

## Neumanntól a HPC-ig

Dr. Máray Tamás, Dr. Szeberényi Imre

[maray.tamas@kifu.hu](mailto:maray.tamas@kifu.hu), [szeberenyi.imre@vik.bme.hu](mailto:szeberenyi.imre@vik.bme.hu)

## Mi a szupergép? Grid? Felhő? Van kapcsolat?

### Szupergép:

Olyan számítógép (rendszer), ami komplex feladatokat az adott technológiai szinten az átlagtól sokkal gyorsabban – eredmény szempontjából releváns idő alatt – képes megoldani.

### Felhő:

Számítógépes erőforrások (szerver, tároló, hálózat, ...) és szolgáltatások igény szerinti, kényelmes, helyfüggetlen elérése és létrehozása oly módon, hogy a szolgáltatónak az csak minimális erőfeszítésébe kerül.

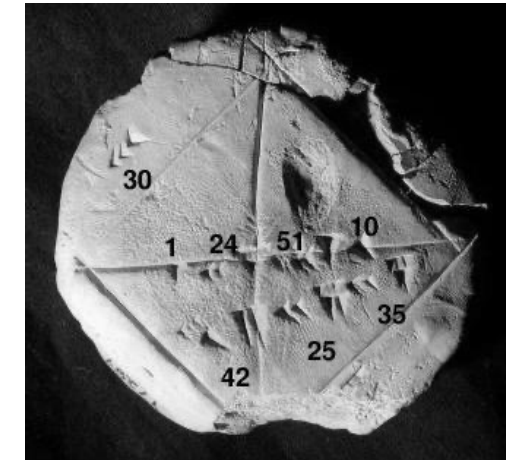
Van olyan felhő- vagy webszolgáltató, aki szupergépet használ a szolgáltatásához.

### Grid:

Koncepciója azonos a felhővel. A megvalósítás és az üzleti modell más. Lényegében a felhő elődje.

## Történelmi áttekintés

- Számítógépek korai fejlődése szoros kölcsönhatásban állt/áll numerikus módszerek fejlődésével és alkalmazásával, hiszen numerikus módszerek több ezer éve foglalkoztatják az emberiséget.
- Az első számítógépek felhasználási területe is a numerikus analízis, modellezés, rejtjelezés volt.
- Az egyre nagyobb számítási teljesítmény olyan módszereket szül melyek korábban senkinek sem jutottak eszébe, vagy nem volt gyakorlatban megvalósítható.
- Gondolhatunk itt pl. a Rihardson-féle „forecast-factory”-ra, ami 64 ezer embert használt volna egy 24 órás időjárás előrejelzés kiszámítására.



Babilóniai agyagtábla  $\sqrt{2}$  becslésére (i.e.1800)  
Fotó: wikipedia

## Történelmi áttekintés /2

- A számítógépek számítási teljesítményének növelésének egyik eszköze a párhuzamosítás, amit már a kezdetektől alkalmaznak a mérnökök.
- Neumann korában felmerült a párhuzamosítás az ötlete (Daniel Slotnick, 52), de a csöves technológia nem tette ezt lehetővé. Egy anekdota szerint Neumann válasza az ötletre szimplán ez volt: „too many tubes”.



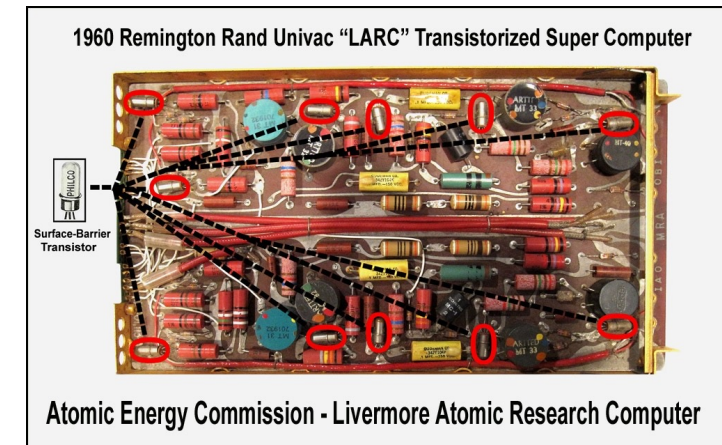
Fotó: wikipedia

## Super Computing

Az elnevezés 1929-ből származik (IBM, tabulátorok).

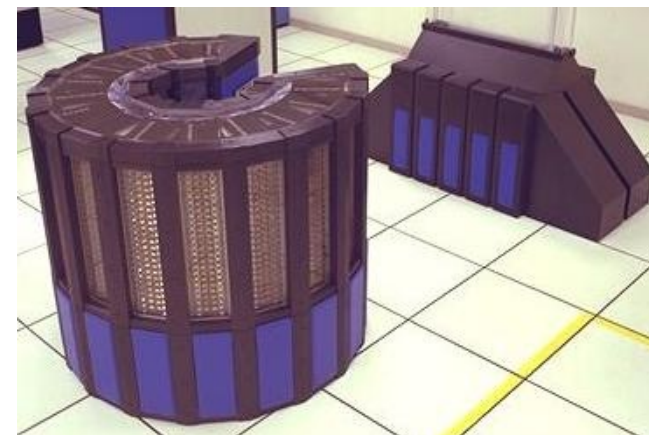
### Néhány korai szuperszámítógép:

- 1960 – UNICVAC LARC, 250 kIPS
  - hidrodinamikai szimuláció (Teller Ede)
- 1961 – IBM 7030, 1.2 MIPS, Los Alamos
- 1967 – ILLIAC IV (256 proc, 200 MFLOPS)
- 1975 – Cray-1 (vektor proc, 160 MFLOPS)
- 1980 – Connection Machine CM-1
  - 65 ezer 1 bites proc.



UNIVAC modul.

Fotó: wikipedia

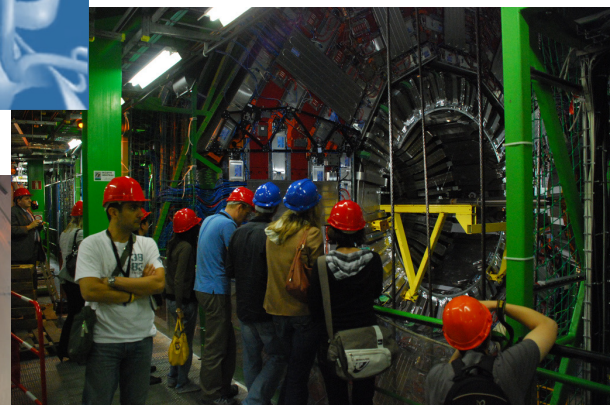
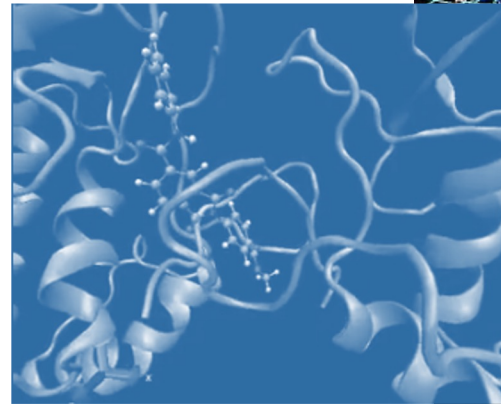
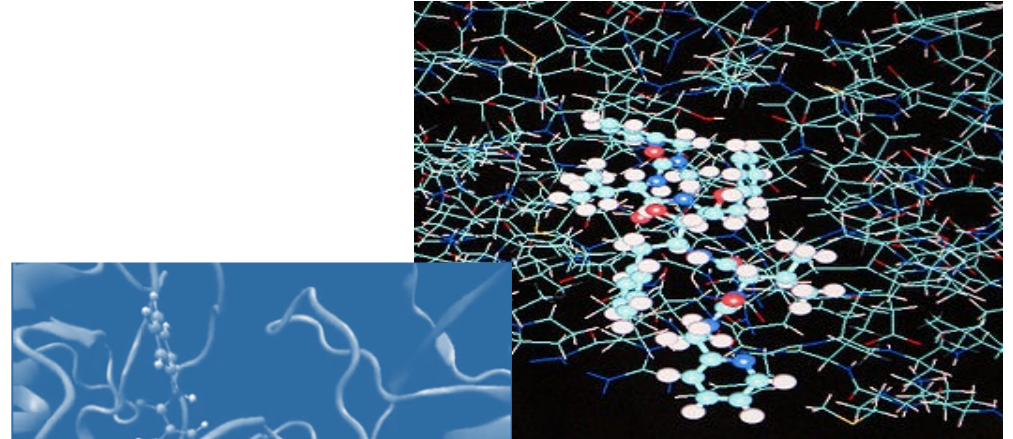


Folyadékhűtéses  
Cray-2

Fotó: wikipedia

## Mire használják?

- Modellezés
  - időjárás, környezet, gyógyszerek, betegségek
  - előrejelzések (földrengés, tűzhányók, globális felmelegedés, aszteroida)
  - mechanika
- Szimulációk
  - tervezés, gyártás
  - bioinformatika, gyógyszerkutatás
  - részecskefizika
  - univerzum kutatása
- Felhő és webszolgáltatások
  - pl. Facebook



## Könnyű használni?

- Többnyire parancssoros interfésze van, ami a GUI-hoz szokott kezdőket elriasztja.
- Operációs rendszer kizárólag valamilyen UNIX/Linux változat.
- Vannak grafikus interfészek is, de még nem született igazán rugalmas a CLI-t helyettesítő megoldás.
- Erőforrásokat igényelni, allokálni kell.
  - Ehhez speciális jobleírókat kell készíteni, amiben meg kell adni, hogy milyen erőforrásokat, mennyi ideig akarunk igénybe venni.
  - Ütemező ütemezi a beküldött jobokat. Nem feltétlenül indul el azonnal.
  - Futás végéről értesítést küld.

## Teljesítmény, teljesítménymérés

- Végrehajtott utasítások száma / sec
  - kIPS, MIPS, ...
- Végrehajtott lebegőpontos műveletek száma / sec
  - kFlops, MFlops, GFlops, TFlops, PFlops, EFlops ( $10^{18}$ )
- Elméleti: Órajel alapján számított
- Mérés: Benchmark programokkal
  - LINPACK – Jack Dongara,
    - TOP 500 lista 1993-tól
    - GREEN 500 lista 2013-től (GFlops/W)
  - HPCG (High Performance Conjugate Gradients) – új komplex teszt



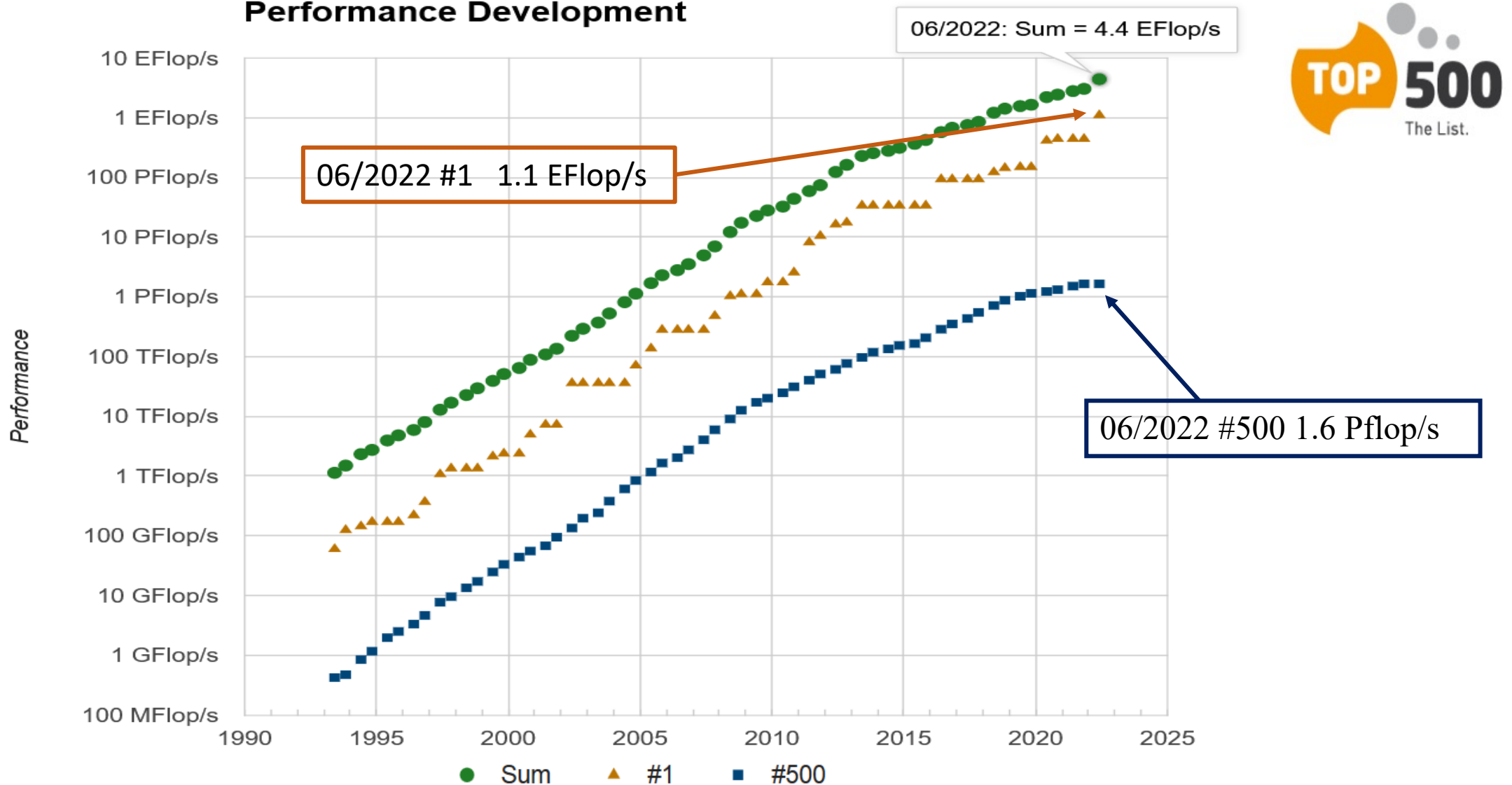
# HTE INFOKOM 2022

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	<b>Frontier</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,730,112	1,102.00	1,685.65	21,100
2	<b>Supercomputer Fugaku</b> - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899
3	<b>LUMI</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE EuroHPC/CSC Finland	1,110,144	151.90	214.35	2,942



**2022 Júniusi lista**

## Performance Development



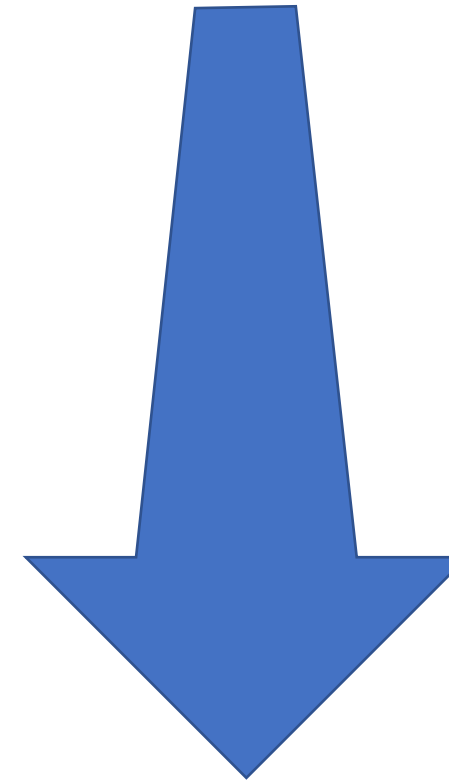
## Fejlődés háttere

- Félvezetőgyártásban nagyobb elemsűrűség
  - 1971: 10 $\mu$ m, 1984:1 $\mu$ m, 2001: 130nm, 2020: 5nm, 2022: 3nm, 2024: 2nm
- Hálózati technológiák fejlődése
  - Sávszélesség, késleltetés
- Tárolók fejlődése
  - Adatátviteli sebesség, kapacitás
- Memóriák fejlődése
  - R/W sebesség, kapacitás
- Gyorsítókártyák megjelenése, fejlődése
  - FPGA, Phi, GPGPU,

## Architektúra osztályok

- Vektor processzoros gépek
  - vektor jellegű adatokra optimalizált műveletek
  - egy operációs rendszer
- Szimmetrikus multiprocesszoros (SMP)
  - sok azonos processzor közös memóriával
  - egy operációs rendszerrel
  - NUMA, ccNUMA
- Masszívan párhuzamos (MPP)
  - sok processzor gyors belső hálózattal
  - elosztott memória
  - sok példányban fut az operációs rendszer
- Klaszter
  - sok gép gyors hálózattal összekötve
  - elosztott memória
  - sok példányban esetleg heterogén operációs rendszer

Jellemző teljesítmény-részesedés/  
architektúra



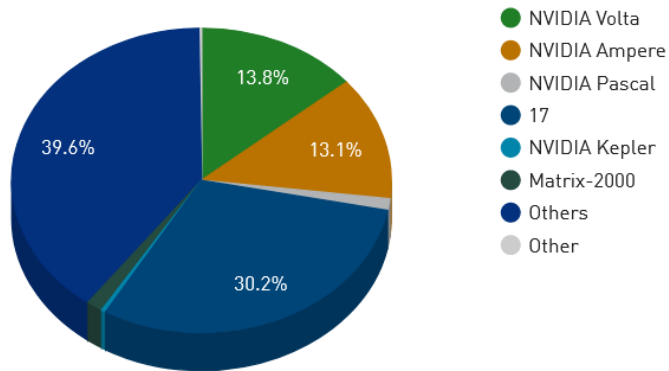
Idő

1993

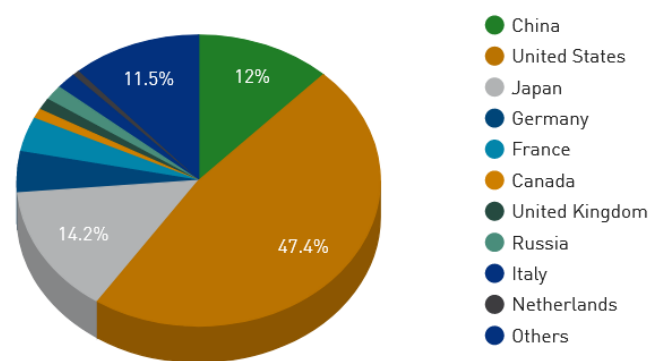
2022

## Néhány érdekes statisztikai adat a 2022-es listából

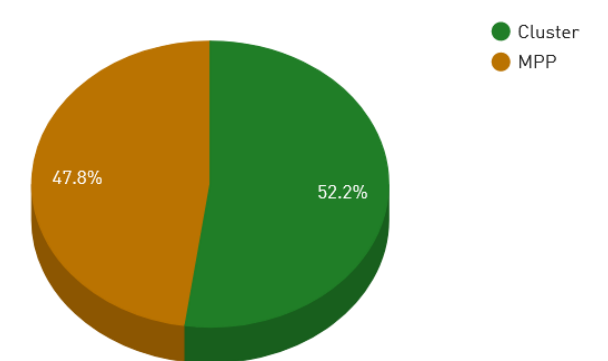
Accelerator/CP Family Performance Share



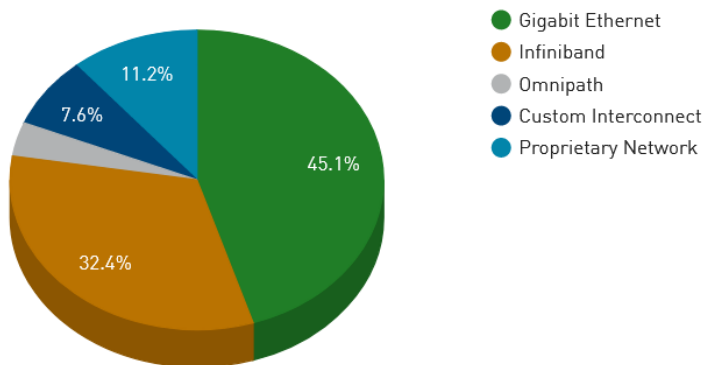
Countries Performance Share



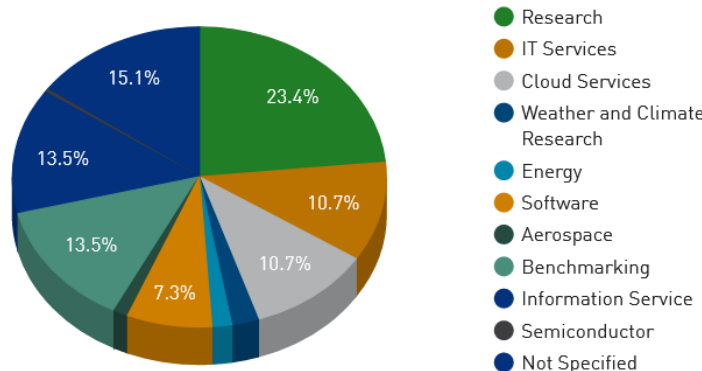
Architecture Performance Share



Interconnect Family Performance Share



Application Area Performance Share



„To compete, you must compute”

a globális verseny:

Amerika vs. Ázsia vs. Európa

## USA

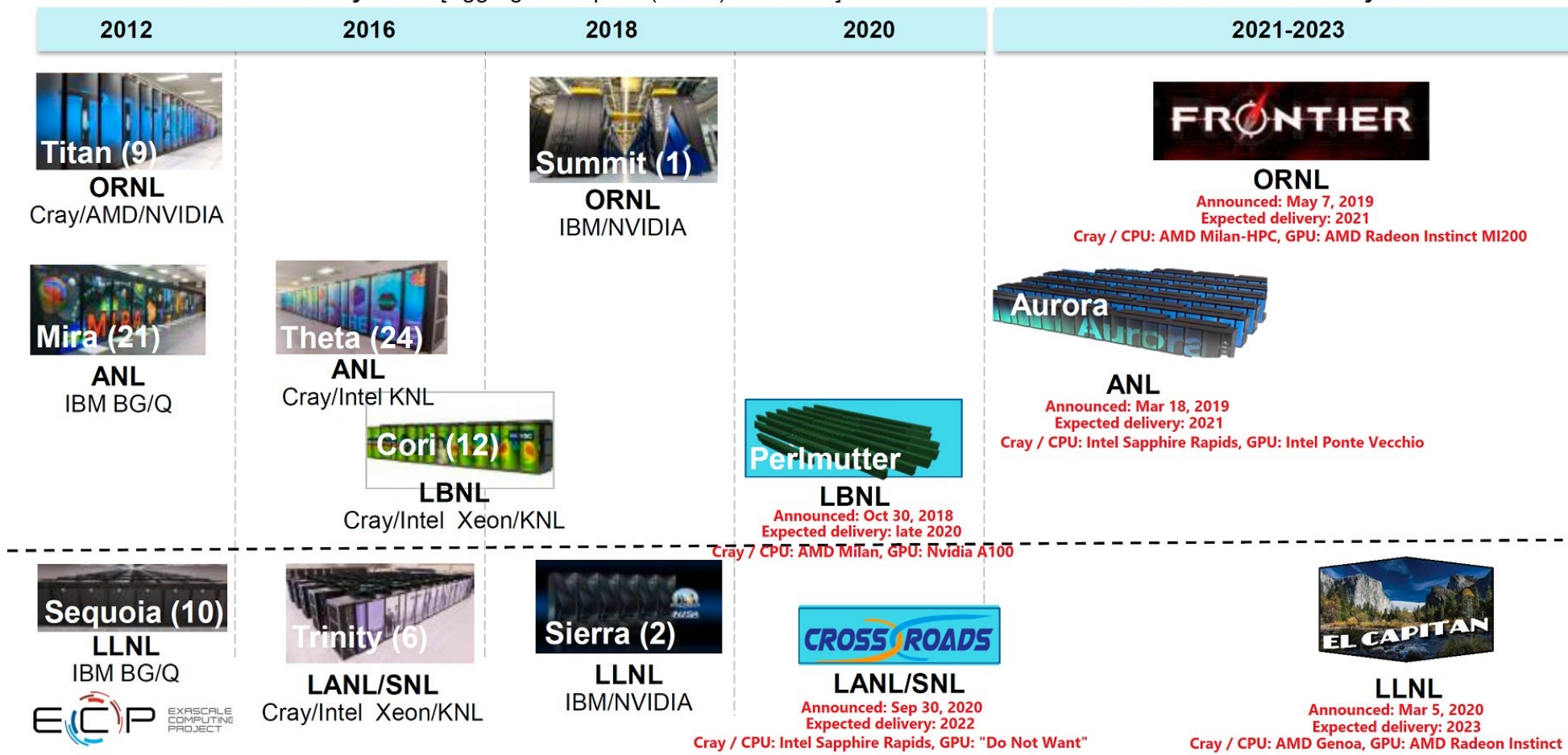
- A világ teljes HPC kapacitásának kb. 50%-a van az USA-ban
- Hagyományos vezető szerep, TOP500 dominancia
  - HW és SW technológiában, fejlesztésben
  - gyártókban
  - infrastruktúra építésben
  - alkalmazásokban
- 2015 White House – National HPC Strategy (NSCI)
  - <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/07/29/executive-order-creating-national-strategic-computing-initiative>
  - <https://www.whitehouse.gov/blog/2015/07/29/advancing-us-leadership-high-performance-computing>
- Race to exascale – az eredeti cél: 2020-ra exaflop

## Department of Energy (DOE) Roadmap to Exascale Systems

An impressive, productive lineup of *accelerated node* systems supporting DOE's mission

Pre-Exascale Systems [Aggregate Linpack (Rmax) = 323 PF!]

First U.S. Exascale Systems



Forrás: DOE, USA



## Frontier

- A világ első, működő exaflop kategóriájú szuperszámítógépe
- 2022, Oak Ridge National Laboratory
- 1,1 Exaflop/s (Rmax) ( $10^{18}$  művelet/sec)
- HPE Cray
- AMD Epyc CPU (606 ezer core) + AMD Radeon GPU (8,3 millió core)
- 700 PB storage
- 21 MW – energiahatékonyság: Green500 no.1)
- Költség: \$600 millió
- <https://www.olcf.ornl.gov/frontier/>

The  
**GREEN**  
500



Fotó: wikipedia

## Mennyi 1,1 Exaflop/s?

- $\sim 10^{18}$  tört szám (lebegőpontos) művelet/sec
- 1,100,000,000,000,000,000
- 137,500,000 (137,5 millió) művelet a Föld mind a 8 mrd lakosára. Másodpercenként.

Mit kezdünk ezzel??



FRONTIER

## Ázsia – Japán

- Zászlóshajó: Fugaku
  - 2020, Riken
  - TOP500 no2.
  - 442 PF/s
  - ARM CPU
  - 30 MW
- 33db TOP500 japán rendszer (2022 jún.)



©RIKEN  
画像の無断使用・無断転載を禁じます



Fotó: Riken

## Ázsia - Kína

- Kínai HPC stratégia röviden: megelőzni az Egyesült Államokat
- Zászlóshajó: Taihu Light
  - TOP500 no.6
  - 93 PF/s
  - 2016, Wuxi
  - Sunway CPU (kínai processzor!)
- Kína birtokolja a TOP500 rendszerek csaknem felét (darabszám), ill. a kapacitás 30%-át!
- Sok „kicsi” rendszer, kevés nagyobb
- Exaflop ambíció nagyon erős
- Technológiai függés erős → függetlenedési törekvés (embargó miatt is)
- Gyártók: Inspur, Sugon, Lenovo, Huawei,



Fotó: Xinhua

## Európa?

## Európa 2020-ig

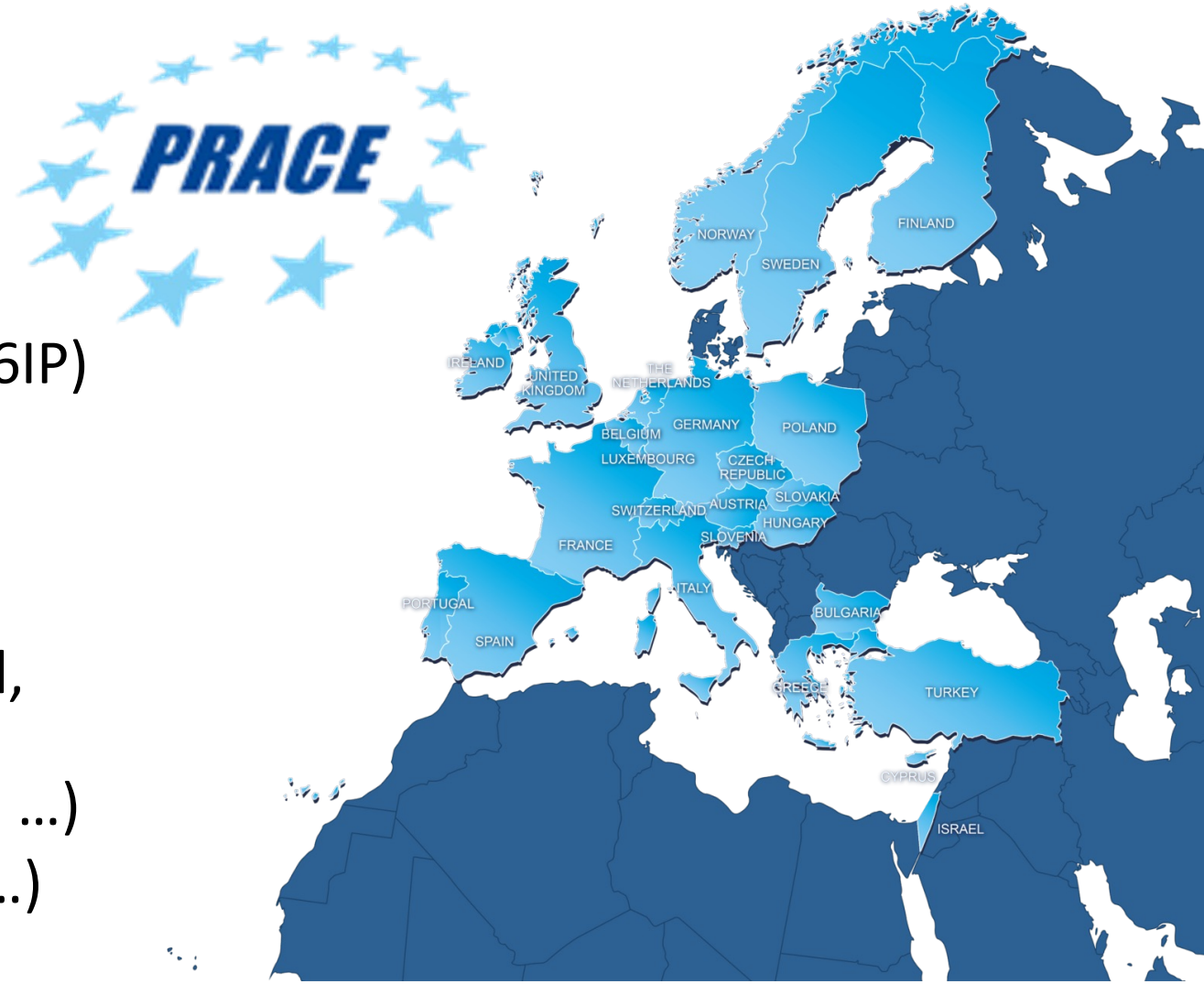
- DE, FR, CH, IT, UK, ES – a vezető országok
- 2000-2020 között egyre növekvő lemaradás USA-hoz, Ázsiához képest, főleg infrastruktúrában
- HPC „ipar” hiánya
- Hagyományosan országonként önálló fejlesztési programok folytak
- EU ösztönző programok (FP6, FP7, H2020 kereteken belül)
  - DEISA (2002 – 2011) Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications
  - PRACE (2010 -) Partnership for Advanced Computing in Europe
  - EXDCI (European Extreme Data and Computing Initiative)



**EUROPEAN TECHNOLOGY  
PLATFORM FOR HIGH  
PERFORMANCE COMPUTING**

## PRACE

- 25 EU és társult ország
- **Szakmai együttműködés**
- PRACE implementációs projektek (1IP-6IP)
- 6 Tier0 központ és ~20 Tier1 központ
- Erőforrás allokáció pályázatok útján
- Kiválósági központok (CoE)
- Oktatási program (HPC Summer School, PRACE Advanced Training Centers)
- Ipari együttműködési program (SHAPE, ...)
- Disszeminációs program (PRACEDays, ...)
- Ada Lovelace Award



# HTE INFOKOM 2022

## The new European HPC research landscape





## Új EU HPC stratégia – 2017-

- A helyzet felismerése
- Stratégiai fontosság deklarálása
- Felzárkózási program (1mrd EUR induló forrás: 2019-2022)
- Széles európai összefogás, a tagországok ösztönzése
- Teljes HPC ökoszisztéma a fókuszban (HW, SW, alkalmazások, szolgáltatások, képzés)
- Európai HPC „ipar” megerősítése
- A forma: EuroHPC

## Az EuroHPC

- Az új európai ambíció
- Javaslat: 2017 tavasz, Róma
- 2018 nov. 6 – formális megalapítás
- Cél: európai felzárkózás
- 28 ország
- Forma: Joint Undertaking (JU) – Közös Vállalat
- Governing Board: EU, kormányzati képviselők és ipari szakmai szervezetek
- RIAG – Research and Innovation Advisory Group, INFrag – Infrastructure Advisory Group
- Forrás: 1mrd EUR 4 évre (50% tagországi hozzájárulás!)
- Infrastruktúra építés: petascale, pre-exascale és exascale szuperszámítógépek
- Teljes HPC ökoszisztéma: infrastruktúra, technológia és alkalmazás fejlesztés, nemzeti HPC kompetencia központok, ipari kapcsolatok, oktatás



**EuroHPC**  
Joint Undertaking

## EuroHPC tagok

### ■ EuroHPC JU

EuroHPC JU Participating States

### 28 Participating States

Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and Turkey.



2022. 11. 09.

**EuroHPC**  
Joint Undertaking

Neumanntól a HPC-ig -- HTE Infokom 2022

## Megépült EuroHPC szuperszámítógépek

- Petascale (2021-2022)
  - SI – Vega 7 PF (Maribor)
  - LU – Meluxina 13 PF (Luxembourg)
  - CZ – Karolina 10 PF (Ostrava)
  - BG – Discoverer 4,5 PF (Sofia)
  - PT – Deucalion 7 PF (Guimarães) – még nincs átadva
- Pre-exa (2022-2023)
  - FI – Lumi 375 PF (Kajaani) – részben átadva
  - IT – Leonardo 250 PF (Bologna) – átadás előtt
  - ES – MareNostrum5 205 PF (Barcelona) – átadás 2023-ban



## EuroHPC - Lumi

- TOP500 no.3 (2022 jun.) teljes kiépítés előtt
- 152 PF -> 375 PF upgrade folyamatban
- Finnország, Kajaani
- 10 ország konzorciuma (FI,BE,CZ,DK,EE,IS,NO,PL,SE,CH)
- HPE Cray, AMD Epyc CPU + AMD Radeon GPU
- 117 PB storage
- 8,5 MW – 100% megújuló energia és free cooling
- Költség: 145 mEUR



## EuroHPC - Leonardo

- Átadás 2022 november
- Olaszország, Bologna
- Tervezett teljesítmény: 240 PF
- Konzorcium: IT, AT, SI, SK, GR, HU
- Bull Sequena
- Intel CPU, Nvidia GPU
- 100 PB storage



## Megépítendő EuroHPC szuperszámítógépek

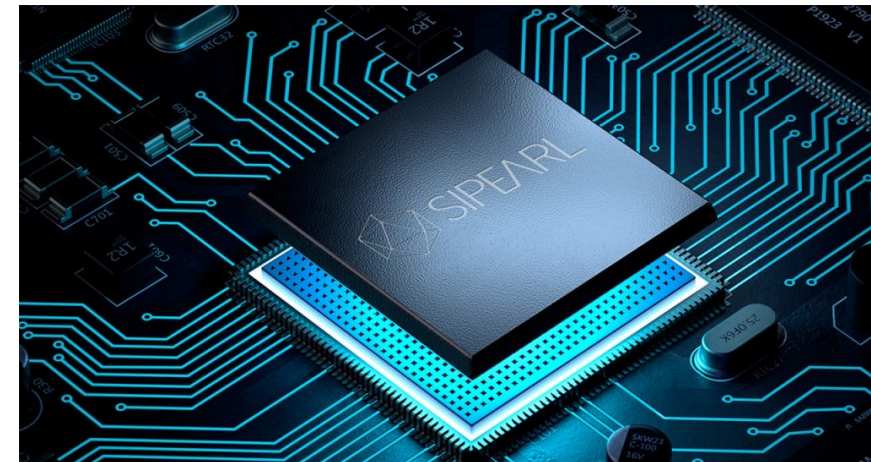
- Mid-range (>15PF) – 2023-2024
  - GR – Daedalus
  - IE – CASPIr
  - PL – EHPCPL
  - HU – Levente (?)
- Exa – 2023-2024
  - DE – Jupiter (JSC, Juelich) 1 EF

## EPI – European Processor Initiative



- 2015
- Európai processzor fejlesztés és gyártás
- 30 tagú konzorcium, 10 EU ország részvételével
- Ipari-akadémiai összefogás, EU támogatás
- Arm és RISC-V alapok
- Első működő processzor céldátum: 2023
- Megvalósításra létrehozott cég: Sipearl

*„Designing the microprocessor that will power Europe’s supercomputers.”*



Forrás: Sipearl



**Köszönjük a figyelmet!**