

# PV109: Historie a vývojové trendy ve VT

## Vývojové trendy

Luděk Matyska

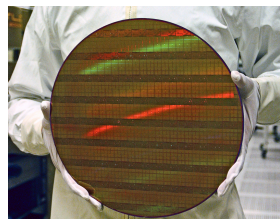
Fakulta informatiky Masarykovy univerzity

podzim 2017



- Procesory
- Operační paměti
- Internet
- Superpočítače

- Pojem *procesor* je používán v počítačovém průmyslu již od 60. let 20. století
- „Mozek počítače“
- Zpracování sledu instrukcí programů
- Provádí aritmetické a logické operace spolu s operacemi vstupu a výstupu



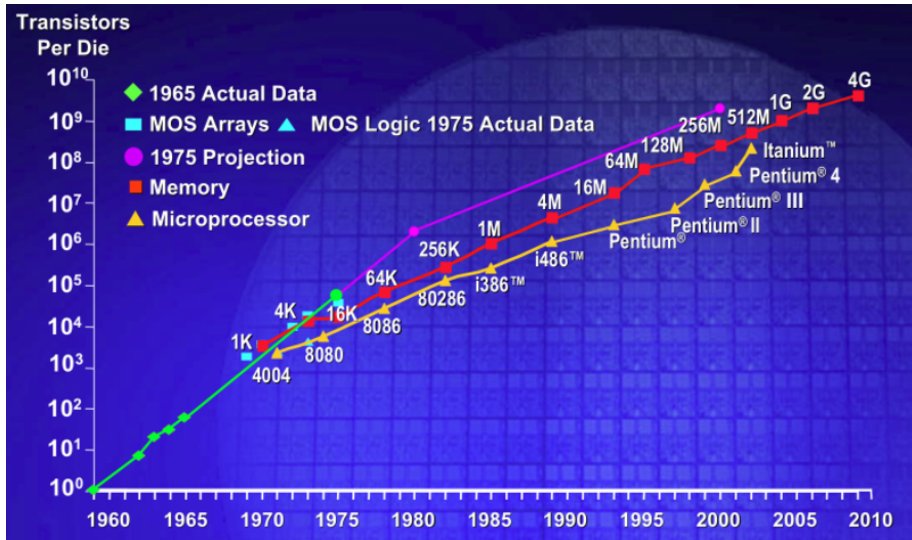
Zdroj: <http://intel.com>

- **Instrukce** – posloupnost bitů reprezentujících příkaz pro provedení jedné atomické operace
- **Program** – posloupnost instrukcí
- **Takt procesoru** – frekvence krystalového oscilátoru
- **Délka slova** – vyjadřuje počet bitů, který je procesor schopen zpracovat v jednom kroku
- **Počet tranzistorů** – udává, kolik tranzistorů je na procesoru; míra složitosti procesoru
- **Výrobní technologie** – značí zpravidla velikost nejmenší součástky, kterou je možné vyrobit; jednotky  $\mu m$ ,  $nm$

# Mooreův zákon

- Autorem je Gordon Moore, spoluzakladatel a bývalý ředitel Intel Corp.
- „Počet tranzistorů, které mohou být umístěny na integrovaný obvod se při zachování stejné ceny zhruba každých 18 měsíců zdvojnásobí“.
- Jedná se spíše o empirické pravidlo, vyslovené roku 1965.
- Předpokládá se, že tento trend bude pokračovat minimálně do roku 2015, možná i déle.
- Další parametry korespondující s Mooreovým zákonem: výkon procesoru, kapacita pamětí, počet a velikost pixelů v digitálních fotoaparátech, ...

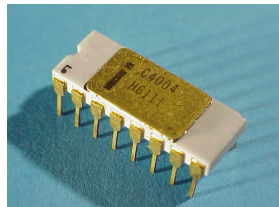
# Mooreův zákon pro procesory a paměti



Zdroj: <http://cmg.org>

# Intel 4004

- První jednočipový mikroprocesor
- Uveden 15. listopadu 1971
- Frekvence 740 kHz, 0,07 MIPS
- Instrukční sada čítala 46 instrukcí
- 2300 tranzistorů vyrobených  $10\mu m$  technologií
- Adresovatelná paměť 640 bytů
- Šířka sběrnice 4b (multiplex adresová/datová kvůli malému počtu pinů)
- Původně určená pro kalkulátor Busicom 141-PF



Zdroj: <http://computermuseum.li>

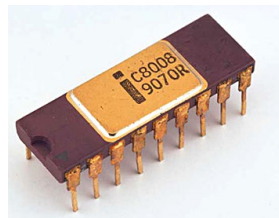


Busicom 141-PF

Zdroj: <http://c4004.com>  
podzim 2017

# Intel 8008

- Uveden 1. dubna 1972
- První 8bitový procesor
- Frekvence 800 kHz
- Instrukční sada čítala 48 instrukcí
- 3500 tranzistorů vyrobených  $10\mu m$  technologií
- Adresovatelná paměť 16 KB
- Určen pro mikropočítač Datapoint 2200



Zdroj: <http://old-computers.com>



Zdroj:  
<http://history-computer.com>



# Motorola MC6800

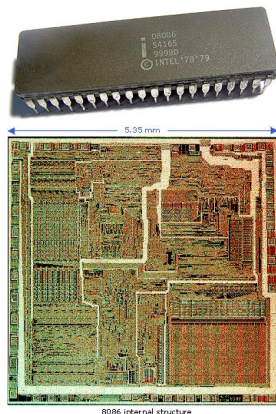
- 8bitový procesor představený v roce 1974
- Snadnější integrace než u Intel 8080 – nevyžadoval další podpůrné čipy na základní desce
- 16bitová adresová sběrnice, 8bitová (obousměrná) datová sběrnice
- Instrukční sada čítala 72 instrukcí
- Frekvence 1 MHz, poslední generace až 2 MHz
- Uplatnění vedle osobních počítačů (např. SWTPC 6800, Tektronix 4051) také v průmyslu



Zdroj: <http://en.wikipedia.org>

# Intel 8086

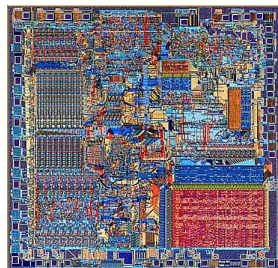
- Uveden 8. června 1978, první procesor architektury x86
- Frekvence 4,77 – 10 MHz
- 16bitová datová sběrnice, 20bitová adresová
- 29 000 tranzistorů vyrobených  $3\mu m$  technologií
- Adresovatelná paměť až 1 MB
- Používán v přenosných počítačích (např. Compaq Portable) a v IBM PS/2



Zdroj: <http://old-computers.com>

# Intel 8088 – mozek IBM-PC

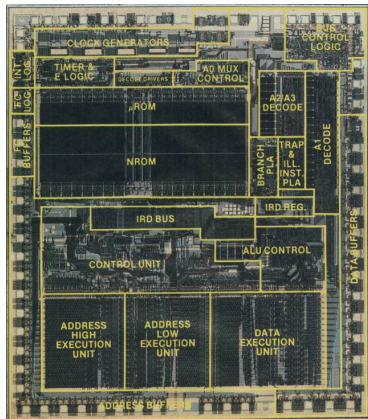
- Uveden 1. června 1979
- Zpětně kompatibilní s 8086
- Vnitřně 16bitová architektura, navenek pouze 8bitová sběrnice
- 20bitová adresová sběrnice (stejně jako 8088)
- Velmi úspěšný, zejména kvůli IBM-PC



Zdroj:  
<http://micro.magnet.fsu.edu>

# Motorola 68000

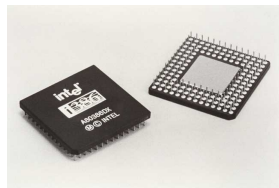
- 32bitový CISC mikroprocesor uvedený v roce 1979
- Takt procesoru postupně 4–16,67 MHz
- Vnitřní 32bitová adresová sběrnice, vnější 16bitová
- Umožňoval adresovat až 16 MB paměti
- Používán ve víceuživatelských mikropočítačích (např. HP9000, systémy SUN Microsystems), po snížení cen ve 2. polovině 80. let i v osobních počítačích (např. Apple Macintosh, Commodore Amiga)
- Architektura se používá při návrhu nových procesorů dodnes



Zdroj: <http://www.hacking-cult.org/>

# Intel 80386

- Uveden 17. října 1985
- Taktovací frekvence 16 – 33 MHz
- Plně 32bitový procesor (datová i adresová sběrnice)
- Adresovatelná paměť až 4 GB
- Virtuální paměť 64 TB
- 275 000 tranzistorů ( $1\mu\text{m}$  technologie)
- Zpětně kompatibilní s x86 (16bit)
- Různé varianty: i386 SX/CX/DX/SL



Zdroj: <http://pipux.net>

- Scalable Processor ARChitecture
- 32bitová RISC architektura navržená firmou Sun Microsystems, uvedená v roce 1986
- V následujících letech se dočkala několika revizí
- Takt procesoru 14,28 – 40 MHz, výrobní technologie  $1,3\mu m$ ,
- Až 128 KB L1 cache
- Výkon 10 MIPS, resp. 1,6 MFLOPS
- Vzniklo několik open source implementací SPARC
- Koncept dopředné binární kompatibility

# IBM POWER 1

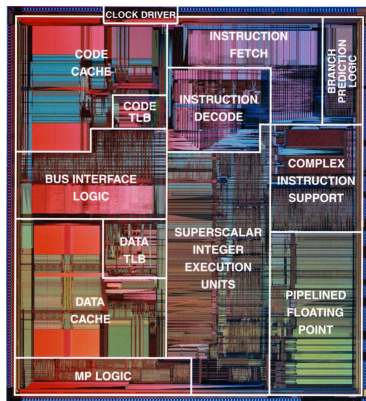
- Performance Optimization With Enhanced RISC
- Více-čipový procesor vyvinutý v IBM a uveden v roce 1990
- Procesory s frekvencí 20, 25 nebo 30 MHz
- Modulární návrh
  - ICU – instruction cache unit
  - FXU – fixed-point unit
  - FPU – floating-point unit
  - DCU – data-cache unit (několik)
  - SCU – storage-control unit
  - I/O unit
- Určen primárně pro servery a výkonné pracovní stanice



Zdroj: <http://en.wikipedia.org>

# Intel Pentium

- 5. generace procesorů Intel (P5), uveden 22. 3. 1993
- Označení názvem kvůli patentům (nelze patentovat číslo)
- Frekvence 60–66 MHz, 16 KB L1 cache
- 64bitová datová a 32bitová adresová sběrnice
- 4 GB adresovatelné paměti, až 64 TB virtuální
- 3,1 milionu tranzistorů vyrobených 0,8 $\mu$ m technologií
- Superskalární architektura
- PGA pouzdro (Pin Grid Array), 273 pinů



Zdroj: <http://computerhistory.org>



# Pentium MMX – Multi-Media eXtension

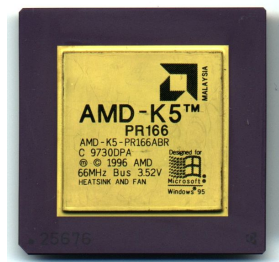
- Uveden 8. ledna 1997
- Frekvence sběrnice 66 MHz, 32 KB L1 cache
- 296/321pinové PGA pouzdro
- 4,5 milionu tranzistorů ( $0,35\mu m$ )
- Podpora pro multimédia **Intel MMX** – SIMD instrukční sada



Zdroj: <http://it.wikipedia.org>

# AMD K5

- První x86 procesor vyvinutý zcela v AMD
- Hlavní konkurent procesorové řadě Intel Pentium
- Představen se zpožděním v roce 1995
- Takt procesoru 75 – 133 MHz
- 4,3 milionu tranzistorů
- 5 celočíselných jednotek, 1 pro práci s čísly s pohyblivou desetinnou čárkou
- Označení **PR** (Pentium Rate) pro srovnání s procesory Pentium (např. AMD K5 PR166 běžel na frekvenci 116 MHz)



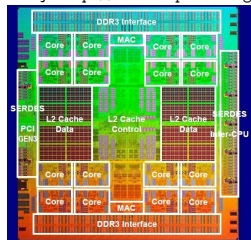
Zdroj: <http://pipux.net>

# Sun UltraSPARC

- Představen v roce 1995
- Procesor implementuje architekturu SPARC V9
- Takt procesoru 143–200 MHz
- 3,8 milionu tranzistorů,  $0,47\mu m$  technologie
- Superskalární procesor s *in-order* vykonáváním instrukcí
- $2 \times$  L1 cache o velikosti 16 KB
- Volitelná L2 cache 512 KB – 4 MB
- Další procesor architektury SPARC V9 – Fujitsu SPARC64



Zdroj: <http://en.wikipedia.org>



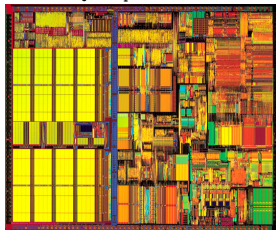
Zdroj: <http://theregister.co.uk>

# Procesory 6. generace (P6)

- Pentium Pro (1995)
- Pentium II (1997)
- Pentium II Xeon (1998) – serverová řada
- Pentium III (1999)
  - Zavedení L2 cache (512 KB)
  - Takt procesoru až 600 MHz
  - Internet Streaming SIMD instrukce
  - 9,5 milionu tranzistorů ( $0,25\mu m$ )



Zdroj: <http://intel.com>



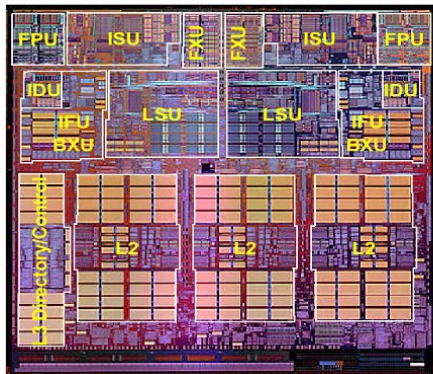
Zdroj: <http://www.taylorede.com/museum/>

# Další procesory řady IBM POWER

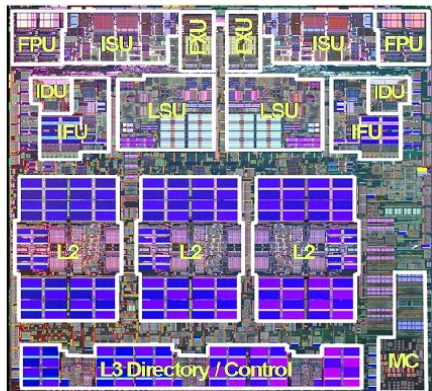
- PowerPC (1993)
  - Upravená RISC architektura, vyvinut ve spolupráci s Apple a Motorola
  - Určen pro osobní počítače, 32bitová architektura později rozšířená na 64bitovou
- POWER3 (1998)
  - Plně 64bitový procesor
  - 15 milionů tranzistorů, zdvojená L1 cache navýšena na 64 KB
- POWER5 (2004)
  - Dvojjádrový procesor s podporou SMT (2 vlákna/jádro)
- Současná verze POWER7

# Srovnání čipů POWER4 a POWER5

POWER4 Core

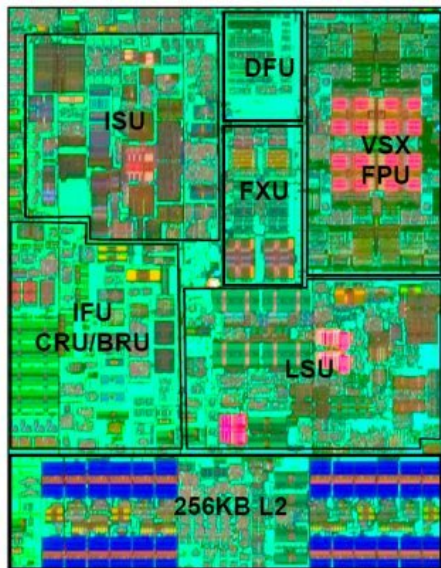


POWER5 Core



Zdroj: <http://ibm.com>

# POWER7



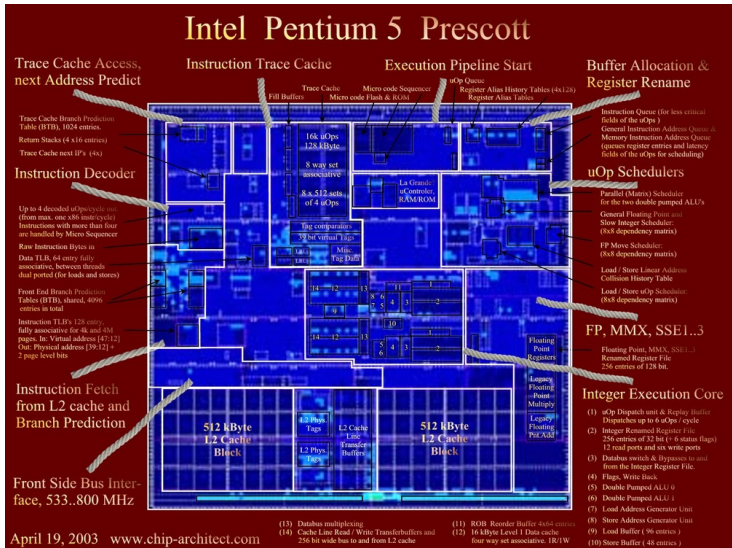
# Intel Pentium 4 – 7. generace (P7)

- 2000–2008 – procesory Intel Pentium 4
- Takt procesoru až 3,8 GHz, L2 cache až 512 KB
- Instrukce SSE2 SIMD
- 42 milionu tranzistorů ( $0,18 \mu m$ )
- 2004: Přechod na 64bitovou architekturu (x86→x86-64)





# Bloková struktura čipu Intel Pentium 4



## Jádro Prescott (90 nm)

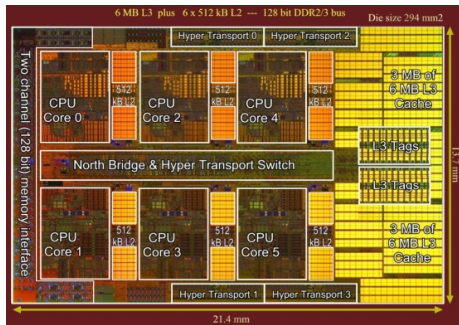
# 64bitové procesory rodiny AMD

## ● Jádro AMD K8

- Athlon 64 X2 (2005) – první dvoujádrový 64bitový, plně x86 kompatibilní procesor firmy AMD určený pro osobní počítače
- Další větve – Opteron (serverové), Athlon 64 FX

## ● Jádro AMD K10

- Jádro bylo představeno v roce 2007
- Vychází z AMD K8
- Hlavní zástupci – AMD Opteron, AMD Phenom

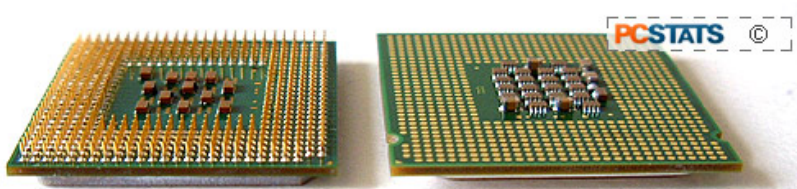


AMD Opteron (jádro Istanbul)

Zdroj: <http://www.generation-gpu.fr>

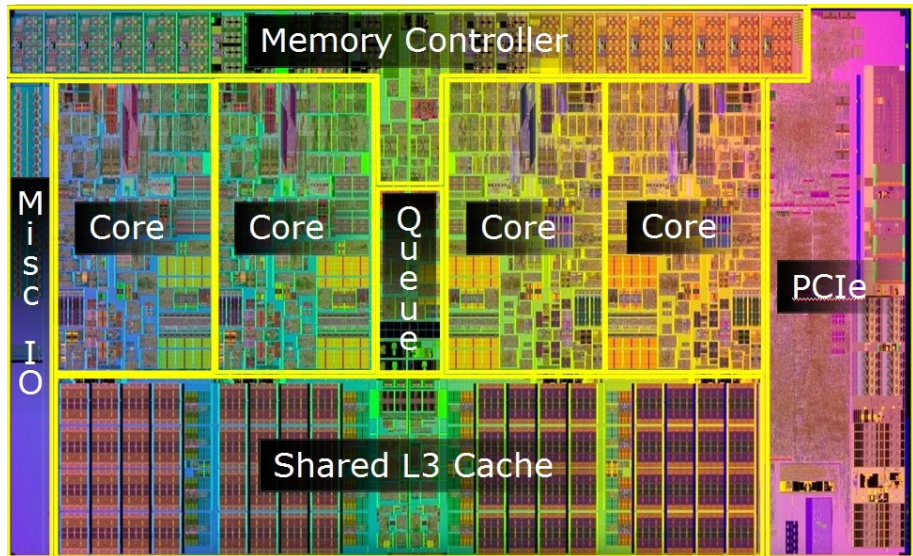
# Procesory Intel Core

- Dvě produktové řady
  - Core 2 – Core 2 Duo, Core 2 Quad, Core 2 Extreme
  - Core i – Core i3, Core i5, core i7, Core i7 Extreme
- Čistě 64bitová architektura
- SSSE3 SIMD instrukce (4. generace)
- 2 a více jader v jednom pouzdře procesoru
- Další zvětšování L2 paměti – 2–12 MB
- LGA pouzdro (Land Grid Array) – piny jsou v patici na základní desce



PGA vs. LGA – Zdroj: <http://pcstats.com>

# Intel Core i7 „Nehalem”



Zdroj: <http://bit-tech.net>

## Hyper-Threading

- Vylepšení paralelizace pomocí virtualizace
- Každé fyzické jádro je reprezentováno v OS jako dvě virtuální
- Jedno jádro tak může zpracovávat dvě vlákna zároveň

## Turbo-Boost

- Dynamické zvýšení výkonu na žádost (tzv. dynamické přetaktování)
- Při běžné práci procesor běží na nižší výkon (úspora energie)
- Implementováno v procesorech Nehalem, Sandy-Bridge a Ivy-Bridge

# Současné trendy ve vývoji procesorů

- Takt procesoru stagnuje kolem 4 GHz
- Výrobní technologie 32 nm umožňuje uspořít prostor i výkon
- Zavádění L3 cache; až 12 MB
- Až 16 jader na jednom čipu (AMD Opteron 6200)
- Řadič pamětí integrován na čipu
- Budoucnost – *manycore* architektury ( $\times 100-1000$  jader), např. Intel MIC <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Intel Many Integrated Core Architecture

# Výpočty na grafických akcelerátorech

- od 80. let – vývoj grafických akcelerátorů, motivováno herním průmyslem
- 90. léta – DirectX, minimální možnosti programování; 3dfx VooDoo, Nvidia GeForce 256
- 2000–2006 – OpenGL, programování vertex/pixel shader jednotek (jazyk Cg: operace v plovoucí čárce, smyčky), položeny základy pro GPGPU; ATI Radeon 9700, Nvidia GeForce 3
- od 2007 – CUDA, OpenCL, období GP-GPU<sup>2</sup> – SIMT model, desítky multiprocessorů (=×1000 jader); řada GeForce 8 = první GP-GPU karty.
- Další vývoj – kombinace CPU a GPU = hybridní procesory, výzva = efektivní algoritmy

---

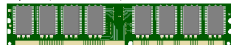
<sup>2</sup>General Purpose Computing on GPU

# Vývoj operačních pamětí

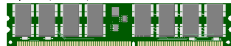
From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2007 The Computer Language Co., Inc.

- Hlavními parametry operačních pamětí jsou
  - propustnost (maximalizace)
  - pracovní frekvence (maximalizace)
  - kapacita (zvyšování)
  - přístupová doba (snižování)
  - napájecí napětí
- Synchronní vs. asynchronní paměti
- ECC vs. non-ECC paměti (Error-correcting code)
- JEDEC SSTA – organizace schvalující technologické standardy, mj. právě v oblasti operačních pamětí

244-pin DIMM (DDR2 and DDR3 SDRAM)



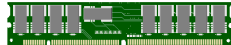
184-pin DIMM (DDR SDRAM)



184-pin RDRAM (Rambus) Chips are covered with metal heat sink.



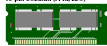
168-pin DIMM (FPM, EDO, SDRAM)



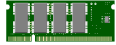
144-pin SODIMM (FPM, EDO, SDRAM)



72-pin SODIMM (FPM, EDO)



704-pin SODIMM (DDR SDRAM)



36-pin SIMM (DRAM)



72-pin SIMM (FPM)



Zdroj: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/>



# Přehled technologií operačních pamětí I.

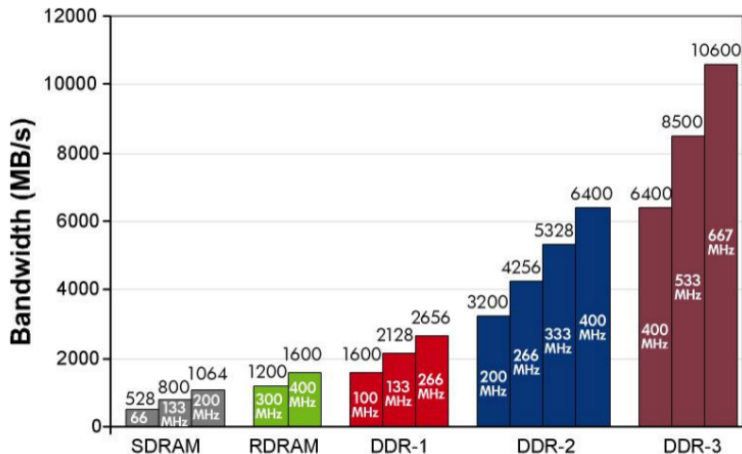
- FPM – Fast Page Mode DRAM (1987)
  - asynchronní paměť
  - přístupová doba 60–80 ns
- EDO – Enhanced Data output DRAM (1995)
  - též označována jako Hyper Page Mode DRAM
  - asi o 5% rychlejší než FPM, přístupová doba cca 60 ns
  - kapacita modulu až 32 MB
- SDRAM – Synchronized Dynamic Random Access Memory (1996)
  - synchronní paměť (pracuje synchronně podle externího taktu)
  - kapacita 64–512 MB, frekvence sběrnice 66–133 MHz
- RDRAM – Direct Rambus DRAM (1999)
  - vysoká propustnost (až 10 GB/s) za cenu vyšších latencí
  - postupně vytlačeny DDR paměťmi

## Přehled technologií operačních pamětí II.

- DDR – Double Data Rate SDRAM (2000)
  - efektivní pracovní frekvence až 400 MHz
  - propustnost až 32 GB/s
  - kapacita modulu 64 MB až 2 GB
  - 2bit prefetch
- DDR2 SDRAM
  - efektivní pracovní frekvence až 800 MHz
  - propustnost 3,2–6,4 GB/s
  - 4bit prefetch
  - kapacita modulu 128 MB až 8 GB
- DDR3 SDRAM
  - zvýšení rychlosti pamětí (až 2 GHz)
- GDDR3/4/5 – paměti pro grafické akcelerátory

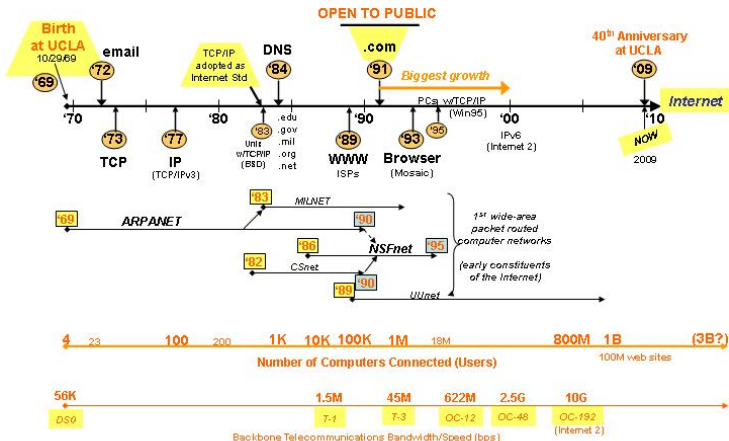
# Srovnání pamětí dle šířky pásma

**Figure 8.** Peak bandwidth comparison of SDRAM and advanced SDRAM technologies



Zdroj: Memory technology evolution: an overview of system memory technologies, Technology brief, 9<sup>th</sup> edition, Hewlett-Packard Development Company, 2010.

## INTERNET TIMELINE

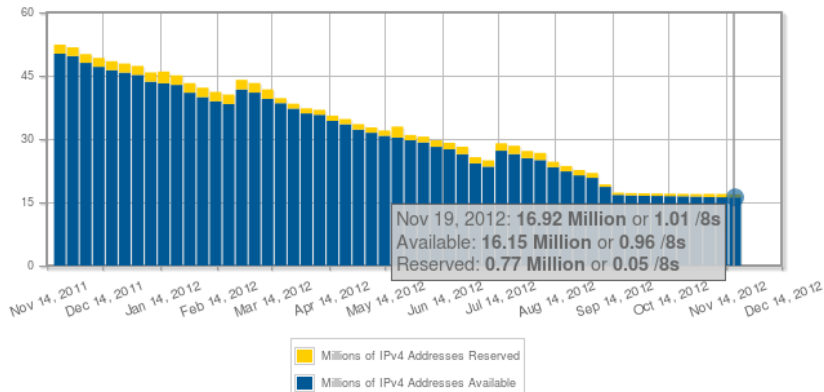


© 2008 Jeffrey H. Drobman

Zdroj: <http://www.drjeffsoftware.com/history.html>

# Dostupný počet IPv4 adres

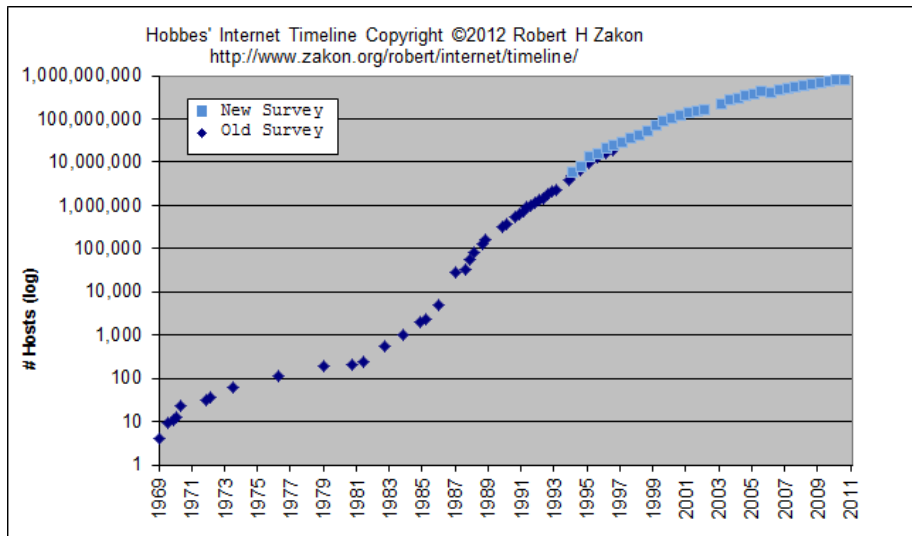
RIPE NCC IPv4 Pool — Last 12 Months



This graph shows the number of available and reserved IPv4 addresses managed by the RIPE NCC over the past 12 months.

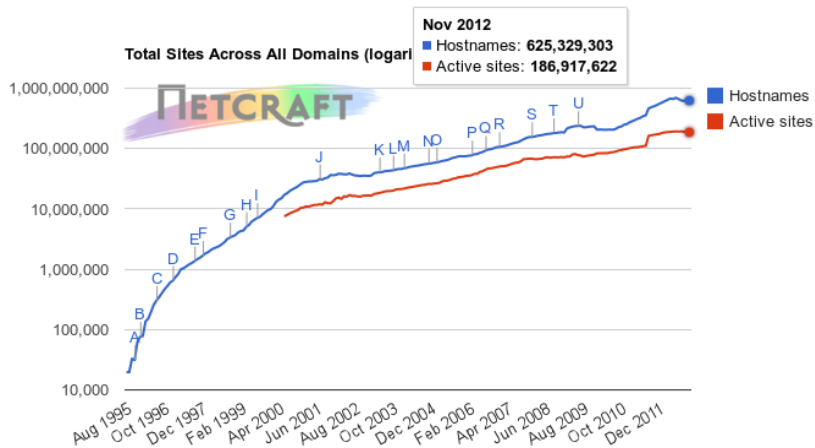
Zdroj: <https://www.ripe.net/internet-coordination/ipv4-exhaustion/ipv4-available-pool-graph>

# Vývoj počtu stanic připojených k Internetu



Zdroj: <http://www.zakon.org/robert/internet/timeline/>

# Růst počtu webových stránek



Zdroj: <http://www.zakon.org/robert/internet/timeline/>

# Internetová populace v posledních 5 letech

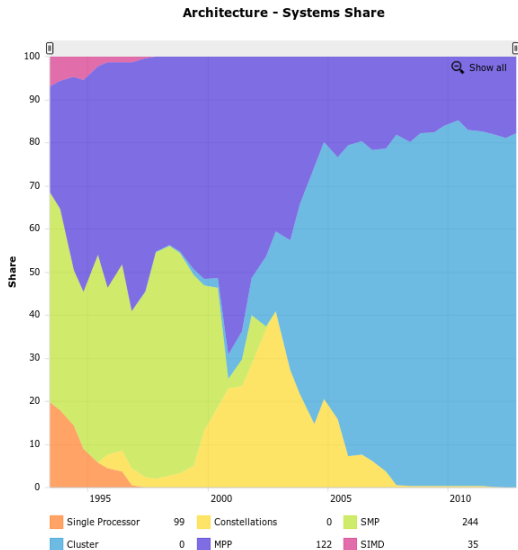


Zdroj: <http://royal.pingdom.com>



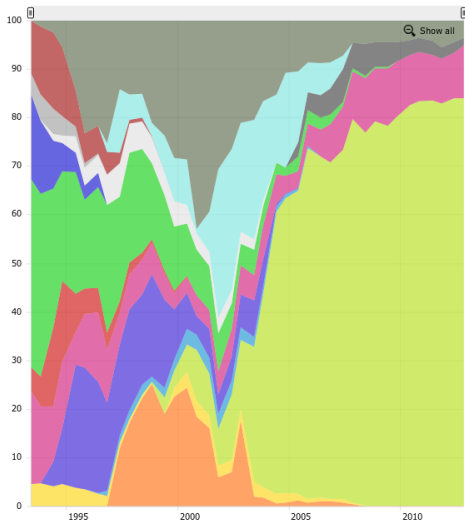
- Data z TOP500
  - <http://top500.org/statistics/overtime>
  - 2× do roka aktualizované údaje
- Vybrané statistiky:
  - Architektury superpočítačů
  - Používané operační systémy
  - Výrobci
  - Zastoupení zemí v TOP500
- Vývoj v oblasti od roku 1993

# TOP500 – Architektury superpočítačů

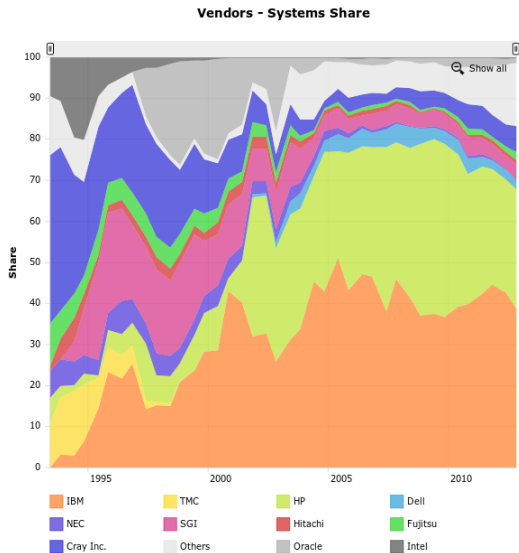


# TOP500 – Operační systémy

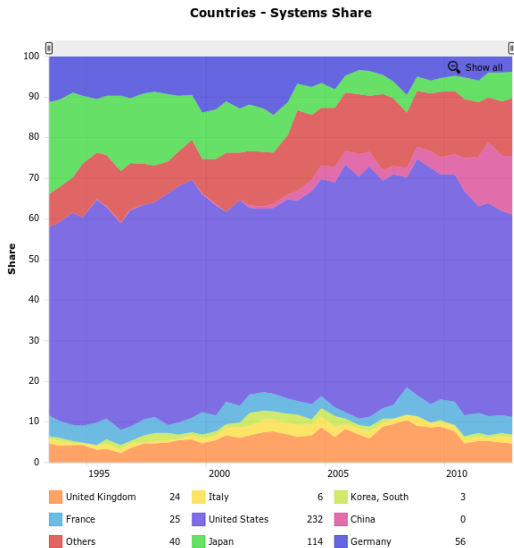
Operating System - Systems Share



# TOP500 – Výrobci



# TOP500 – Zastoupení zemí



- Stále roste složitost, ale i význam IT systémů
- V mnoha ohledech exponenciální růst se v poslední době „zastavuje“
- Budeme potřebovat nové přístupy
  - Stále rostoucí závislost na software
  - Skutečně masivně paralelní systémy ( $10^6$  až  $10^9$  jader/vláken)