dat, pochází z roku 1966. Jedná se o SISD, MISD, SIMD a MIMD. Písmeno M znamená více (multiple), písmeno S znamená jedna (single), písmeno I znamená instrukce (instruction), písmeno D znamená data. Všechny paralelní počítače dnes patří k typu SIMD nebo MIMD. [61, 62, 63]

V případě typu MIMD jsou dvě mezní řešení. V prvním řešení jsou si všechny procesory rovnocenné a sdílejí jednu společnou centrální paměť. S touto sdílenou pamětí komunikují procesory rovnocenně. Zvyšování počtu procesorů vede ke zvyšování výkonu nelineárně, protože se část výkonu spotřebuje na režii, kterou je například komunikace mezi jednotlivými procesory a vyjednávání o přístupu do sdílené paměti. Jedná se o symetrický multiprocessing, značený SMP (Symetric MultiProcessing). [61, 62]

V druhém mezním řešení má každý procesor přidružený vlastní paměťový prostor. V tomto případě mluvíme o masivně paralelním processingu, zkratkou značeném MPP (Massive Parallel Processing) a je nutná další komunikace mezi procesory. [61]



Obr. 4.1 – Uspořádání paměti a procesorů [61]

Existují další smíšená řešení. Jedná se o hybridní systémy, kde může například každý procesor častěji komunikovat s bližším paměťovým prostorem než se vzdálenějším, přitom ale procesor není od žádného odříznut. V jiném případě se může jednat o clusterly SMP uzlů a zkombinovat tak výhody obou mezních řešení. Příkladem hybridního řešení je superpočítač Roadrunner od firmy IBM, protože využívá dvě různé architektury procesorů. Pro realizaci plného potenciálu je v tomto případě potřeba speciálně napsaný software pro tuto hybridní architekturu. Dnes vznikají i nové hybridní technologie, kdy se k výpočtům u superpočítačů využívají nejen klasické procesory, ale i grafické procesory. Grafické procesory jsou použity například v superpočítači Tiahne-1A, který je popsán v první kapitole. Hlavní výhody tohoto řešení jsou snížení spotřeby elektrické energie a snížení rozměrů celého superpočítače, protože pro dosažení stejného výkonu stačí podstatně menší počet grafických procesorů než běžných procesorových jednotek. [61]

## 5 Distribuované systémy výpočtů

Ne každý si může dovolit superpočítač, a jelikož se neustále zvyšují i hardwarové nároky na propočítání vědeckých úloh, existuje jiná cesta, jak na to. Princip je takový, že se složitá úloha rozdělí na několik menších a méně náročných úloh, které jsou zpracovány na více počítačích. Přesto, že tento nápad vznikl již na počátku sedmdesátých let 20. století, plně realizován byl až od let devadesátých. Dříve bylo největším problémem internetové připojení a rychlost počítačů nebyla také nijak velká. Nápad distribuovaného výpočtu dostali vědci ve výzkumném středisku Palo Alto, kde měli síť sta počítačů a na jednom z nich instalovali tzv. počítačového červa, který poté využíval volný procesorový čas na výpočty a na kopírování sebe sama do dalších počítačů. Tímto vznikl způsob jak zastoupit superpočítač pomocí velkého množství méně výkonných jader v síti. Síť může být tvořena i běžnými domácími počítači s různými operačními systémy. Toto spojení nazýváme jako tzv. grid. [64, 65]

Zásadní podmínka je vytvoření systému, který dokáže rozdělit hlavní úlohu na mnoho menších částí, dále posílaných mezi běžné počítače. Není zde možná synchronizace jako u superpočítače, proto má každý počítač v gridu přidělen určitý čas pro výpočet a v případě, že zadaný výpočet nestihne včas, je mu odejmut a předán jinému počítači. [64]

Jeden z nejznámějších projektů, využívající distribuovaných výpočtů je SETI@Home. Tento projekt disponuje velkým radioteleskopem, kterým sbírá signály z vesmíru a zkoumá, zda neobsahují známky mimozemské inteligence. Právě distribuované výpočty byly použity proto, že signálů je kvůli rozsáhlosti oblohy mnoho. Od roku 1999 jsou rozesílány jednotlivé bloky dat běžným uživatelům k výpočtu. [64, 65]



Obr. 5.1 – Radioteleskop projektu SETI@Home [66]

### 5.1 Výpočetní systém BOINC

Podobných projektů a tudíž i klientů bylo více, což s sebou přinášelo řadu nevýhod. Organizátoři projektů se zejména obávali o bezpečnost dat, proto byl klientský software uzavřený a obsahoval ochrany, aby bylo velmi obtížné zjistit jeho funkci. Klient fungoval jen

na některých platformách, nebylo možno jej optimalizovat a neuměl využívat nové technologie. Klienti různých projektů byli nekompatibilní, takže byla nutná selekce požadavků na konkrétní výpočty. Objevovala se i taková tvrzení, že podobný software používá NSA, CIA a jiné vládní organizace pro lámání šifer. [65, 66]

Jak se distribuované výpočty rozšiřovaly, vznikla potřeba vytvořit zcela nový software. Hlavními požadavky byla multiplatformnost, otevřenost a univerzálnost. V roce 2003 vznikl projekt BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing), který splňoval stanovené požadavky. Byl vyvinut na půdě laboratoře vesmírných věd Kalifornské univerzity v Berkeley. Tento projekt obsahoval i kontrolní mechanismy implementované na straně serveru. Jedná se o mechanismy, které kontrolují, zda nějaký klient nepodvádí a nezasílá falešná data. BOINC se začal rychle šířit a samotný SETI@home na něj 15. 12. 2005 přešel také. [65, 66]

Nyní existuje spousta různých BOINC projektů, do kterých se může zapojit každý jednotlivec. Zkoumat můžeme již výše zmíněné známky mimozemské inteligence, gravitační vlny, strukturu proteinů, klima Země, částice z urychlovačů, počítat 3D obrázky nebo generovat fraktály. Český projekt využívající právě distribuovaných výpočtů se soustředí na hledání Wieferichových prvočísel. [65, 66]

Základní požadavky pro provoz klientského softwaru jsou následující. Potřebujeme počítač, na němž poběží Microsoft Windows, Linux, Mac OS X nebo Solaris. Další požadavek je internet, přes který budeme dostávat balíčky k propočítání. Velikost balíčků se u různých projektů liší, a proto je dobré se nejprve podívat do tabulky náročnosti jednotlivých projektů a zjistit si, zda je náš hardware pro určitý projekt dostačující. Klient BOINC má přidělenou nejnižší prioritu. To znamená, že každý vámi spuštěný program má přednost před klientem BOINC. Žádná naše práce není omezována, protože klient maximálně pružně ustupuje ostatním programům a využívá pouze zbytkový výpočetní prostor. Jediný rozdíl je v tom, že procesor počítače bude za všech okolností stále vytížen na sto procent. To s sebou nese jako jednu z nevýhod i vyšší ohřev součástek, tím následované zvýšení otáček ventilátoru (pokud ventilátory fungují na principu termoregulace), ale hlavní nevýhodou je v některých případech i několikanásobné zvýšení spotřeby. [65, 66]

## 5.2 Zajímavé BOINC projekty

- **Rosetta@Home**

Tento projekt se věnuje chorobám souvisejícím s DNA a funkcí bílkovin. Vědci znají funkci pouze omezeného počtu z desítek tisíc lidských bílkovin. Lidský genom známe

a úkolem projektu je na základě genomu vypočítat tvar a z něho vyplývající funkci těchto bílkovin v našem organismu. Velká databáze, do které jsou výsledky výpočtů zdarma odevzdány, je přístupná pro výzkumné týmy celého světa a měla by tak mnohonásobně urychlit vývoj účinných léků. [65, 66]

- **Einstein@Home**

Jedná se o projekt, který zkoumá gravitační vlny ve vesmíru. Data jsou zaznamenávána pomocí několika interferometrů obrovských rozměrů. Existence gravitačních vln byla předpovězena Albertem Einsteinem již před sto lety. V gravitačních vlnách by se dala číst historie celého vesmíru zpětně až k velkému třesku, protože jejich síla časem postupně polevuje, dají se zachytit pomocí velice citlivých interferometrů. V gravitačních vlnách je zaznamenána každá velká událost, která se ve vesmíru stala. [65, 66]



Obr. 5.2 – Interferometr projektu Einstein@home [66]

- **Climateprediction.net (CPDN)**

Jak název napovídá, tento projekt se zabývá zkoumáním zemského klimatu. Úkolem projektu je předpověď vývoje klimatu naší planety v následujících desetiletích. Existuje více druhů klimatických modelů, jejichž prostřednictvím lze s daty pracovat. Mohou se lišit počtem zpracovávaných let a precizností výpočtů za jednotlivé roky. Země je rozdělena na několik set buněk po několika stupních zeměpisné délky a šířky a každá buňka má několik výškových úrovní. Pro každou buňku se spočítá například tlak, teplota, vlhkost, vektory větru a další. Model se pak od počátečních parametrů vyvíjí. [65, 66]



Obr. 5.3 – Vývoj klimatu od roku 1992 do roku 2002 Projekt (CPDN) [65]

- **Orbit@Home**

Tento projekt monitoruje srážky komet a asteroidů s planetami. Vypočítává a předpovídá tak dráhy objektů, které by mohly ohrozit Zemi nebo jiné pozemské těleso (vesmírné stanice, satelity a další). Když budeme vědět o riziku srážky, můžeme se pokusit provést kroky k jejímu zabránění. [65, 66]

- **MalariaControl.net**

Uvedený projekt se snaží na základě skutečných dat, získaných terénními výzkumy, předpovědět šíření malárie v určité oblasti. To nám usnadní rozhodování kdy, kde a jaké léky použít, aby jejich efektivita byla co nejvyšší. [65, 66]

### 5.3 Czech National Team

Ve světě existují i týmy, které mezi sebou závodí v rychlosti počítání. Jeden z týmů, který jistě stojí za zmínku je zkratkou označován CNT. Jedná se o zkratku pro Czech National Team o.s. Jedná se o neziskové občanské sdružení a nyní jej tvoří 11 125 členů. Znamená to, že naše republika má jeden z největších týmů na světě. [67, 68]

BOINC pořadí států		BOINC pořadí týmů	
1.	 Spojené státy americké	1.	 SETI.Germany
2.	 Německo	2.	 Sicituradastra.
3.	 Spojené království	3.	 SETI.USA
4.	 Japonsko	4.	 L'Alliance Francophone
5.	 Francie	5.	 Team 2ch
6.	 Kanada	6.	 <b>Czech National Team</b>
7.	 Polsko	7.	 Planet 3DNow!
8.	 Austrálie	8.	 XtremeSystems
9.	 <b>Česká Republika</b>	9.	 Polish National Team
10.	 Rusko	10.	 BOINC@Poland
11.	 Nizozemsko	11.	 The Knights Who Say Ni!
12.	 Švýcarsko	12.	 BOINCstats

Obr. 5.4 – Pozice CNT ve světě [68]

Tento český tým mj. uspořádal soutěž pro školy všech stupňů a kategorií. Soutěž započala v říjnu 2011 a doba jejího trvání byla osm měsíců. Soutěž měla probíhat do konce května 2012 na pečlivě vybraných projektech. Každý měsíc by měly být zpracovávány výpočty na jiném projektu. První tři školy budou odměněny věcnými dary od partnera soutěže, kterým je e-shop CZC.cz. Hlavním cílem samozřejmě není věcná odměna, ale jde spíše o názornou ukázkou praktického využití dnešních počítačů. [69]

## **5.4 Cloud computing**

Cloud computing neboli po překladu do češtiny „počítání v oblacích“ je model vývoje a používání počítačových technologií založený na internetu. Jedná se o poskytování služeb a programů, které jsou uloženy na internetových serverech a my k nim přistupujeme například prostřednictvím webového prohlížeče. Uživatelé pak platí jen za použití aplikací a ne za aplikace samotné. Těmi mohou být například operační systémy, kancelářské aplikace a jiný užitečný software. Výhodou je přístup k nejaktuálnějšímu softwaru a obrovská elasticita a škálovatelnost, která umožní v případě potřeby rychle změnit výpočetní zdroje. Další výhodou je, že díky přístupu přes internet můžeme pracovat s tímto softwarem odkudkoli na světě. S cloud computingem se setkává mnoho z nás aniž bychom si to uvědomovali, protože v cloudu jsou například naše soukromé emailové schránky. Této technologie využívá například seznam.cz, Gmail a mnozí další. [70]



## Závěr

Bakalářská práce se v souladu se zadáním zabývá srovnáním možností superpočítačů s paralelním zpracováním a distribuovaných výpočetních systémů. Celá práce je rozčleněna do pěti přehledných kapitol.

V první kapitole je zpracováno generační rozdělení počítačů od samotného prvopočátku vývoje sálových počítačů a je podchycena celá vývojová řada od nulté do čtvrté generace, to je vývoj výpočetní techniky od elektromechanických počítačů až po mikroprocesorové systémy.

V práci je ukázáno, jak lze srovnávat výkonnost moderních počítačů. Standardizovaný benchmarkovací program se jmenuje LINPACK. V současné době jsou dva nejznámější a nejvyužívanější žebříčky Top500 a Green500. Top500 řadí superpočítače podle výkonu a Green500 podle poměru spotřeby k výpočetnímu výkonu. Za povšimnutí určitě stojí rychlý nárůst výkonu superpočítačů v několika posledních letech. Např. u superpočítačů řady CRAY výpočetní výkon vzrostl od roku 1976 do roku 2009 ze 160 MFLOPS na 1 759 000 MFLOPS. To je tedy téměř 11 000 krát větší výpočetní výkon. V obecné rovině je vzestupný trend ještě markantnější. Konkrétně tedy superpočítač z roku 1995 byl 15 000 krát pomalejší než nejrychlejší superpočítač z roku 2010. Obrovským pozitivem je fakt, že výkonnostní nárůst superpočítačů je provázen snížením energetické náročnosti vztahené na množství vypočtených dat.

Protože cena dnešních nejvýkonnějších strojů je neúměrně vysoká svému výpočetnímu výkonu, dnešním trendem je vznik tzv. počítačových clusterů z mnoha méně výkonných počítačů. Počítačový cluster, aneb spojení volně vázaných počítačů, úzce spolupracujících a navenek se chovajících jako jeden velký celek se používá především pro zvyšování výpočetní rychlosti a také spolehlivosti. Clusterů je mnoho druhů a možnosti jejich využití jsou uvedeny ve třetí kapitole.

Čtvrtá kapitola pojednává o paralelních superpočítačích, jejich možnostech a klasifikaci. Možnosti paralelních výpočtů jsou závislé na správném rozčlenění úloh. Tohoto členění využívají i distribuované výpočty, které poskytují využití jinak dřímajících kapacit počítačů, což může být velkým přínosem především v oblasti vědy.

V poslední části je zmíněn klientský software BOINC, který vznikl na základě požadavků pro multiplatformnost, otevřenost a univerzálnost. O zajímavých možnostech využití distribuovaných výpočtů svědčí i mnoho dnes existujících BOINC projektů.

## Použitá literatura

- [1] Dějiny počítačů. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://linuxserver.gymaspk.cz/staticContent/G4/IVT/02\\_Historie/DejinyPC.html](http://linuxserver.gymaspk.cz/staticContent/G4/IVT/02_Historie/DejinyPC.html)
- [2] Jeho počítač používalo už Hitlerovo Německo. Byl první, dva roky před IBM. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/jeho-pocitac-pouzivalo-uz-hitlerovo-nemecko-byl-prvni-dva-roky-pred-ibm-1ap-/hardware.aspx?c=A100621\\_131556\\_hardware\\_kuz](http://technet.idnes.cz/jeho-pocitac-pouzivalo-uz-hitlerovo-nemecko-byl-prvni-dva-roky-pred-ibm-1ap-/hardware.aspx?c=A100621_131556_hardware_kuz)
- [3] Historie výpočetní techniky v Československu: Samočinný počítač SAPO. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.historiepocitacu.cz/samocinny-pocitac-sapo.html>
- [4] ELECTRONIC BEGINNINGS. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://ed-thelen.org/comp-hist/Shustek/ShustekTour-02.html>
- [5] EXTRAHARDWARE: 10 počítačů, které ovlivnily svět. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://extrahardware.cnews.cz/10-pocitacu-ktere-ovlivnily-svet>
- [6] Sálové počítače firmy IBM. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/salove-pocitace-firmy-ibm/>
- [7] The IBM 701 Defense Calculator. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/701.html>
- [8] UNIVAC: the first mass-produced commercial computer. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://royal.pingdom.com/2012/03/30/univac-computer-infographic/?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed3A+RoyalPingdom+\(Royal+Pingdom\)](http://royal.pingdom.com/2012/03/30/univac-computer-infographic/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed3A+RoyalPingdom+(Royal+Pingdom))
- [9] BELLIS, Mary. The History of the UNIVAC Computer: John Mauchly and John Presper Eckert. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://inventors.about.com/od/uvstartinventions/a/UNIVAC.htm>
- [10] WESTON, K. Ryan. UNIVAC: The Paul Revere of the Computer Revolution. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://ei.cs.vt.edu/~history/UNIVAC.Weston.html>
- [11] Historie výpočetní techniky v Československu: Střední elektronkový počítač EPOS 1. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.historiepocitacu.cz/stredni-elektronkovy-pocitac-epos-1.html>
- [12] Historie výpočetní techniky v Československu: Antonín Svoboda - průkopník čs. výpočetní techniky. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.historiepocitacu.cz/prukopnik-pocitacu-antonin-svoboda.html>
- [13] Počítače z Loretánského náměstí. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.vumscomp.cz/Svoboda.html>
- [14] Svobodova mapa. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Svobodova\\_mapa](http://cs.wikipedia.org/wiki/Svobodova_mapa)
- [15] IBM System/360. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_System/360](http://en.wikipedia.org/wiki/IBM_System/360)
- [16] IBM System/370. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/IBM\\_System/370](http://en.wikipedia.org/wiki/IBM_System/370)
- [17] IBM System/390 Multiprise 3000 Enterprise Server: Cost-Effective Platform. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www-01.ibm.com/common/ssi/rep\\_ca/0/897/ENUS199-240/ENUS199-240.PDF](http://www-01.ibm.com/common/ssi/rep_ca/0/897/ENUS199-240/ENUS199-240.PDF)

- [18] Seymour Cray: A Man Whose Vision Changed the World. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.cray.com/Assets/PDF/about/SeymourCray.pdf>
- [19] Průkopníci informačního věku: Seymour Cray. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://businessworld.cz/cio-bw-special/prukopnici-informacniho-veku-seymour-cray-8851>
- [20] Control Data Corporation (CDC) 6600: 1966–1977. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.cisl.ucar.edu/computers/gallery/cdc/6600.jsp>
- [21] Control Data Corporation (CDC) 7600: 1971–1983. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.cisl.ucar.edu/computers/gallery/cdc/7600.jsp>
- [22] Cray's Mark Remains Speed With Simplicity: The ultimate engineer. HOFFMAN, William. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.mbbnet.umn.edu/hoff/hoff\\_sc.html](http://www.mbbnet.umn.edu/hoff/hoff_sc.html)
- [23] Seymour Cray: Cray Supercomputer. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://inventors.about.com/od/cstartinventors/a/supercomputer.htm>
- [24] MODINE, Austin. Remembering the Cray-1: When computers and furniture collide. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.theregister.co.uk/2008/01/05/tob\\_cray1/](http://www.theregister.co.uk/2008/01/05/tob_cray1/)
- [25] Nejvýkonnější superpočítač na planetě má společnost IBM. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/internet-a-pc/hardware/172263-nejvykonnesi-superpocitac-na-planete-ma-spolecnost-ibm.html>
- [26] TOP500: Roadrunner. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://i.top500.org/system/176027>
- [27] TOP500: Roadrunner. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://i.top500.org/system/9707>
- [28] IBM: IBMSystem Blue Gene/Q. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/dcd12345usen/DCD12345USEN.PDF>
- [29] ČESKÝ ROZHLAS : Green500 - nejúspěšnější superpočítače. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/\\_zprava/583229](http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/583229)
- [30] Jaguar. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.nccs.gov/computing-resources/jaguar/>
- [31] Jaguar: Cray XT5-HE. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://i.top500.org/system/176544>
- [32] OLCF: Titan. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.olcf.ornl.gov/computing-resources/titan/>
- [33] OLCF: Jaguar. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.olcf.ornl.gov/computing-resources/jaguar/>
- [34] TOP500: Superpočítač Jaguar konečně nejrychlejší. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/top500-superpocitac-jaguar-konecne-nejrychlejsi/sc-3-a-149866/default.aspx>
- [35] How powerful is the Cray XT5 computer?: Science Channel. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://curiosity.discovery.com/question/how-powerful-cray-xt5>
- [36] TOP500: K computer. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://i.top500.org/system/177232>
- [37] Fujitsu a RIKEN sestavily nejvýkonnější počítač na světě. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.feedit.cz/wordpress/2011/07/20/fujitsu-a-riken-sestavily-nejvykonnesi-pocitac-na-svete/>
- [38] Nejvýkonnější superpočítač na světě atakuje 10 PFLOPS. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/nejvykonnesi-superpocitac-na-svete-atakuje-10-pflops/sc-3-a-157604/default.aspx>

- [39] NVIDIA: NVIDIA Tesla GPUs Power World's Fastest Supercomputer. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://pressroom.nvidia.com/easyir/customrel.do?easyirid=A0D622CE9F579F09&amp;version=live&amp;prid=678988&amp;releasejsp=release\\_157](http://pressroom.nvidia.com/easyir/customrel.do?easyirid=A0D622CE9F579F09&amp;version=live&amp;prid=678988&amp;releasejsp=release_157)
- [40] Čína má najvýkonnejší superpočítač. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.inet.sk/clanok/10377-cina-ma-najvykonnejsi-superpocitac/>
- [41] TOP500: Tiahne-1A - NUDT YH MPP. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://i.top500.org/system/176929>
- [42] Superpočítač. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Superpočítač#Am.C3.A1lka>
- [43] Český superpočítač Amálka je nyní o polovinu výkonnější a přitom má nižší spotřebu. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/internet-a-pc/184088-cesky-superpocitac-amalka-je-nyni-o-polovinu-vykonnejsi-a-pritom-ma-nizsi-spotrebu.html>
- [44] TÝDEN.CZ: Český superpočítač Amálka zvýšil svůj výkon o polovinu. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/technologie/cesky-superpocitac-amalka-zvysil-svuj-vykon-o-polovinu\\_147395.html](http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/technologie/cesky-superpocitac-amalka-zvysil-svuj-vykon-o-polovinu_147395.html)
- [45] Počítače - hardware - aktuální inormace. Emil Filla.: Nejvýkonnější český superpočítač Amálka - 5. generace rozšíření. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://www.aktualinfofrbaud.estranky.cz/clanky/amalka-\\_-54-quad-\\_-core-procesoru-intel-xeon-e-5345/-nejvykonnejsi-cesky-superpocitac-amalka---5\\_-generace-rozsireni\\_-.html](http://www.aktualinfofrbaud.estranky.cz/clanky/amalka-_-54-quad-_-core-procesoru-intel-xeon-e-5345/-nejvykonnejsi-cesky-superpocitac-amalka---5_-generace-rozsireni_-.html)
- [46] Česká astronomická společnost: Český superpočítač AMÁLKA slaví 10. narozeniny dalšími úspěchy při výzkumu vesmíru. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanek/4047>
- [47] Science WORLD: Superpočítač Amálka pomáhá českému kosmickému výzkumu. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://scienceworld.cz/fyzika/superpocitac-amalka-pomaha-ceskemu-kosmickemu-vyzkumu-779>
- [48] TOP500: Pětistovka nejrychlejších superpočítačů a Amálka. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/top500-petistovka-nejrychlejsich-superpocitacu-a-amalka/sc-3-a-144531/default.aspx>
- [49] IBM a sedm trpaslíků 15 - superpočítač CDC 6600. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/ibm-a-sedm-trpasliku-15-superpocitac-cdc-6600/>
- [50] TOP500: November 2011. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.top500.org/lists/2011/11>
- [51] Top500: Statistics. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://i.top500.org/stats>
- [52] Green500: The Green500 List - November 2011. In: [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.green500.org/lists/2011/11/top/list.php>
- [53] Superpočítač z roku 1995 byl 15 000× pomalejší než ten současný. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/bleskovky/superpocitac-z-roku-1995-byl-15-000-pomalejsi-nez-ten-soucasny/sc-4-a-154875/default.aspx>
- [54] Současné superpočítače jsou 5 700 000 000 000× rychlejší než UNIVAC. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/bleskovky/soucasne-superpocitace-jsou-5-700-000-000-000-rychlejsi-nez-univac/sc-4-a-163093/default.aspx>
- [55] CRAY: THE SUPERCOMPUTER COMPANY. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.cray.com/Assets/PDF/about/CrayTimeline.pdf>

- [56] Superpočítače Cray. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/superpocitace-cray/>
- [57] PC clustery na ZČU v Plzni. Vyd. 1. V Plzni: Západočeská univerzita, 2002, 37 s. ISBN 80-708-2942-7.
- [58] Počítačový cluster. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Počítačový\\_cluster](http://cs.wikipedia.org/wiki/Počítačový_cluster)
- [59] Linuxsystems: Cluster. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.linuxsystems.cz/cluster/>
- [60] Ainkaboot: Computer Cluster Architectures. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://ainkaboot.co.uk/cluster-architecture.php>
- [61] ABC: Superpočítače. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.abicko.cz/clanek/system-tema/8368/superpocitace.html>
- [62] Symetrický multiprocessing. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Symetrick%C3%BD\\_multiprocesing](http://cs.wikipedia.org/wiki/Symetrick%C3%BD_multiprocesing)
- [63] Paralelní výpočty. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Paralelní\\_výpočty](http://cs.wikipedia.org/wiki/Paralelní_výpočty)
- [64] Distribuovane systemy. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.mizici.com/article.php?aid=67>
- [65] DISTRIBUOVANÉ VÝPOČTY. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://dc.czechnationalteam.cz/index.html>
- [66] CNT: Představujeme BOINC !. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.czechnationalteam.cz/view.php?cisloclanku=2006080001>
- [67] BOINC STATS: Czech National Team. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://boincstats.com/en/stats/-1/team/detail/7281>
- [68] CNT: Statisticky. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://stats.czechnationalteam.cz/>
- [69] CNT: Soutěž ve školách i mezi nimi. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://soutez.czechnationalteam.cz/>
- [70] Cloud computing. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-29]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](http://cs.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing)

