



Digitális Áramkörök I.

(Villamosmérnök BSc)

Bevezetés. Hol tart ma a digitális technológia?

Előadó: Dr. Vörösházi Zsolt

voroshazi.zsolt@mik.uni-pannon.hu

Feltételek:

- Tárgy neve (kódja): **Digitális Áramkörök I. (VEMIVIB244DA)**
- Oktatók:
 - Katonáné Dr. Tömördi Katalin: gyakorlat
 - Dr. Vörösházi Zsolt: elmélet
- Előadás / Gyakorlat látogatás: *kötelező* (lásd tematika)
- Követelmények (Vill BSc): *2 ZH* lesz (lásd tematika)
- KisZH (elm+gyak): félév során több alkalommal (lásd tematika)
- Megajánlott jegy: pontszám (ZHk + kisZHk) ≥ 4
- Vizsga/aláírás feltétele: ZHk+kisZHk összesített eredménye alapján *40%* elérése! (lásd tematika)
- PótZH: egyeztetett időpontban (pótZH a teljes anyagrészből lesz)
- Vizsga: írásbeli/szóbeli
- Választható ZV tárgy!
- Ajánlott könyvek:
 -  **Holczinger T., Gölle A., Vörösházi Zs.: Digitális Technika I. / II. (TÁMOP jegyzetek)**
 -  Dr. Arató Péter: Logikai rendszerek tervezése (BME kiadó)

Kapcsolódó jegyzet, segédanyag:

- <http://www.virt.uni-pannon.hu>
→ Oktatás → Tantárgyak → Digitális
Áramkörök I. (Villamosmérnöki BSc).
- Fóliák, óravázlatok .ppt (.pdf)
- Frissítésük folyamatosan „*//frissítve*”

Elérhetőségeink



Gyakorlat

Katonáné Dr. Tömördi Katalin

Mesteroktató

VIRT, Képfeldolgozás Kutatólaboratórium

I-208 szoba

☎ : +36 88 624 324

✉ : tomordi.katalin@mik.uni-pannon.hu



Előadás

Dr. Vörösházi Zsolt

egyetemi adjunktus

VIRT, Képfeldolgozás Kutatólaboratórium

I-208 szoba

☎ : +36 88 624 324

✉ : voroshazi.zsolt@mik.uni-pannon.hu

Oktatási cél:

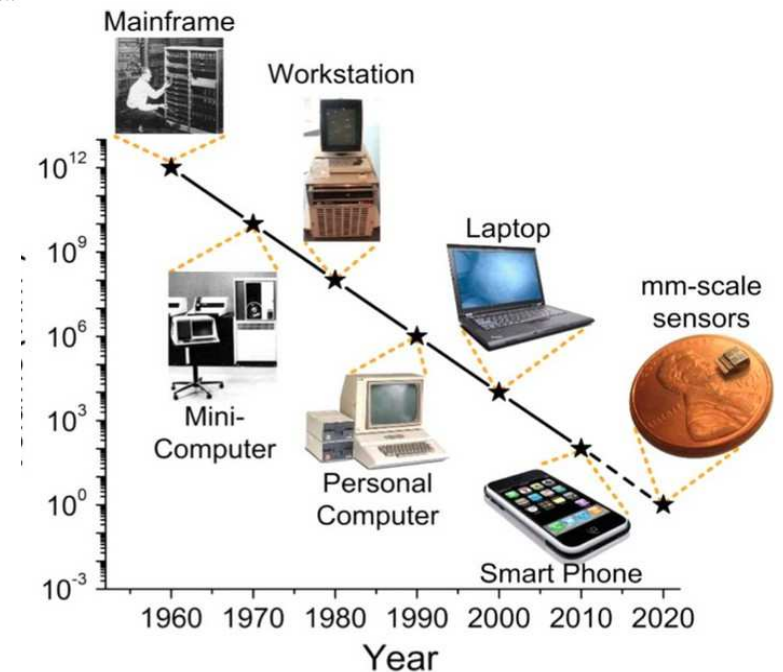
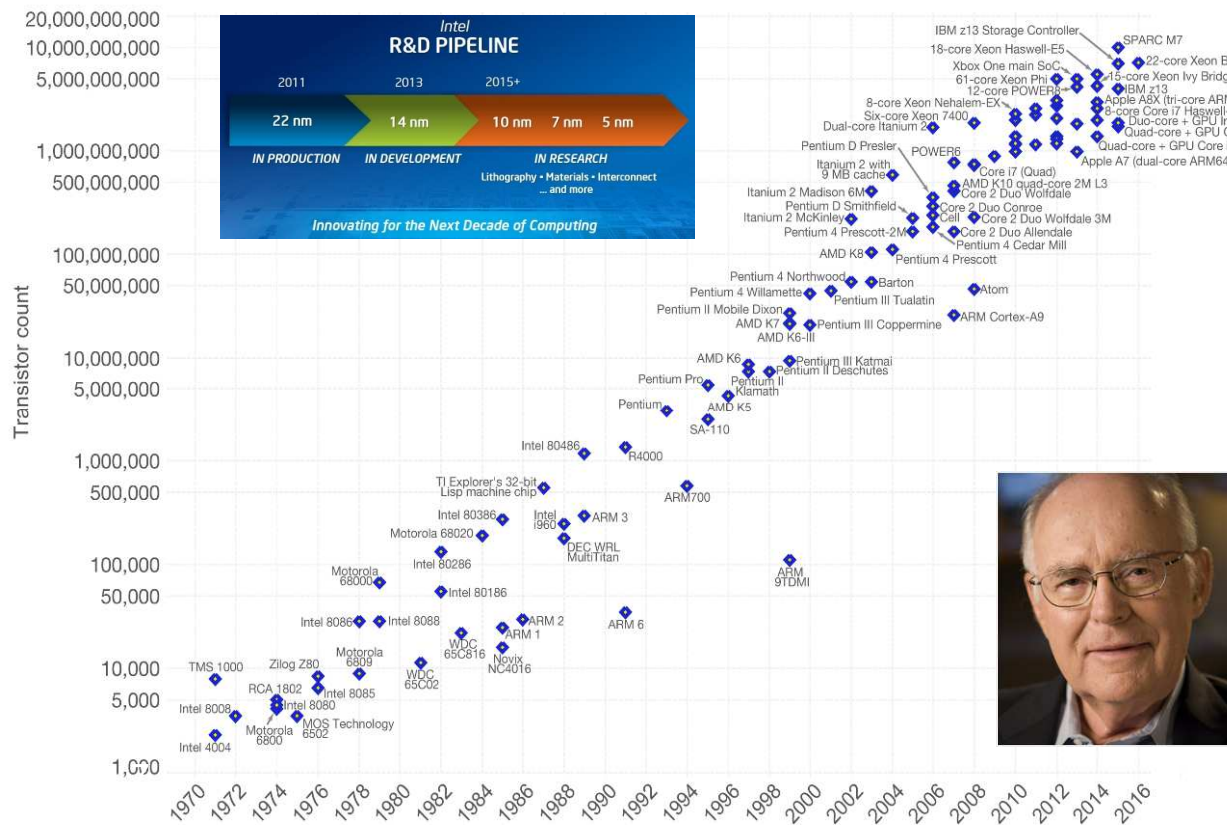
- A ***kombinációs*** logikai hálózatok klasszikus tervezési , minimalizálási módszereinek, illetve megvalósításainak megismerése.
- LSI/MSI – alacsony/közepes komplexitású digitális áramkörök működésének, specifikációjának, alkalmazásainak, valamint digitális áramkörök (TTL, CMOS) jellemzői paramétereinek megismerése.



Hol tart ma az digitális technológia?

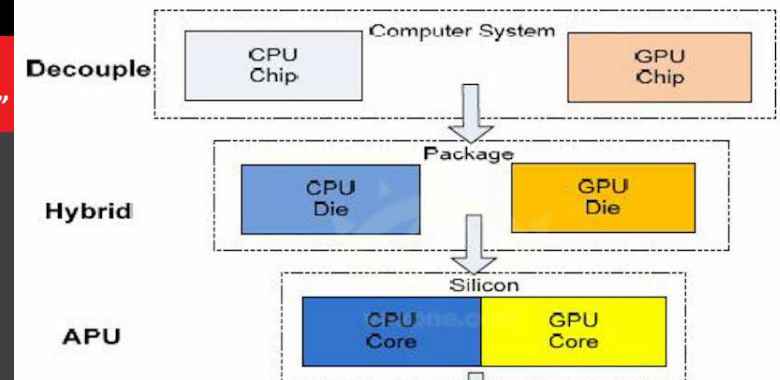
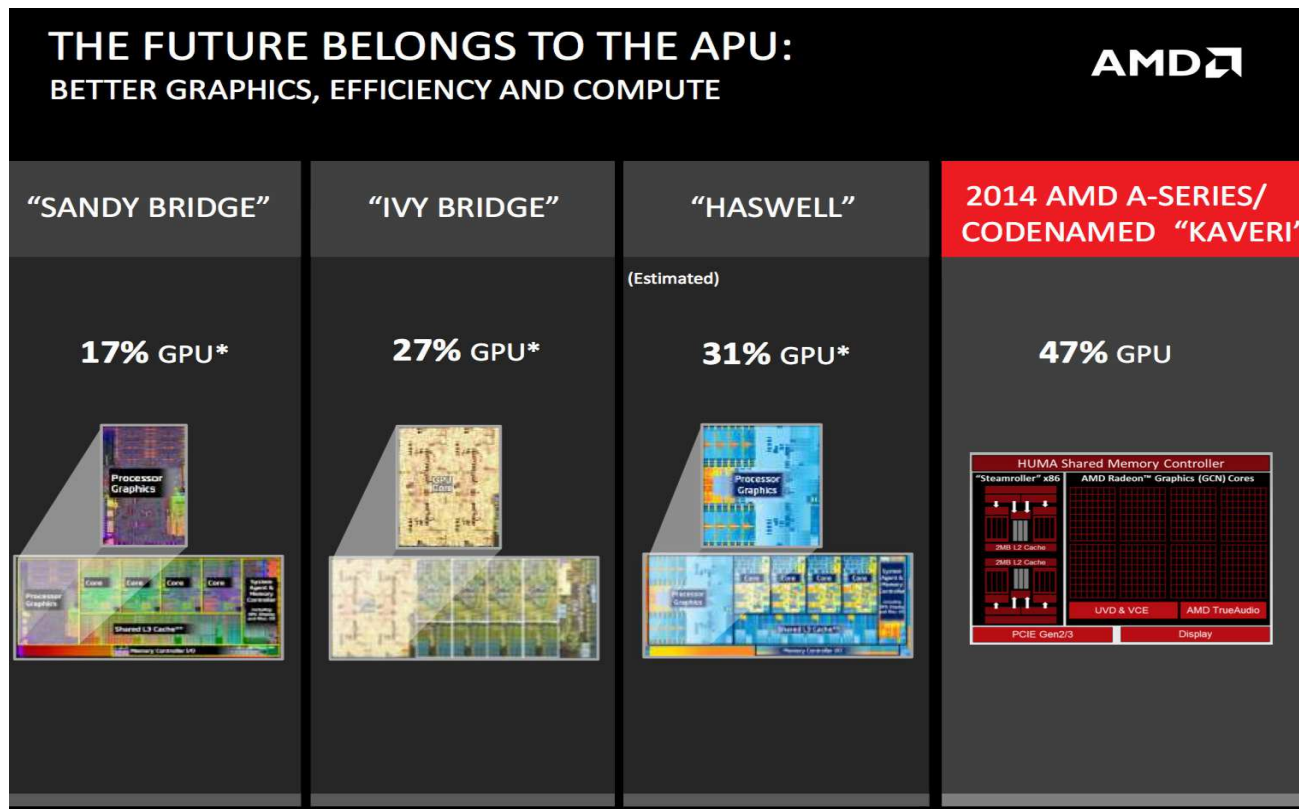
Age Group	Percentage
18-24	18%
25-34	25%
35-44	22%
45-54	15%
55-64	12%
65-74	8%
75-84	5%
85+	3%

- **Moore törvénye (1965):** 1 (2, ma 3) évente adott Si felületegységre eső tranzisztorszám duplázódása
- **Bell törvénye (1972):** számítógépek méretének fokozatos csökkenése (~10 évente új számítógép osztályok, platformok megjelenése)

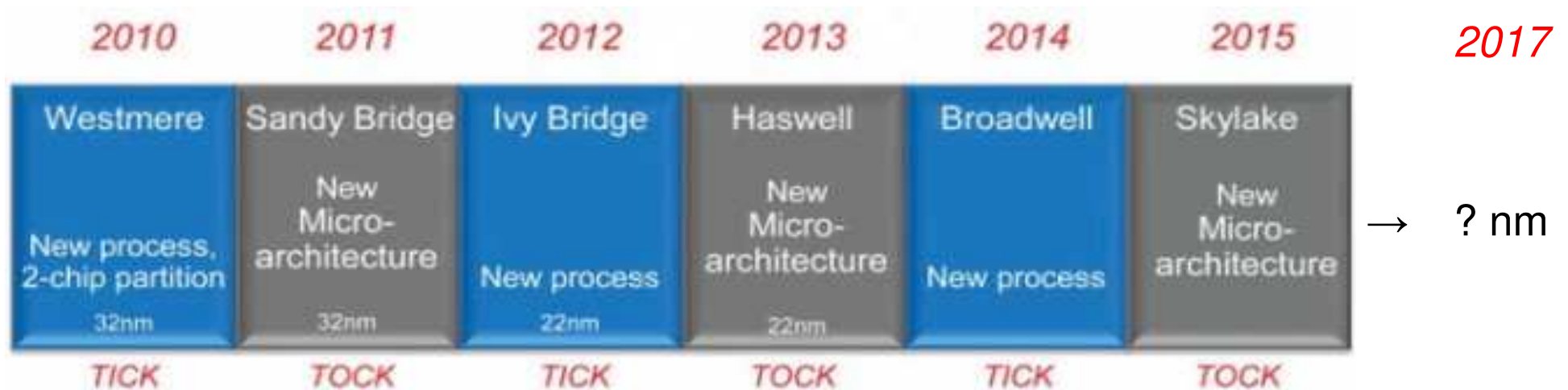


CPU + GPU integráció = **APU**

APU (**A**ccelerator **P**rocessor **U**nit)



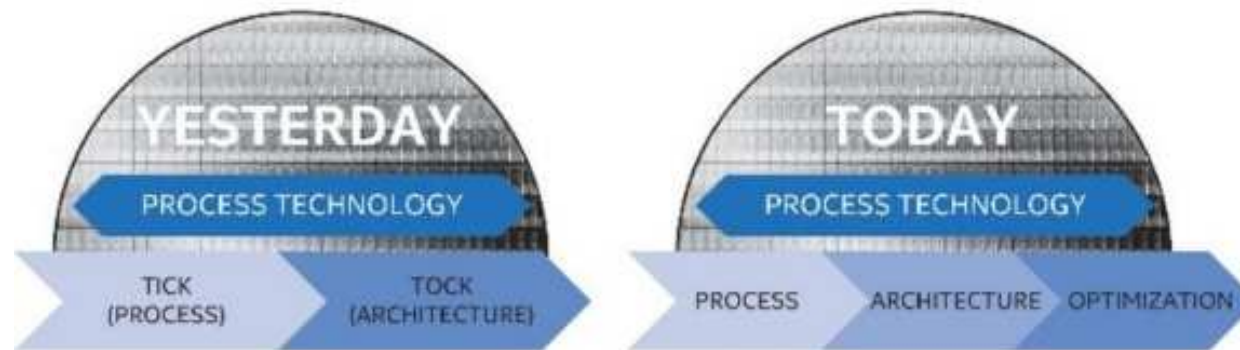
Intel „tikk-takk” stratégiája:



Megdőlt ez a „tikk-takk” stratégia (2016):

- 2 évente új gyártástechnológiára váltottak (ez jelenti a nagyobb problémát!) 22 → 14 → 10 nm.
- 2 évente új mikroarchitektúra jelent meg
- Intel Kaby Lake: 7. gen Intel Core architektúra (még az utolsó tock fázisban készült, 14nm)

Intel „PAO” stratégia:



PAO – Process – Arcitecture – Optimization (2016-tól)

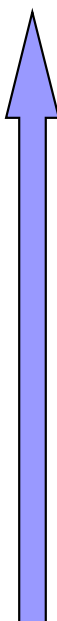
- 3 évente új gyártástechnológiára váltottak (ez jelenti a nagyobb problémát!) → 10 nm → ... ?
- 3 évente új mikroarchitektúra jelent meg
- 3 évente az architektúra optimalizálása
- Intel Kaby Lake: 7. gen. Intel Core architektúra (még az utolsó tock fázisban készült)

Szuperszámítógépek

■ Első szuperszámítógépek

- LARC: (Livermore – US) atom-kutatásokra (1960)
- IBM 7030 / Stretch (1961)

■ MA (2024. február): www.top500.org

- 
- 1.) Frontier – HPE Cray EX235, Oak Ridge Laboratory, USA
 - 8.7 millió ! processzor mag (AMD Epyc 3rd gen 64C 2GHz), P: 22 700 kWh!!
 - **~1.2 ExaFLOPs = 1 194 PetaFLOP/s teljesítmény!!**
 - 2.) Aurora – Argonne National Laboratory, USA
 - 4.74 millió ! processzor mag (Intel Xeon 9470 52C 2.4GHz), P: 24 600 kWh!!
 - **585 PetaFLOP/s teljesítmény!!**
 - 3.) Eagle – Microsoft Azure, USA
 - 1.23 millió ! processzor mag (Intel Xeon Platinum 8080 48C 2 GHz), P: -
 - **561 PetaFLOP/s teljesítmény!!**
 - 5.) LUMI – HPE Cray EX235: EuroHPC, Finnország!
 - 2.7 millió processzor mag (AMD Epyc 3rd gen 64C 2GHz), 2800 TB memória, P: 7 107 kWh!!
 - **379.2 PetaFLOP/s teljesítmény !**
 - ...
 - x.) IBM Roadrunner BladeCenter QS22/LS21 Cluster, (LANL, Los Alamos., US) - 2009
 - 129 600 processzor magos rendszer (PowerXCell 8i 3.2 GHz), 73 728 GB memória (N/A)
 - 1.105 millió GFLOPs teljesítmény! (elsőként ~ 1 PetaFLOPs sebességtartomány átlépése)

■ További lehetőségek: FDE – parallelizmus

- átlapolt végrehajtás (látszólagos) – pipe-line, vagy IPL (utasítás szintű párhuzamosítás – pl. szuperskalár processzorok): párhuzamosítás egyetlen processzoron belül
- teljesen párhuzamos végrehajtás (több processzor) – pl. CELL BE
- heterogén több-magos (multi-core/many-core) rendszerek (pl. mai APU-k)

Szuperszámítógép

■ #199. Magyarország (2023. január)

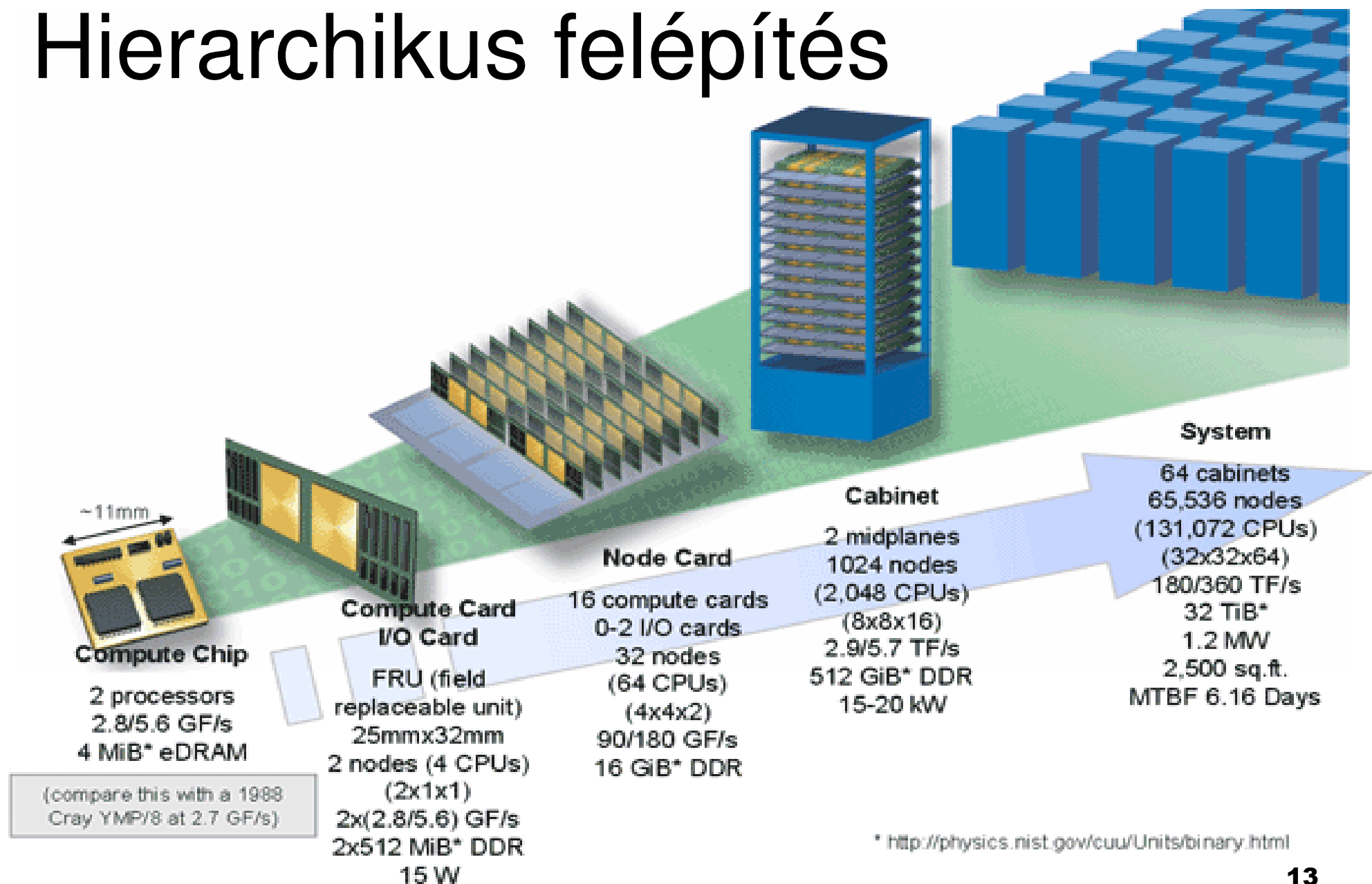
- KIFÜ-HPC: „Komondor”, Debrecen
- **5 PetaFLOP/s**, ~5 mrd Ft, 1.3 MWh
- HPE Cray EX, AMD Epyc 7763 64C 2.5GHz
- 28 768 CPU mag
- NVIDIA A100 SXM4 40 GB
- <https://hpc.kifu.hu/>



■ Magyarország (2014)

- # 307. Leó NIIFI-Debrecen - Cluster Platform SL250s Gen8, Intel Xeon E5-2650v2 8C 2.6GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x/K40
- **253.6 TFLOPs** teljesítmény, 122 KWh
- HPE rendszer
- 4 890 CPU mag, 10 TB memória
- <http://www.niif.hu>

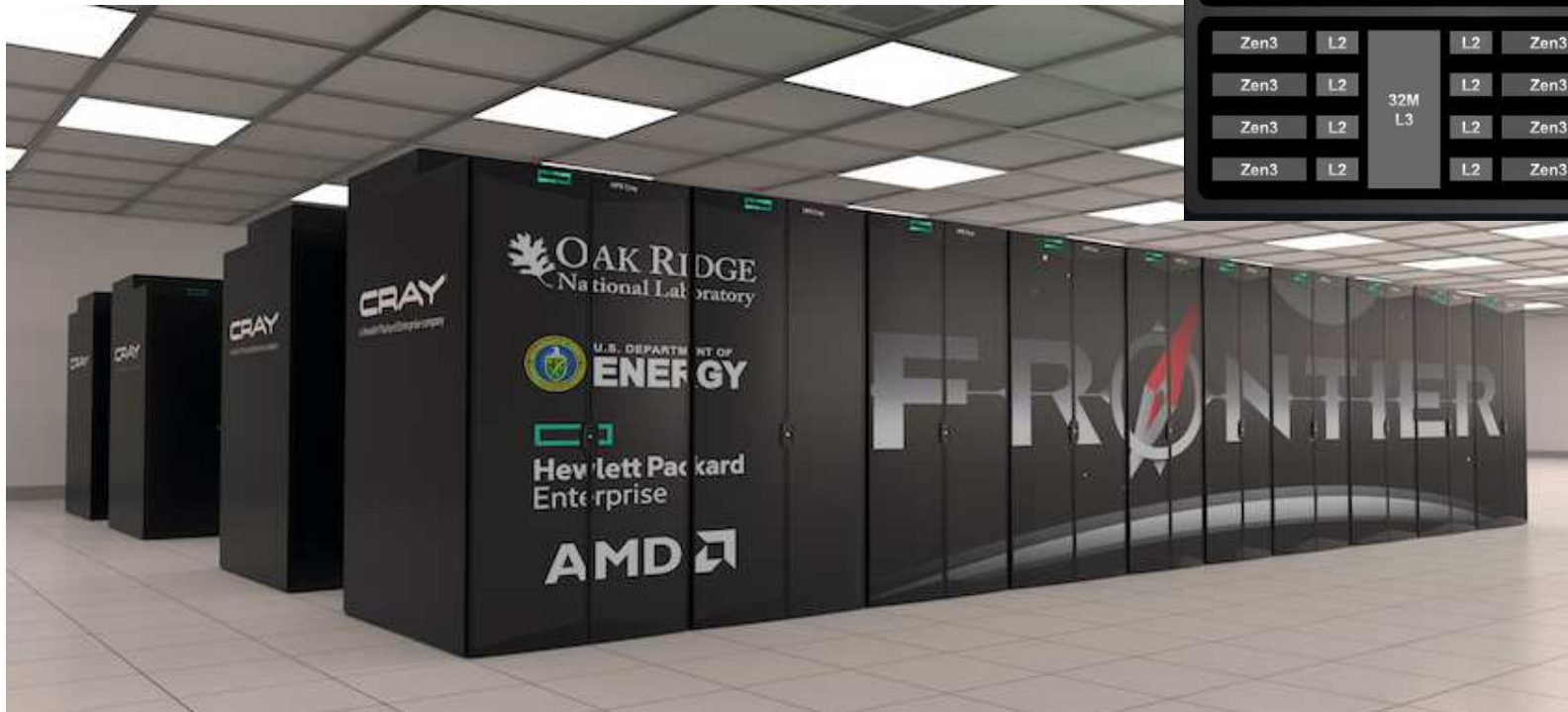
Szuperszámítógépek – Hierarchikus felépítés



* <http://physics.nist.gov/cuu/Units/binary.html>

#1 Frontier (USA) ~1.2 ExaFLOPs

AMD Epyc 3rd gen 64 Cores



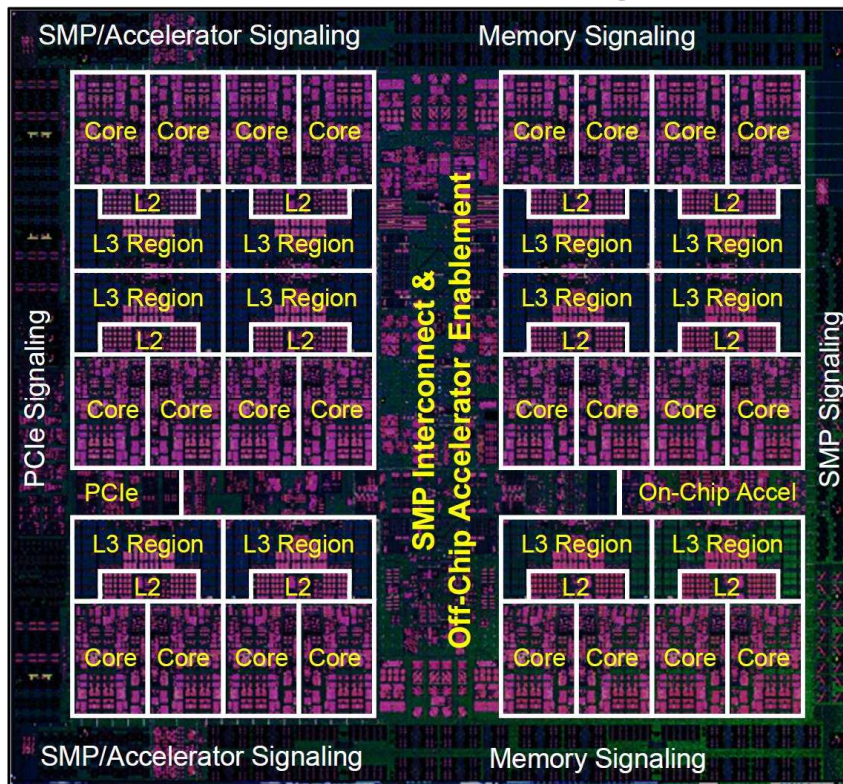
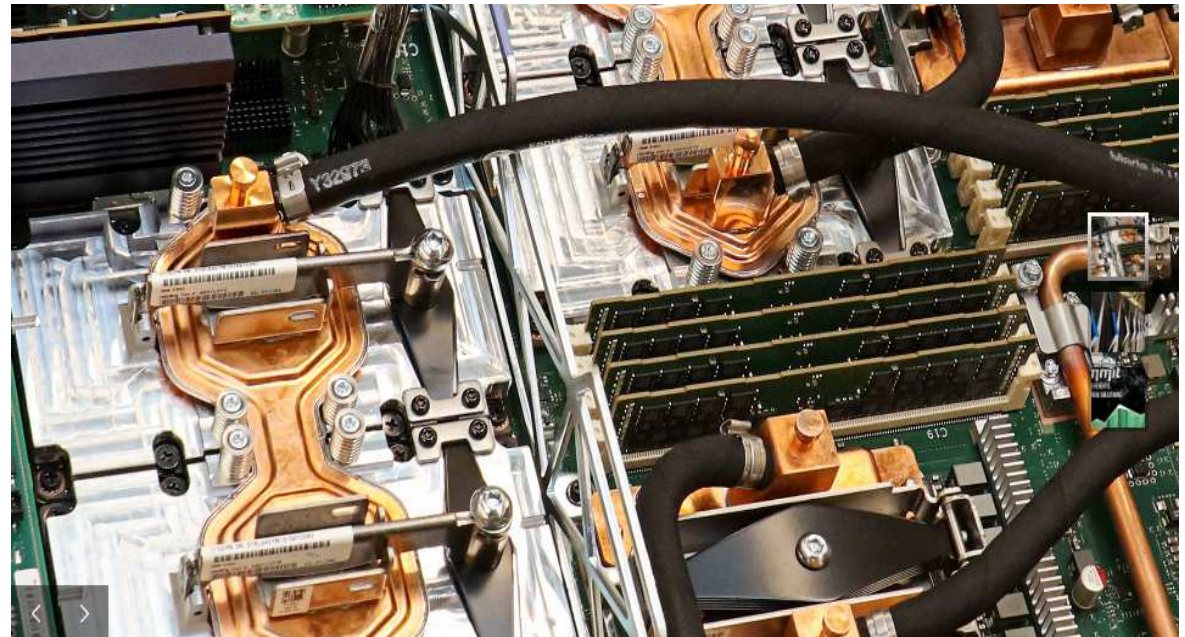
#5 LUMI (Finnország)



AMD Epyc 3rd gen 64 Cores

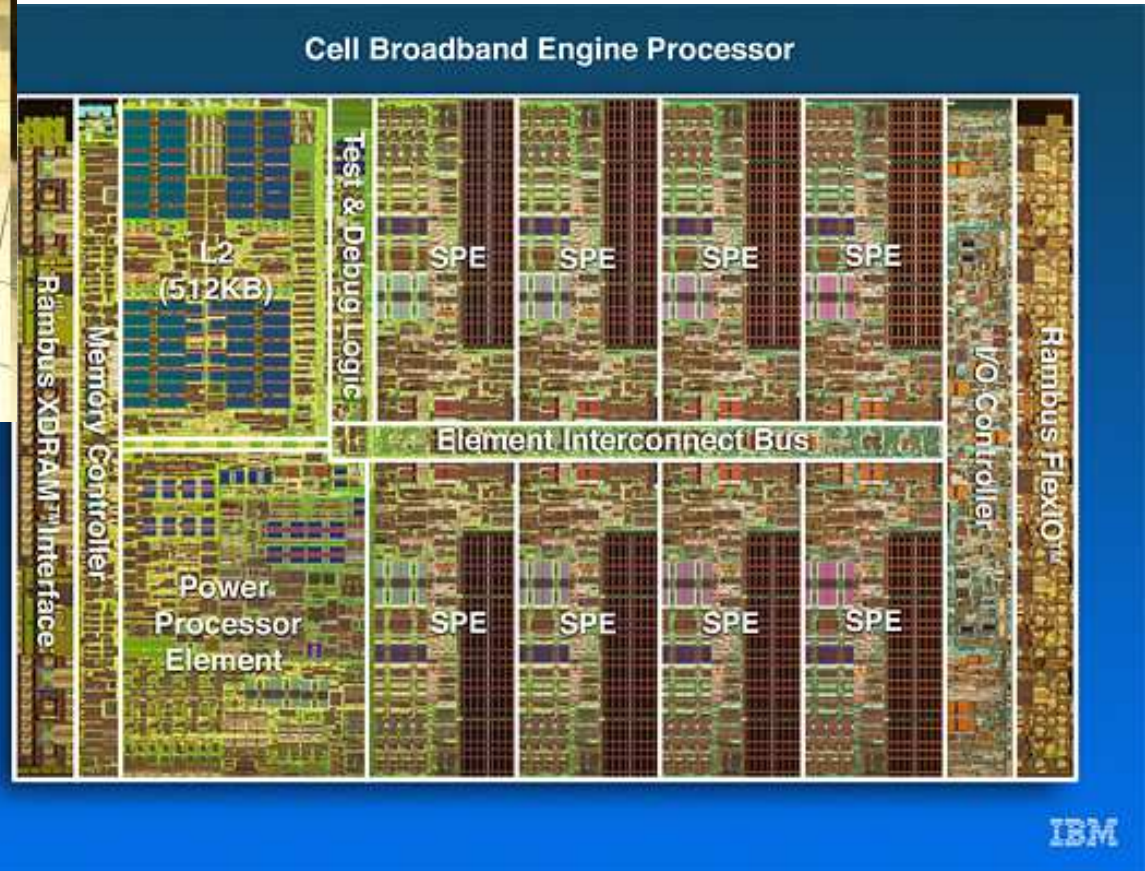
#7 Summit (USA)

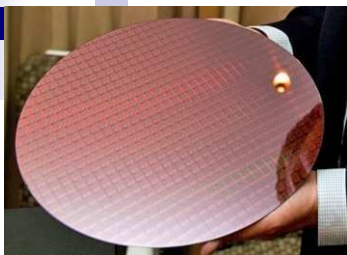
IBM POWER9 22Cores @ 3.1 GHz



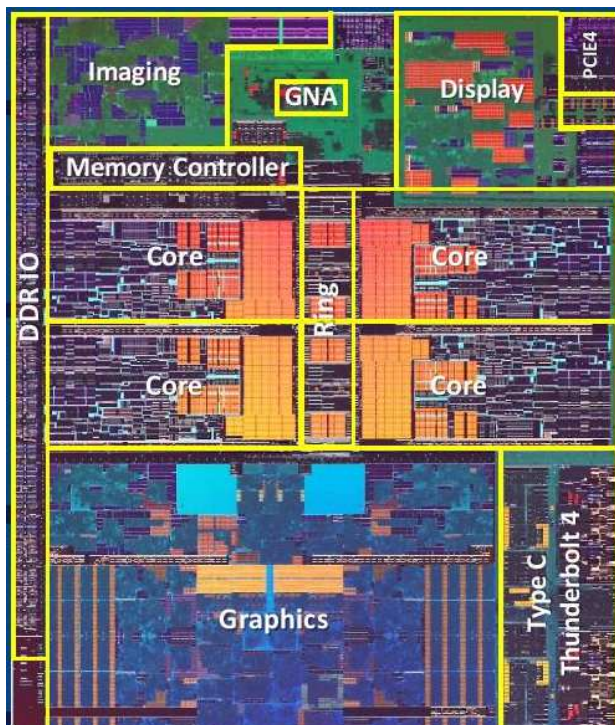


1 PetaFLOPs (2009)

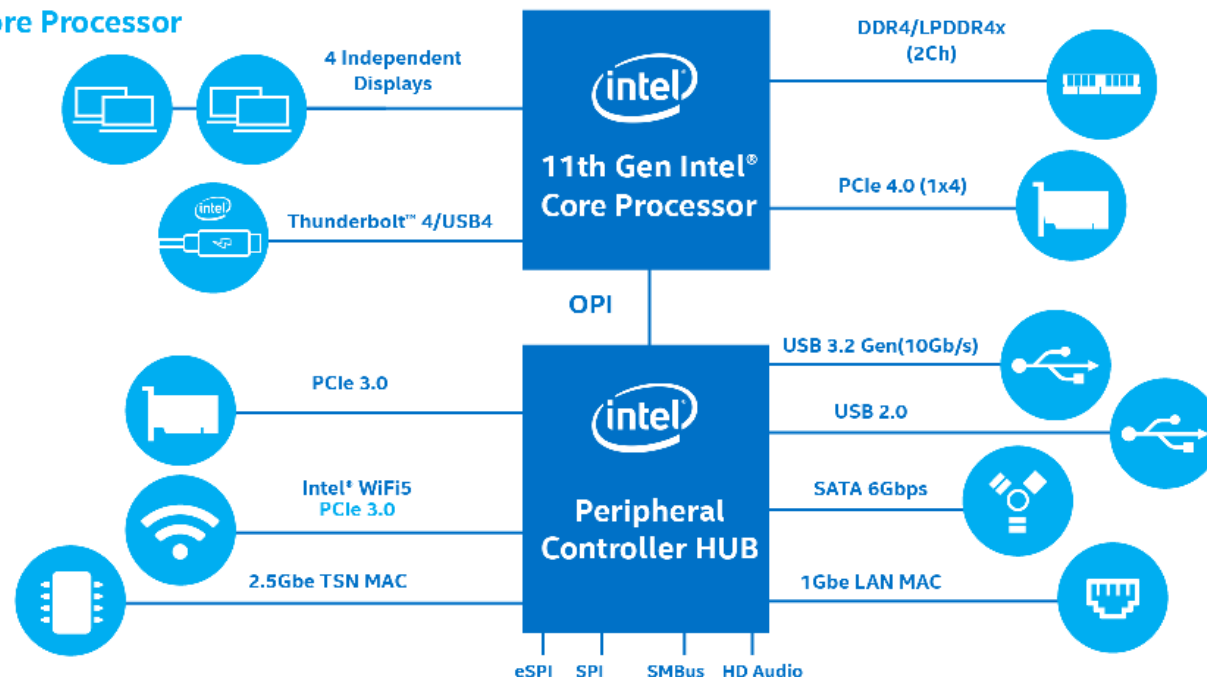




Intel „Lake” generációk



11th Gen Intel® Core Processor



2017. **Kaby Lake**, 7.generációs APU – teljes „brand” paletta (még **TIC-TOC** stratégia: 2/4/8 mag, 14nm, 4+ GHz, 30-95 W, 1151 lábú tokozás)

2017. **Coffee Lake**, 8.gen., már **PAO**, 14nm, 4/6 mag, 65-95W, 4+ GHz

2018. **Coffee Lake Refresh**, 9. gen. (14 nm, 8 mag, 3.6 GHz, 95W)

2019. **Ice Lake**, 10.gen (10 nm, 4 mag, 4+ GHz)

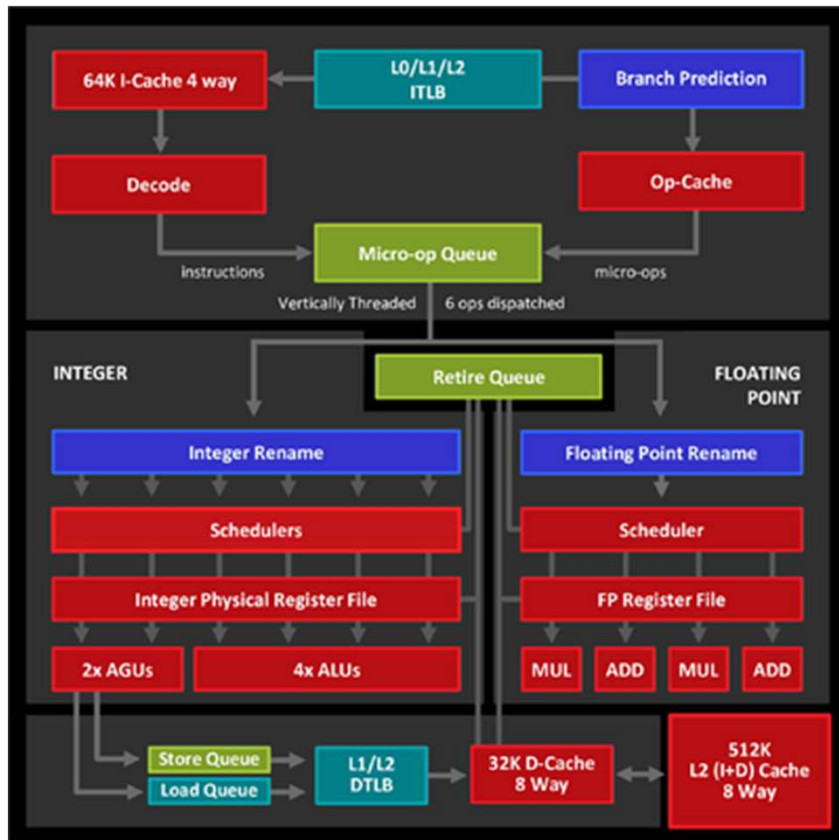
2020. **Tiger Lake**, 11.gen (10+ nm, 4 mag, Intel Iris Xe grafikus vezérlők, 15-30 W)

2022. **Alder Lake**, 12.gen (Intel 7 nm), új hibrid CPU: P-cores, E-cores

2023. **Raptor Lake**, 13.gen (7 nm?), hibrid CPU → Raptor Lake Refresh, 14.gen (32 mag, 6GHz)

2024. **Meteor Lake** – 14. gen „Core Ultra-5-7-9”, (7nm)

AMD Ryzen (ZEN 1/2/3/4 gen)



APU ≠ CPU



2017: **AMD Ryzen 3/5/7, 1.gen ZEN** architektúra, 4/6/8...16 mag – 8/12/16...32 szál, 14nm, 3-4.2 GHz, 5 milliárd tranzisztor, L3 \$: 8-16-32 MB, TDP: 65W – 100 W...180W, 1331 lábú tokozás), \$100-1000

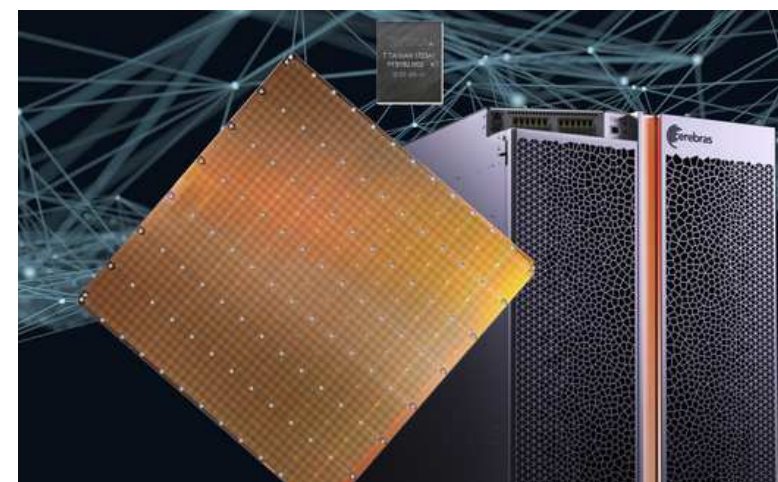
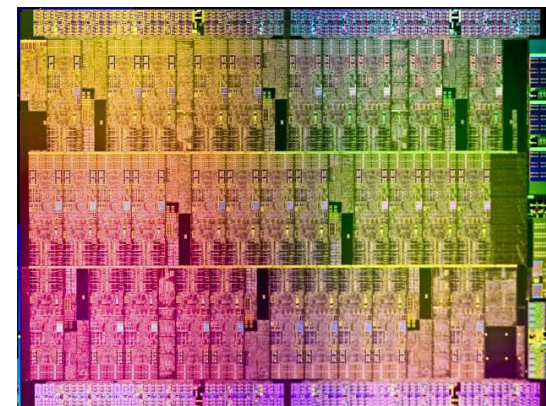
2019: **AMD Ryzen-2 3/5/7/9 (2X00/3X00) 2. gen ZEN-2** architektúra (akár max 64 mag/128 szál, L3\$: 288MB!, 3-5 GHz).

2020: **AMD Ryzen-3 5/7/9 (5x00X) 3. gen ZEN-3** arch, 6/12 – 16/32 mag/szál (L3\$, 65W-100W TPD), 3.5-4.9 GHz

2022: **AMD Ryzen-4 5/7/9 (7x000X) 4. gen ZEN-4** arch 16/32 mag/szál 4.6-5.6 GHz (TPD 170W!)

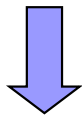
Many-integrated cores

- Intel Xeon Phi 3100/5110/7120 (Knights Corner, Hill, Mill ...)
 - 1-1.2 TFLOPs, 12 mag, 22 nm, max 320 GB/sec memória sávszélesség, 300 W, 2000-4000 \$
 - Tianhe-2 (2013) Top 1.
- Intel Knights Landing: Xeon Phi „v2” (2015)
 - 14 nm, 3 TFLOPs **72 magos** (Intel Atom), 500 GB/sec memória. 200 W
- 2021 - Világ „legnagyobb processzora”
 - **Cerebras-CS1** „óriás chip”:
 - **1 200** milliárd tranzisztor (21 cm²!!)
 - 400.000 optimalizált AI mag, 20 KWh
 - Cerabras-CS2 ?, 7nm (46 cm²!)
 - 2 500 milliárd tranzisztor
 - 850 000 AI core

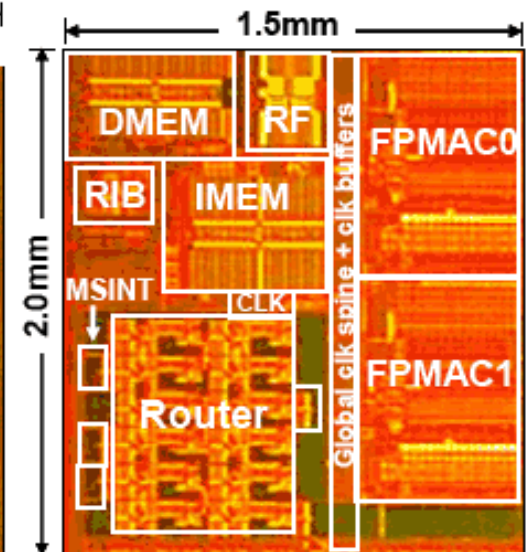
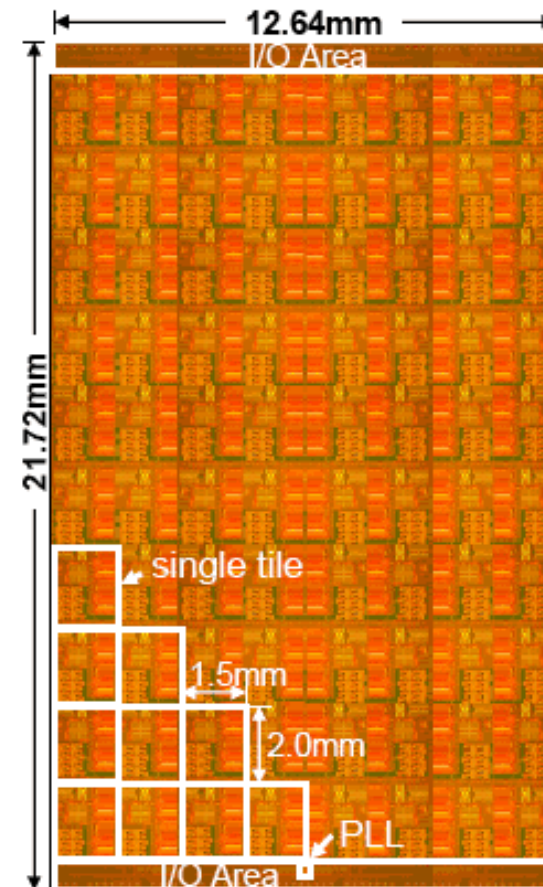
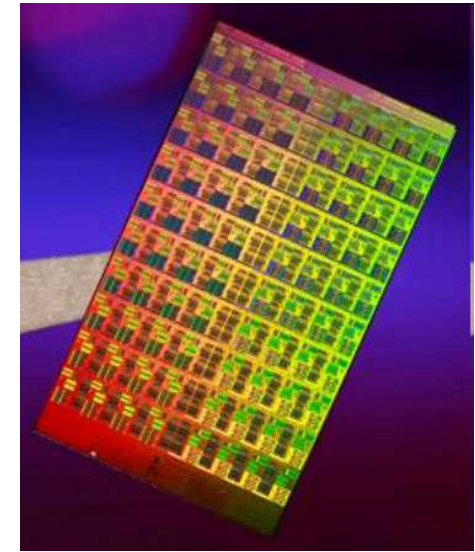
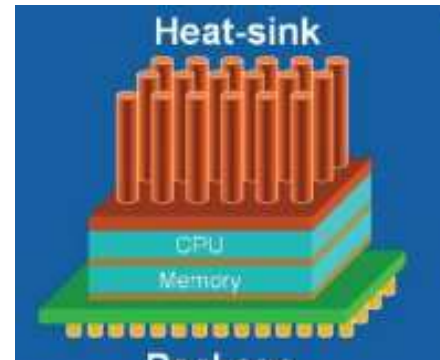


Intel Nehalem-EX: 80 mag

- ISSC'2007
- Polaris: 80 mag
 - 65 nm technológia
 - 3D rétegszerkezet
- 1 TeraFLOPs.
- 4 - 5.1 GHz
 - 100 – 175 W



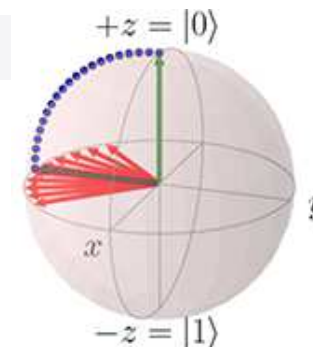
- Intel Core i7 EE 980x
 - 32nm
 - 3.3 GHz
 - 6 mag / 12 szál
 - 2.2 milliárd tr.



Technology	65nm CMOS Process
Interconnect	1 poly, 8 metal (Cu)
Transistors	100 Million
Die Area	275mm ²
Tile area	3mm ²
Package	1248 pin LGA, 14 layers, 343 signal pins

Más alternatíva:

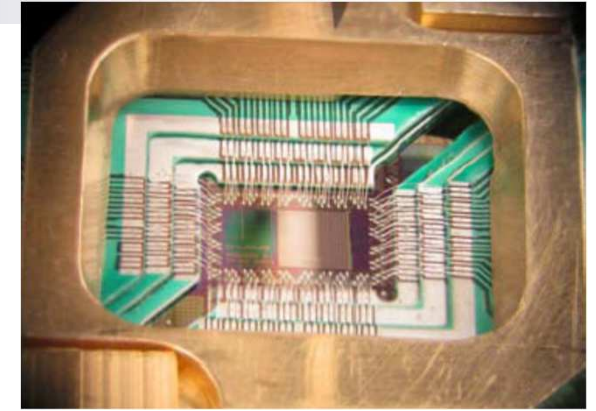
Kvantumszámítógépek



- A *hagyományos* számítógépeknél a tranzisztorok számának megduplázódása duplájára növeli a gép teljesítményét (~Moore-törvény szerint *lineáris* növekedés)
- A **kvantumszámítógépeknél** minden egyes kvantumbit (qubit) hozzáadása megduplázza (*hatványozza*) a gép teljesítményét (!)
 - „**qubit**” = **kvantumbit**, a kvantum-számítás alapegysége, amellyel Boole algebrában ismert ‘0’ és ‘1’ állapotok két normalizált és kölcsönösen ortogonális kvantum állapot-pár szuperpozíciójával ábrázolhatók $\{ |0\rangle, |1\rangle \}$ (egyszerre lehet mindkettő, ill. 0-1 között bármely átmenet lehetséges)
 - Egy kvantumbitet úgy érdemes elképzelni, mint egy gömböt. A klasszikus bitek ennek a gömbnek mindig egy-egy meghatározott pontján találhatóak, a kvantumbitek viszont bárhol lehetnek ezen a gömbön belül. Emiatt egy kvantumbit jóval több információt tárolhat, de kisebb energiafelvétel mellett!

Más alternatíva:

D-Wave Kvantumszámítógép



- D-Wave One System (2009): 128 qubit
- D-Wave Two (2012): 512 qubit
- D-Wave 2X (2015): 1000+ qubit
- D-Wave 2000Q (2017): 2000+ qubit (~ **15 m\$**)
- D-Wave 5000+Q (2020): 5000+ qubit
- Félvezetők helyett szupravezető fémet használnak mágneses vákuumban: niobium (ultra alacsony hőmérsékleten $T = -273\text{ C}^\circ$, $P = 25\text{ kW!}$)
- HPC: High Performance Computing alkalmazásokra, Cloud
 - parallel-, elosztott számítási struktúra
 - Big data analysis - Optimization – Classification - Machine learning etc.
- Támogatók: Google, NASA, Lockheed CIA, Amazon...



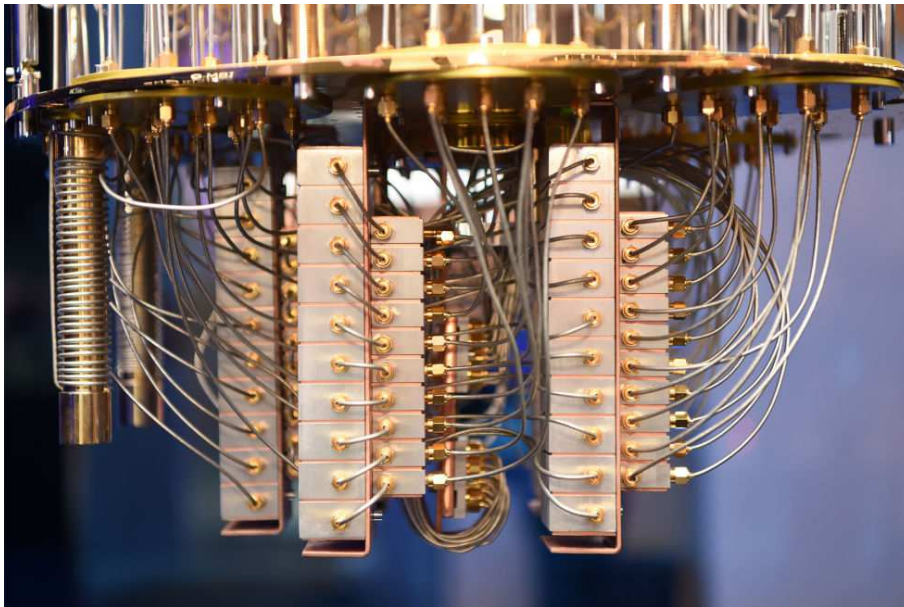
<http://www.dwavesys.com>

http://index.hu/tech/2016/08/18/programozhato_kvantumszamitogep

http://index.hu/tech/2014/10/15/a_kvantumszike_es_a_kiserteties_kapocs/

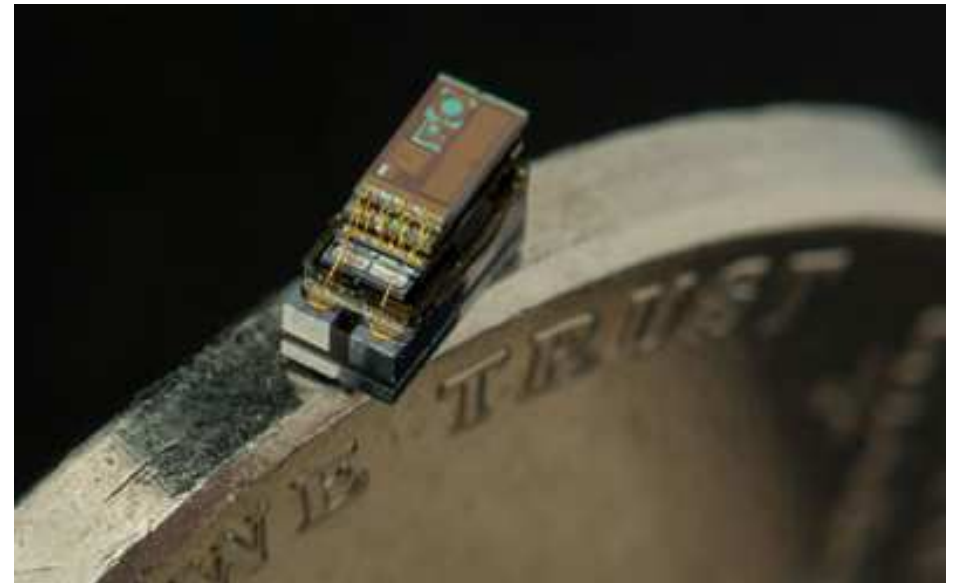
Más alternatíva: **IBM Q System One/Two** - Kvantumszámítógép

- IBM Q (2017-): prototípus 50 qubit (IBM Research USA, CERN)
 - Szimulátor, SDK támogatás
 - Q Network: Cloud támogatás
- Első integrált kereskedelmi célú kvantumszámítógépe (2019 – CES): 20 qubit ...
- 2022: IBM Osprey, 433 qubit

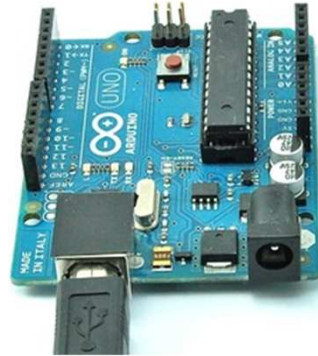


„Világ legkisebb számítógépe”

- 2018. jún (University of Michigan, USA)
- **M³ : Michigan Micro Mote: smart-sensor**
 - Hőmérséklet, nyomás,
 - Képalkotó szenzor (160x160 pixel)
 - 1 mm² felületű!
 - 2 nA disszipáció (standby mód)
 - CPU + MEM + PWR
RF, battery



„Legnépszerűbb” eszközök: Arduino vs. Raspberry Pi



■ **Arduino** – Atmel/Microchip MCU alapú fejlesztő kártya

- Kisebb órajelű (~x10 MHz) MCU mag, kis belső memória, kis bitszélesség (8-, 16 bit)
- Nincs külső memória, nincs OS kezelése, nem real-time eszköz.
- Jó bővíthetőség: „shield”-ek
- Főként egyszerű szabványokat, GPIO-kat kezel, van ADC.
- Olcsó, népszerű, rengeteg szenzor illeszthető, de kisebb komplexitású fejlesztési célokra.
Ára: \$5-15 (platform függő)



■ **Raspberry Pi** – ARM alapú általános célú sz.gép, fejlesztő kártya („single board computer“)

- Dedikált, nagy órajelű CPU magok (ARM 32/64 bit ~x100 MHz, memória (DDR3), GPU mag, HDMI stb.
- Bővíthetőség: SDCard (OS boot), WIFI, BLE, CamIF, de nincs ADC.
- OS/RTOS (HW-es) kezelése
Nagyobb komplexitás, több funkció, de drágább.
- Ára: \$ 30- 50 (platform függő)



Programozható **logikai** áramkörök

(PLD-k = Programmable Logic
Devices)

PLD-k két fő típusa:

■ 1.) **Makrocellás** PLD-k: (Programmable Logic Devices):

- ☐ PLA: }
- ☐ PAL: } **1x programozható (OTP)**
- ☐ GAL: }
- ☐ **CPLD:** } **Többször programozható**

■ 2.) **FPGA** (Field Programmable Gate Array): Programozható Gate Array áramkörök

- ☐ **AMD-XILINX** (Spartan, Virtex, Kintex, Artix) ~ 53 % !  
- ☐ **Intel-FPGA(Altera)** (Stratix, Arria, Cyclone), ~ 36 % 
- ☐ MicroSemi-Actel (pl. úrkutatásban), 8% 
- ☐ Lattice sorozatok, 3% 
- ☐ QuickLogic, 
- ☐ További kisebb gyártók termékei.



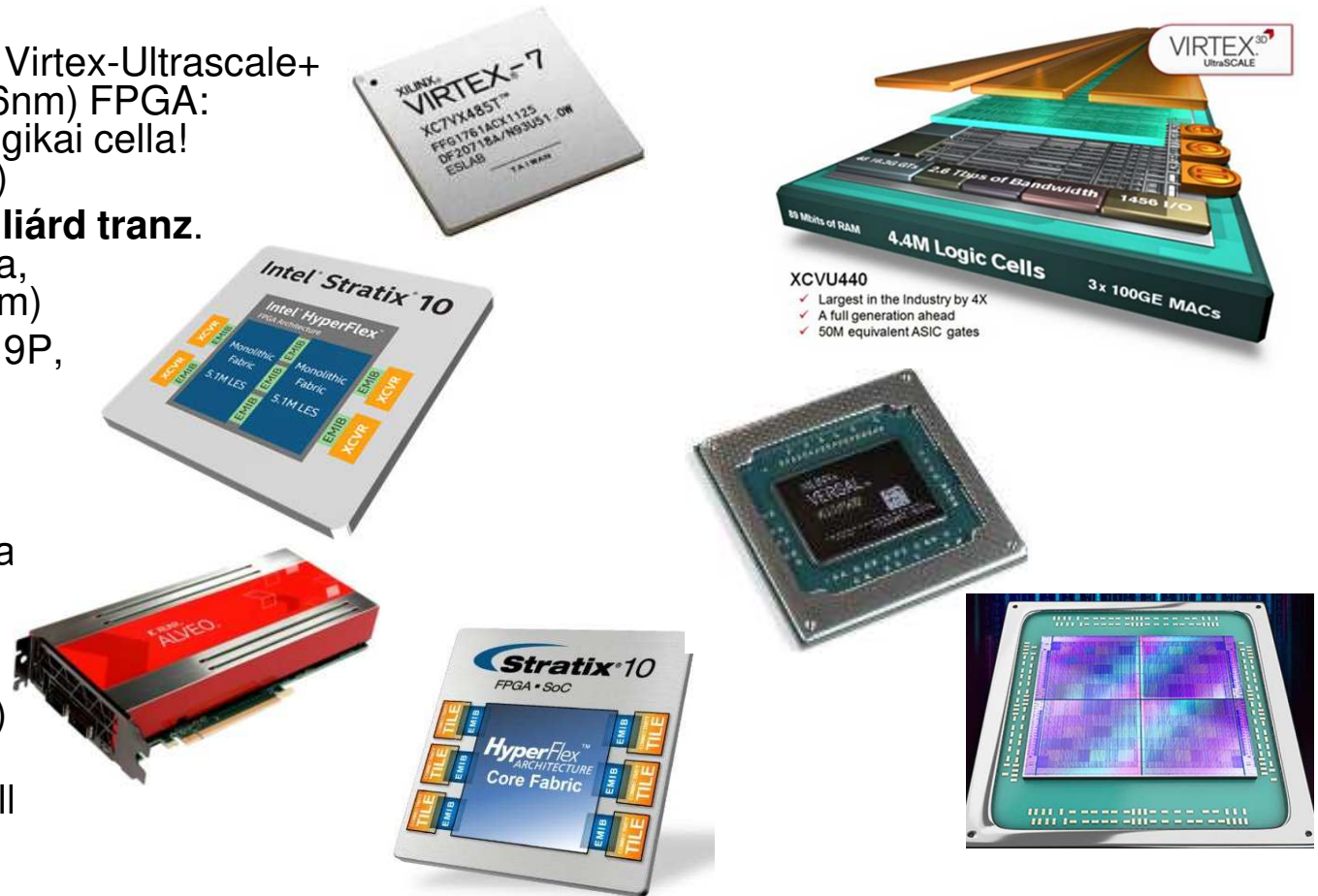
FPGA

Field Programmable Gate Array = „Felhasználó által tetszőlegesen/többször” programozható kapuáramkör

- architektúráisan tükrözi mind a PAL, ill. CPLD felépítését, komplexitásban pedig a CPLD-ket is felülmúlják. Nagy/nagyon-nagy integráltsági fok: ~10.000 - ~10.000.000 *ekvivalens logikai kaput* is tartalmazhat gyártótól, és sorozattól függően.

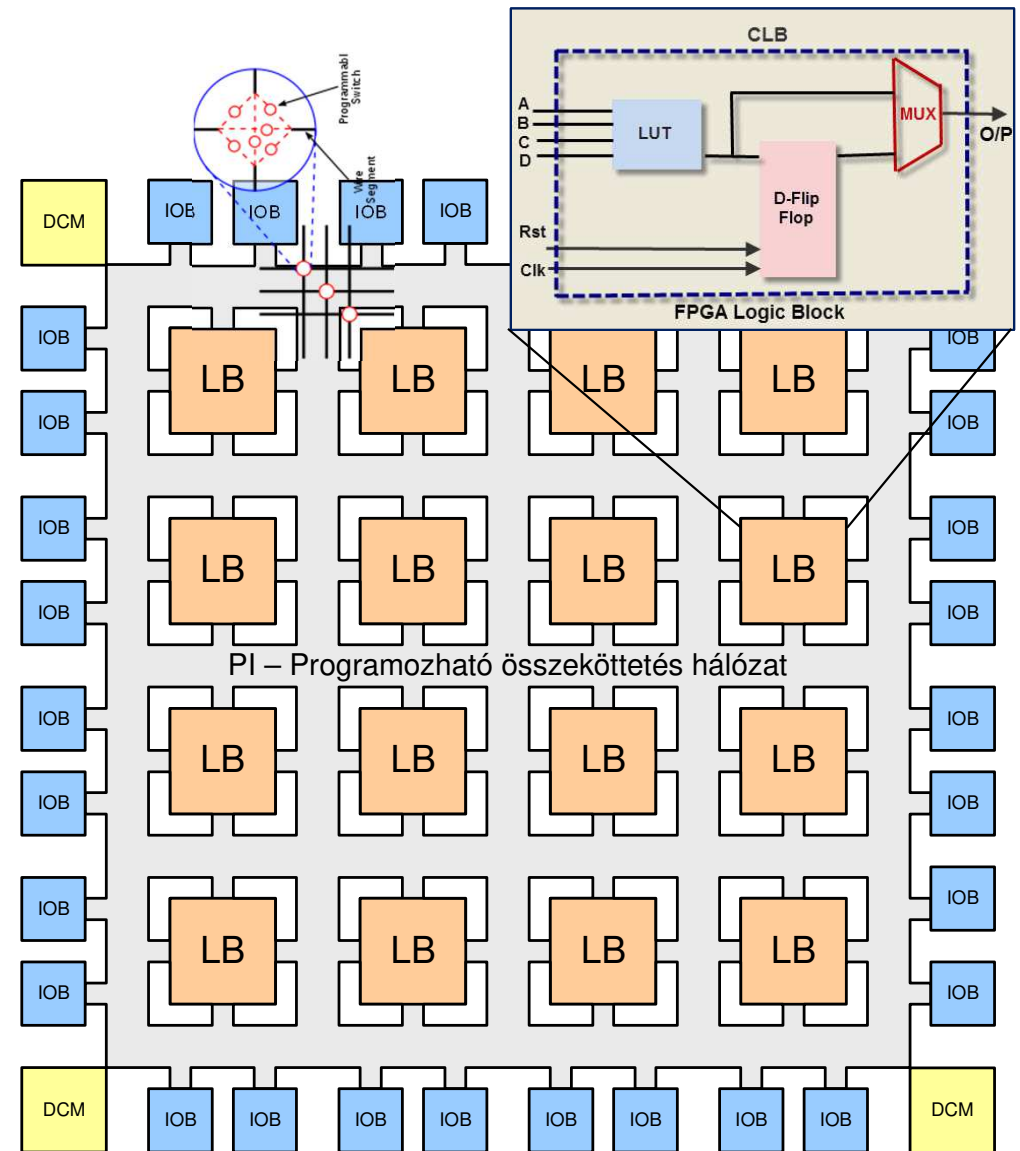
- *Ekvivalens tranzisztorszám*

- Xilinx Virtex-7 2000T FPGA esetén már meghaladta a **~6.5 milliárdot** (2012 – 28nm), amely **~2 millió** logikai cellát jelentett.
- a kapható legnagyobb Xilinx Virtex-Ultrascale+ XCVU440 (2015 – 20nm->16nm) FPGA: **20 milliárd tr.** - **~4.4 millió** logikai cella! (~ 50 millió logikai kapu ekv.)
- Intel/Altera Stratix-10, **30 milliárd tranz.** (2016, ~**5.5 millió** logikai cella, 4mag ARM-Cortex A53, 14nm)
- Xilinx Virtex Ultrascale+ VU19P, **35 milliárd tranz.**, 16 nm (2019, ~**9 millió** logikai cella)
- Intel Stratix-10 GX 10M **43.3 milliárd tranz.**, 14 nm (2020, **10.2 millió** logikai cella Dual FPGA mag!
- Xilinx Versal ACAP **50 milliárd tranz.** 7nm. (2020, **7.4 millió** logikai cella)
- AMD Versal VP1902 SoC (2024?, **18.5 millió** logikai cell Quad FPGA mag!



FPGA: „általános” erőforrások

- **LB/CLB:** Konfigurálható Logikai Blokkok, amelyekben LUT-ok (Look-up-table) segítségével realizálhatók például tetszőleges, több bemenetű (ált. 4 vagy 6), egy-kimenetű logikai függvények. Ezek a kimeneti értékek szükség esetén egy D flip-flopban tárolhatók el; továbbá multiplexereket, egyszerű logikai kapukat, és összeköttetések is tartalmazznak.
- **IOB:** I/O Blokkok, amelyek a belső programozható logika és a külvilág között teremtenek kapcsolatot. Programozható I/O blokkok kb. 30 ipari szabványt támogatnak (pl. LVDS, LVCMOS, LVTTL, SSTL stb.).
- **PI:** az FPGA belső komponensei között a programozható összeköttetés hálózat teremt kapcsolatot (lokális, globális és regionális útvonalak segítségével, melyeket konfigurálható kapcsolók állítanak be)
- **DCM:** Digitális órajel menedzselő áramkör, amely képes a külső bejövő órajelből tetszőleges fázisú és frekvenciájú belső órajel(ek) előállítására



FPGA – „dedikált” erőforrások

Dedikált erőforrások a következők (amelyek az FPGA típusoktól és komplexitásuktól függően nagy mértékben változhatnak):

- **BRAM**: egy/két portos Blokk-RAM memóriák, melyek nagy mennyiségű ($\sim \times 100\text{Kbyte}$ – akár $\sim \times 10\text{Mbyte}$) adat/utasítás tárolását teszik lehetővé, egyenként 18K / 36 Kbites kapacitással *
- **MULT** / vagy **DSP** Blokkok: beágyazott szorzó áramköröket jelentenek, amelyek segítségével hagyományos szorzási műveletet, vagy a DSP blokk esetén akár bonyolultabb DSP MAC (szorzás-akkumulálás), valamint aritmetikai (kivonás) és logikai műveleteket is végrehajthatunk nagy sebességgel.
- **Beágyazott/Beágyazható processzor(ok)****:
 - Tetszés szerint konfigurálható / beágyazható ún. *soft-processzor mag(ok)*
 - Példa: Xilinx PicoBlaze, **Xilinx MicroBlaze**, Altera Nios II stb.
 - Fixen beágyazott, ún. *hard-processzor mag(ok)*
 - Példa: IBM PowerPC 405/450 (Xilinx Virtex 2 Pro, Virtex-4 FXT, Virtex-5 FXT), **ARM Cortex A9 (Xilinx Zynq, illetve Altera Cyclone V, Stratix V, Arria V, MicroSemi Smartfusion-1,-2 FPGA chipjei),**) stb.

* FPGA függő adatok (Xilinx)

„FPGA” témájú tárgyak a Pannon Egyetemen – VIRT tanszék

Mérnök informatikus BSc-MSc / Villamosmérnök BSc képzés

- Tervezési módszerek programozható logikai eszközökkel - VHDL (őszii félév)
- FPGA-alapú beágyazott rendszerek (tavaszi félév)

