



Elektronika a Mikroelektronika A4B34EM

Přednášející: Jiří Jakovenko
Cvičící: Vladimír Janíček



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Čím se budeme zabývat ?

- Historický přehled vývoje Elektroniky a Mikroelektroniky, Moorovy zákony, Elektronické prvky,) ideální a reálné parametry
- Základní způsoby řešení elektrických obvodů (Theveninův teorém, princip superpozice, dělič
- Základní typy a vlastnosti polovodičů, přechod PN, přechod kov-polovodič, polovodičové diody, základní typy usměrňovačů
- Bipolární tranzistor BJT
- Tranzistor MOSFET
- Technologický proces výroby polovodičových součástek a integrovaných obvodů
- Základní CMOS proces, technologický postup výroby, topologické masky, moderní submikronové technologie



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Čím se budeme zabývat ?

- Parametry logických hradel CMOS, ztrátový výkon log. hradla, zpoždění, budiče sběrnic
- Základní bloky elektronických obvodů, zpětná vazba. Operační zesilovač, komparátor, oscilátor
- Integrované paměťové struktury: typy a vlastnosti, způsoby zápisu a čtení, rychlost, doba přístupu
- Optoelektronické prvky: fotodioda, fototranzistor, laser, LED, jejich parametry, aplikace
- Výkonové spínací prvky: výkonový MOSFET, tyristor, IGBT
- Senzory: druhy, parametry, technologie, aplikace. Návrh a technologie mikro-elektro-mechanických integrovaných systémů MEMS



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Čím se budeme zabývat - cvičení ?

- Úvod do laboratoří. Přístroje pro měření a diagnostiku elektronických obvodů.
- Měření - VA charakteristiky diod, pracovní bod diody.
- Měření - Aplikace diod: Jednocestný a dvoucestný usměrňovač, činitel zvlnění.
- Měření - Bipolární tranzistor: charakteristiky, parametry a aplikace s bipolárním tranzistorem.
- Měření - Tranzistor MOSFET: charakteristiky, parametry Aplikace s unipolárním tranzistorem.
- Obvodový simulátor, typy analýz (DC, AC, Transient). Modely aktivních a pasivních součástek.
- Návrh, simulace a testování zesilovacího stupně.
- Statické a dynamické vlastnosti logických hradel a přenosového hradla CMOS.



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Čím se budeme zabývat - cvičení ?

- Měření - Operační zesilovač: základní zapojení, statické a dynamické vlastnosti
- Měření - Optoelektronické součástky: vlastnosti optronu, fotodiody a fototranzistoru
- Samostatný projekt
- Samostatný projekt
- Presentace projektů, zápočet



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



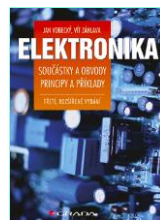
Elektronika a Mikroelektronika A4B34EM

Studijní materiály: MOODLE

<http://moodle.kme.fel.cvut.cz>

A4B34EM – Elektronika a mikroelektronika

Kniha: Elektronika - Součástky a obvody,
principy a příklady
Autor: Jan Vobecký, Vít Záhlava



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Co nám elektronika a mikroelektronika přináší?

■ Naprosto unikátní technologie...

- + Vyšší rychlost a výkon
- + Stále vyšší hustota integrace (tranzistorů)
- + Menší ztrátový výkon na funkční blok (úspora energie) – ovšem dramaticky roste ztrátový výkon na jeden čip
- + Menší náklady na funkční blok
- + Nižší hmotnost

■ Negativa

■ ???



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



50 let elektronických integrovaných obvodů

- Integrované obvody mají relativně velmi krátkou historii. Od svého vzniku až do dnešní doby však zaznamenaly nebývale dynamický vývoj.

"Kdyby výroba automobilu postupovala stejně rychle jako polovodičový průmysl, ujel by Rolls-Royce na jeden litr paliva deset miliónů kilometrů a bylo by levnější ho vyhodit než zaparkovat.."

G.E. Moore, spoluzakladatel firmy Intel



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Historie polovodičové elektroniky

- **1906** – Polovodiče používány k detekci radio signálů (Pickard, ATT)
- **1912** – Objev usměrňovacích vlastností polovodičů (Pickard, ATT)
- **1925** – **FET** - J. Lilienfeld patentoval princip (technologicky nerealizován)
(USP#1,745,175, #1,900,018, #1,877,140), 1935 O. Heil (Braun #430,457)
- **1943** – Germaniové krystaly k demodulaci radarů.
- **1947** – **Tranzistor "Objev"**
Bardeen, Brattain a Shockley, ATT, Nobelova Cena, 1956
- **1952** – Realizace prvního FET (Field Effect Transistor)



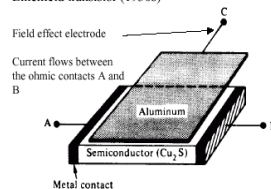
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Lilienfeld FET Tranzistor (1930)

- Realizace nebyla možná díky přítomnosti velkého náboje na rozhraní polovodiče a hradlového izolantu.
- V padesátých letech byl tento problém vyřešen

Lilienfeld transistor (1930s)



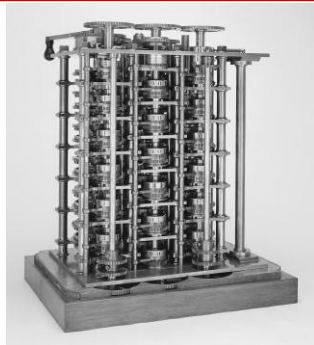
J. E. Lilienfeld, who obtained several concept patents on a field-effect transistor nearly twenty years before the work on the transistor started at the Bell Telephone Laboratories. The patents created interference with Shockley's application. The photograph is taken from Lilienfeld's U.S. (May 1931) by the American Institute of Physics.



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První počítač



Babbage Difference Engine (1832)
25 000 mechanických částí
Cena: 17 470 liber

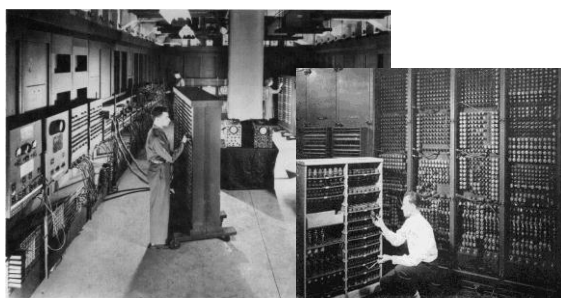


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



ENIAC – První elektronický počítač (1946)

Sestrojen pány: John W. Mauchly (architektura počítače) a J. Presper Eckert (elektronické obvody), Pennsylvánská univerzita



Replacing a bad tube meant checking among ENIAC's 18,000 possibilities.



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



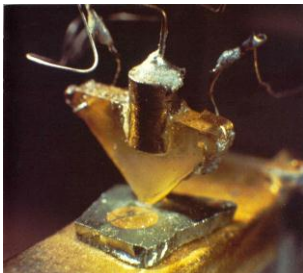
1947 – Zrození moderní elektroniky

Bellovy Laboratoře – Vynález hrotového tranzistoru – zesílení 18

William Shockley, Walter Brittain a John Bardeen
Nobelova cena za fyziku 1956

1951: Shockley – tranzistor vhodný pro sériovou výrobu.

1954: První tranzistorové rádio, první křemíkový tranzistor (TI - cena \$2.50)

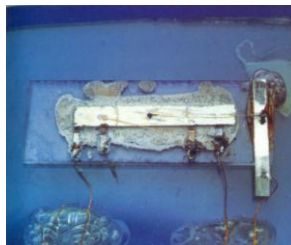


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

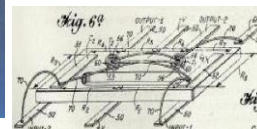


1958 – Revoluční objev – vynález integrovaného obvodu

První integrovaný obvod – Jack Kilby, Texas Instruments
1 Tranzistor a 4 Odporů na 1 čipu
V roce 2000 udělena Nobelova cena



Prakticky ve stejnou dobu vynalezl IO i Robert Noyce

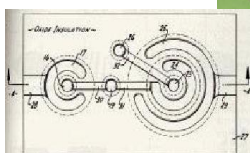
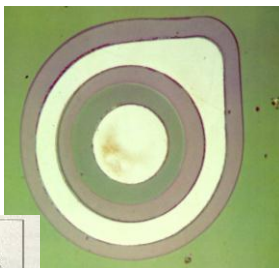


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První planární technologie - 1959

- Mnohem výhodnější pro výrobu integrovaných tranzistorů
- Fairchild Electronics -- Jean Hoerni a **Robert Noyce**



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První komerční planární IO

Fairchild -- One Binary Digital (Bit) Memory Device on a Chip
4 Tranzistory a 5 Rezistorů

ZAČÁTEK **TECHNOLOGIE SSI** (SMALL SCALE INTEGRATION)



1961: duální flip-flop
cena ~ \$50
1963: Vyšší hustota a výtěžnost – 4 x flip flop.

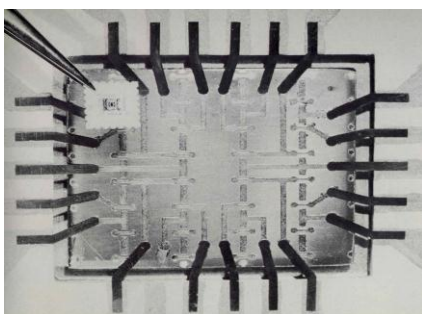


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Integrace MOS Tranzistorů - 1962

Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor
Radio Corporation of America (RCA) Sarnoff Laboratories

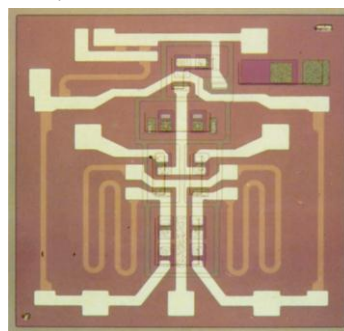


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První analogový IO - 1964

Operační zesilovač MA 702 – Fairchild

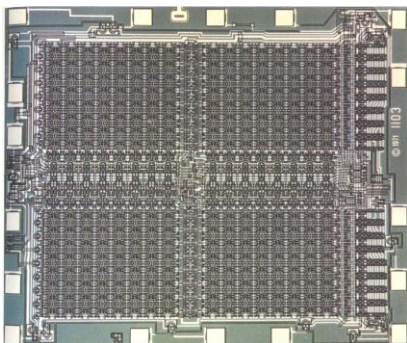


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První 1,024 Bitový paměťový čip - 1970

Intel Corporation DRAM

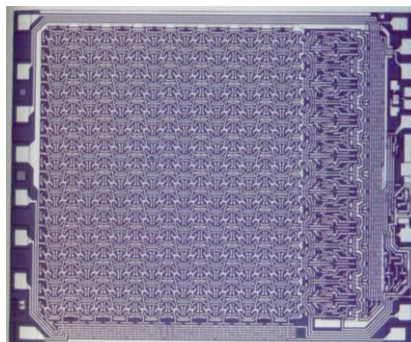


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První 256-Bitová Statická RAM - 1970

Fairchild 4100

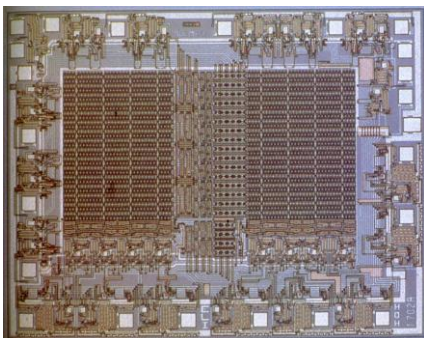


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První EPROM - 1971

INTEL 1702



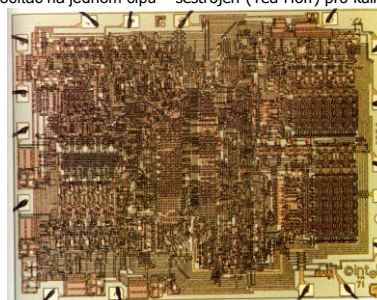
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Zrození prvního Microprocesoru - 1971

Intel 4004 – 2,300 Tranzistorů, 108 kHz

První počítač na jednom čipu – sestrojen (Ted Hoff) pro kalkulátory

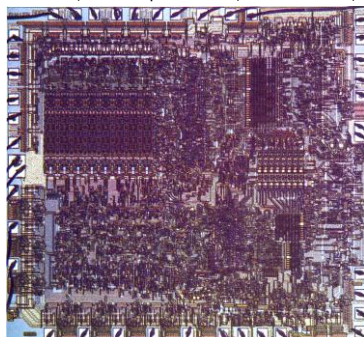


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První komerční Mikroprocesor - 1974

8-Bit Intel 8080, Intel Corporation – 6,500 Tranzistorů, 2MHz



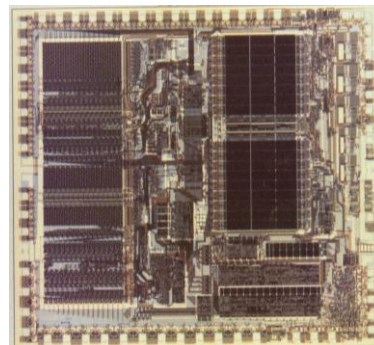
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



16-Bitový Mikroprocesor 1979

Motorola 68000

ETAPA **LSI**
(**LARGE SCALE**
INTEGRATION)

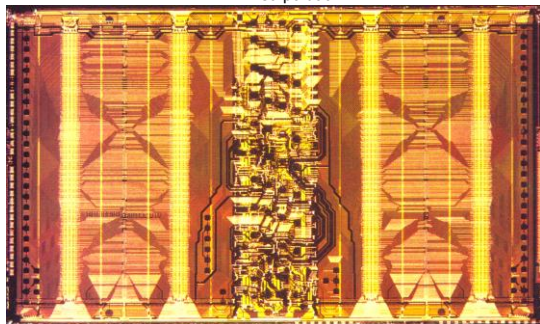


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První 256 kb Bitová Dynamická RAM 1981

IBM Corporation



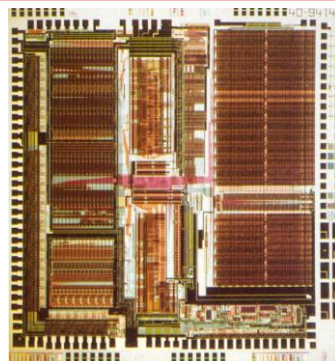
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



První 32-Bitový Mikroprocesor 1981

Hewlett-Packard Co. –
450,000 Tranzistorů

POČÁTEK ETAPY **VLSI**
(VERY LARGE SCALE
INTEGRATED CIRCUIT)

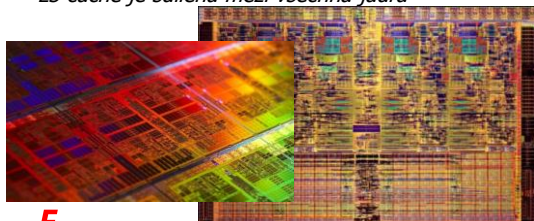


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



A jak je to dnes ?

- Intel Nehalem - plocha čipu má velikost přibližně 246 mm² při 45nm výrobní technologii
- 731 milionů tranzistorů - každé jádro má 32 kB instrukční a 32 kB datové L1 a 256 kB L2 cache, 8 MB L3 cache je sdílená mezi všechna jádra

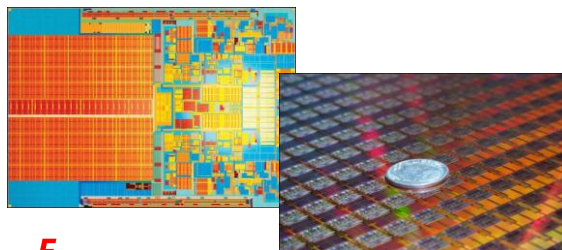


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Nejvyspělejší technologie

- Intel I7 45 nm, 710 milionů tranzistorů na ploše 107 mm² - základ všech nejnovějších procesorů Intel

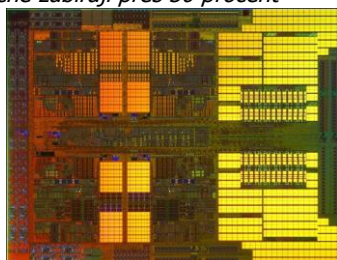


Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



Nejvyspělejší technologie

- Jádro AMD Shanghai přezdívané "K10.5" –
- 705 milionů tranzistorů na ploše 243 mm²,
- Bloky 6 MB L3 cache zabírají přes 30 procent plochy jádra



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL



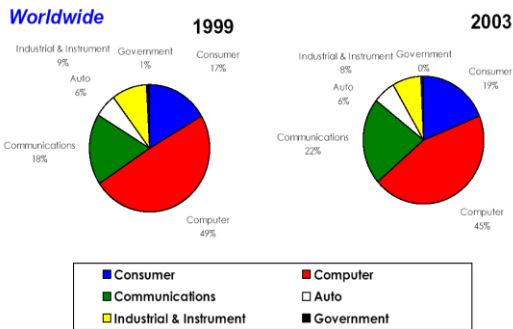
Světový polovodičový trh 2003 podle SIA – Semiconductor Industry Association

Total Semiconductors - \$319.3B									
Integrated Circuits - \$278.0B								Discrete & Opto \$41.2B	
Digital - \$231.4								Analog \$46.6B	
MOS - \$230.6B								Diodes, Rectifiers, Transistors, etc. \$22.8B	
Memory \$88.2B		Micro - \$86.9B			Logic \$55.6B			Optoelectronics \$19.2B	
DRAM \$52.2B		Microprocessor - \$35.0B			Other Logic \$27.5B			Digital Bipolar - \$8B	
Flash \$22.6B		Microcontroller - \$34.4B			ASIC \$28.1B				
		SRAM \$19.2B			DSP \$13.4B				



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

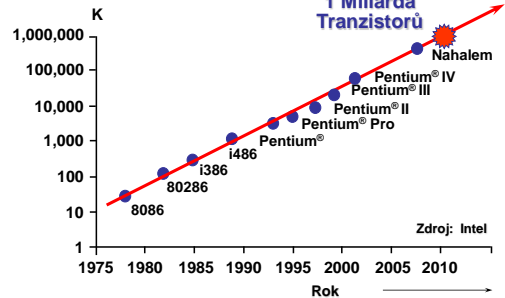
Poměry koncových uživatelů



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Moorovy zákony

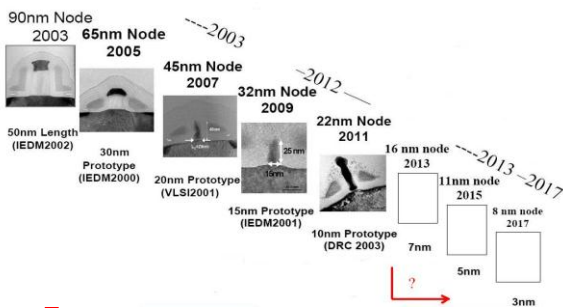
Pentium



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

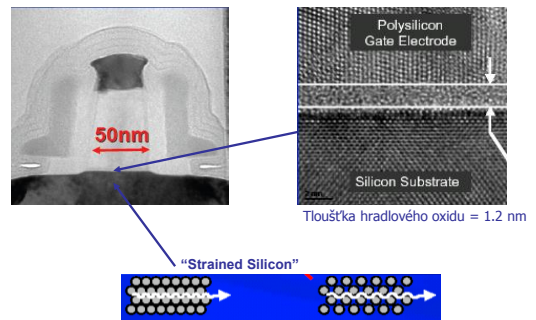
Vývoj CMOS technologií

Kdy už to skončí ???



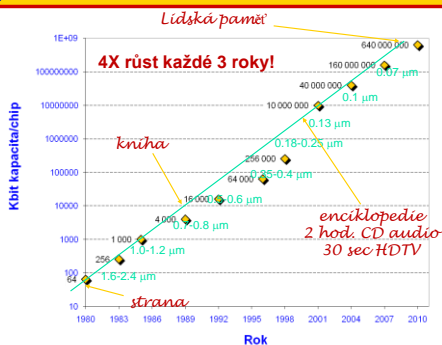
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Dnešní podoba MOS tranzistorů



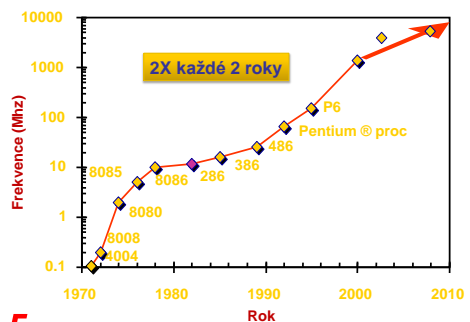
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Evoluce DRAM paměti



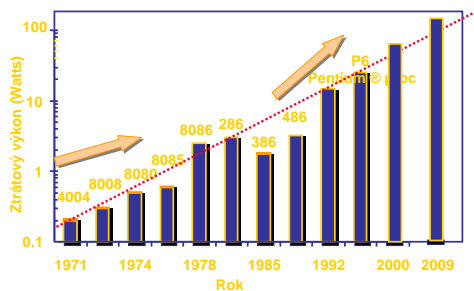
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Hodinová frekvence



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Ztrátový výkon čipu



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Vývoj osobních počítačů – aneb stále nespokojený uživatel

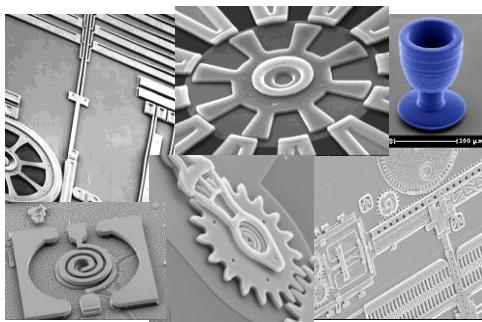
	1995	2000	2003
Procesor	Pentium	Pentium III	Pentium IV
Ztrátový výkon (W)	1	12	60
Frekvence (MHz)	81	650	1800
Paměť (MB)	8	64	512
Velikost disku (GB)	0.8	15	80 GB
Cena (Kč)	30 000	30 000	30 000

A ja by to bylo dnes ???



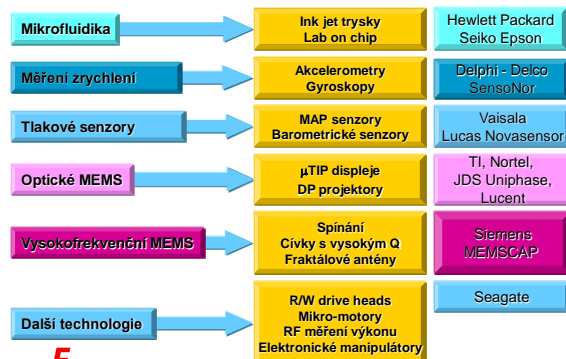
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

MEMS Technologie



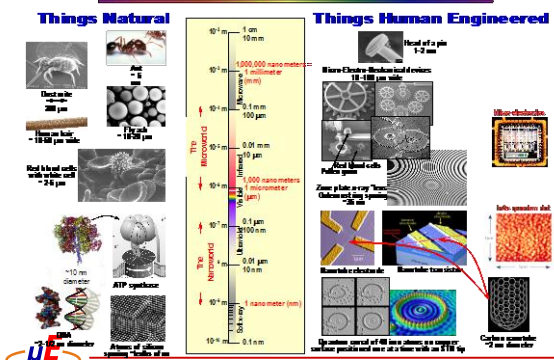
Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

Technologie & Aplikace



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL

The Scale of Things – Manometers and More



Jiří Jakovenko – Elektronika a Mikroelektronika - Katedra mikroelektroniky – ČVUT FEL