

Neumann Jánostól a HPC-ig

MÁRAY TAMÁS, SZEBERÉNYI IMRE

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
tamasmaray@gmail.com, szeberenyi.imre@vik.bme.hu

Kulcsszavak: szuperszámítógép, szuperszámítástechnika, HPC, felhő, EuroHPC, PRACE, szupergépek fejlődési trendjei, Komondor

Mostanában gyakran hallunk a szuperszámítástechnikáról. Szuperszámítógépek azonban nagyon régóta léteznek.

Történetük már a kezdetektől fogva követi a számítástechnika fejlődését.

De mi különbözteti meg a szuperszámítógépeket a hagyományos számítógépektől? És a „felhőtől”? Miért van szükség a használatukhoz speciális ismeretekre? És miért kell mostanában beszélnünk róluk? Mi az oka annak, hogy az utóbbi években világszerte mindenütt előtérbe kerültek és fejlődésük, térhódításuk a különféle válságok és nehézségek közepette is töretlen, sőt gyorsulást mutat? Ezeket a kérdéseket feszegeti cikkünk, miközben áttekintjük a szuperszámítógépek legfontosabb jellemzőit, speciális műszaki megoldásait, a jellegzetes felhasználási módokat és alkalmazási területeiket.

Szó esik természetesen a nemzetközi trendekről, a kapcsolódó észak-amerikai, ázsiai és európai stratégiákról.

Végül egy pillantást vetünk arra, hogy Magyarország hol áll ezen a területen – milyen eredmények és milyen hiányosságok látszanak –, és a fejlődés iránya merre mutat.

1. Bevezetés

Az informatika felhasználása mindennapjaink részévé vált. Közhelynek számít, hogy informatika nélkül már el sem tudnánk képzelni életünket. A számítógép, a tablet, a mobiltelefon használata teljesen hétköznapi. De mi az a HPC? Mik azok a szuperszámítógépek és miért kellenek, kik használják? Mitől „szuperek”? Mi a kapcsolatuk a felhőkkel és gridekkel? Cikkünk alapvetően ezekre a kérdésekre próbál választ adni, röviden áttekintve a számítógépek fejlődését, a trendeket és a fejlődés hajtóerőit Neumann korától napjainkig. Kezdjük rövid definíciószerű válaszokkal, melyeket később bővebben kifejtünk.

HPC (high-performance computing): A nagy teljesítményű számítógépeket használó/gyártó iparág, szuperszámítástechnika, amivel nagy és összetett feladatokat lehet megoldani rövid idő alatt.

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

Felhő: Számítógépes erőforrások (szerver, tároló, hálózat stb.) és szolgáltatások igény szerinti, kényelmes, helyfüggetlen elérése és önkiszolgáló létrehozása oly módon, hogy a szolgáltatónak az csak minimális erőfeszítésébe kerül. Van olyan felhő- vagy webszolgáltató, amely szupergépet használ a szolgáltatásához. De van olyan felhő is, amely alkalmas bizonyos szupergépes feladatok megoldására is.

Grid: Alapkonceptiója azonos a felhővel. A megvalósítás és az üzleti modell merőben más. Történetileg az akadémiai szférában alakult ki és a felhő elődjének tekinthető.

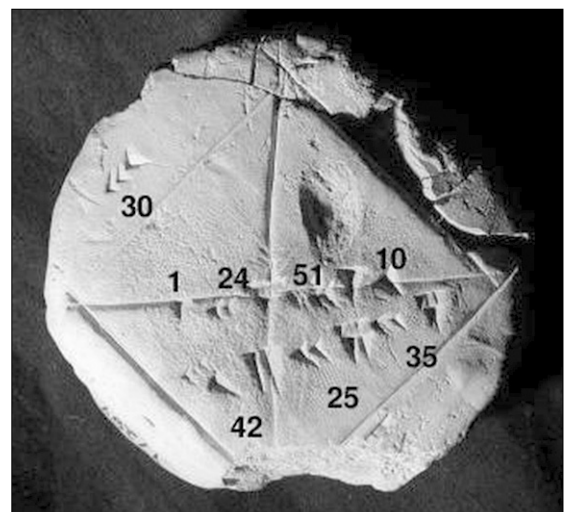
2. Történeti áttekintés

A számítógépek létrejöttét alapvetően az alkalmazott matematika inspirálta. A numerikus módszerek és azok alkalmazása (pl. terület és űrtartalom kiszámítása) több ezer éve foglalkoztatják az emberiséget, amit olyan tárgyi bizonyítékok is bizonyítanak, mint a Yale Egyetem babilóniai gyűjteményében található agyagtáblák, melynek egyikén a $\sqrt{2}$ értékének becslésére látunk módszert (1. ábra).

Az első elektronikus számítógépek felhasználási területe a numerikus analízis, modellezés és a rejtjelezés volt. De mi inspirálta, illetve mi inspirálja a mai napig a mérnököket az egyre nagyobb teljesítményű számítógé-

1. ábra Babilóniai agyagtábla $\sqrt{2}$ becslésére (i.e.1800)

(Forrás: Bill Casselman, upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Ybc7289-bw.jpg)



pek készítésére? A válasz egyszerű: a nagyobb, részletesebb felbontás, pontosabb és gyorsabb eredmények igénye. A nagyméretű számítási problémák megjelenése már az elektronikus számítógépek megszületését is megelőzte: 1922-ben Lewis Fry Richardson olyan numerikus módszert publikált [1], ami a különböző meteorológiai paraméterek (hőmérséklet, szélereősség stb.) figyelembevételével alkalmas globális időjárás-előrejelzésre. A probléma mérete miatt keletkező nagymennyiségű számítási feladat elvégzésére Richardson becslése szerint 64 ezer ember folyamatos munkájára (a számítások kézi elvégzésére) lett volna szükség. Richardson numerikus módszere a saját korában megfelelő számítógép nélkül kivitelezhetetlen volt, de ötletével nem csak a mai meteorológiai számítási módszerek alapját teremtette meg, hanem felvázolta a számítási teljesítmény növelésének egyik módszerét is: a párhuzamosítást.

3. Számítási teljesítmény növelése

Az elektronikus számítógépek elemi matematikai és tárolási műveletek sorozatát végzik a másodperc töredéke alatt. A feladatok nagyságának, bonyolultságának növekedése egyre gyorsabb gépek létrehozását igényli. Ez a kielégíthetetlen igény a tudományos számítások körében a korai számítógépektől napjainkig jelen van. A teljesítménynövelés egyik útja a magasabb órajelfrekvencia alkalmazása, a másik pedig a feladatok párhuzamosítása. Az órajelfrekvencia azonban nem növelhető határtalanul a fizika törvényei miatt, ezért ma már szinte kizárólag a párhuzamosítás a járható út.

Egy anekdota szerint Daniel Slotnick a párhuzamosítás ötletét Neumann Jánosnak is felvetette 1952-ben, aki az ötletre szimplán csak ennyit mondott: „too many

tubes” (túl sok elektroncső) [2]. Az elektroncsöves számítógépek korában ugyanis a csövek meghibásodási gyakorisága határozta meg alapvetően az üzembiztonságot. Neumann válaszával arra utalt, hogy ha ezek számát növelik, akkor a meghibásodási gyakoriság elviselhetetlenül nagy lesz. Megjegyezzük, hogy az első igazi masszív párhuzamos számítógép, az ILLIAC IV Daniel Slotnick ötlete alapján épült meg tranzistoros technológiával 1970-ben, de beüzemeléséhez 1973-ig kellett várni.

A tárolási kapacitás mérése/kifejezése már beépült napjainkba: a tárolt adatok mennyiségét mérjük. Hogyan fejezhető ki a teljesítmény? Definíció szerint az adott időegység alatt végrehajtott (munkát) műveletek számát mérjük. Abban az esetben, ha az egy másodperc alatt elvégzett műveletek számára (instruction per second) koncentrálunk, akkor kIPS, MIPS, ... mértékegységet használunk, abban az esetben, ha valós számokkal végrehajtott matematikai műveletek számát (floating point operations per second) figyeljük, akkor kFlop/s, MFlop/s, ... mértékegységet használunk. Mindkét adat meghatározható méréssel, azaz benchmark-programokkal, illetve elméleti úton a gép órajelének és felépítésének ismeretében.

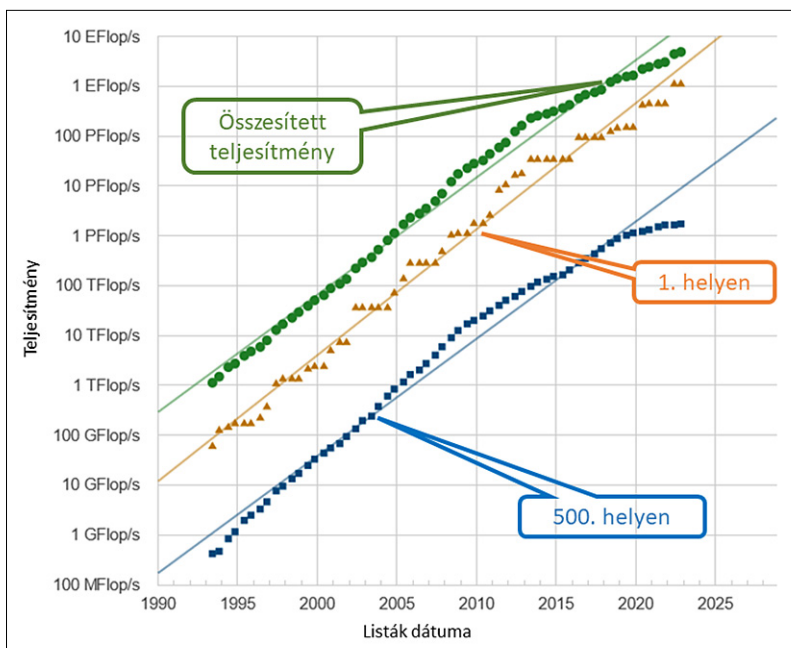
4. Szuperszámítógépek

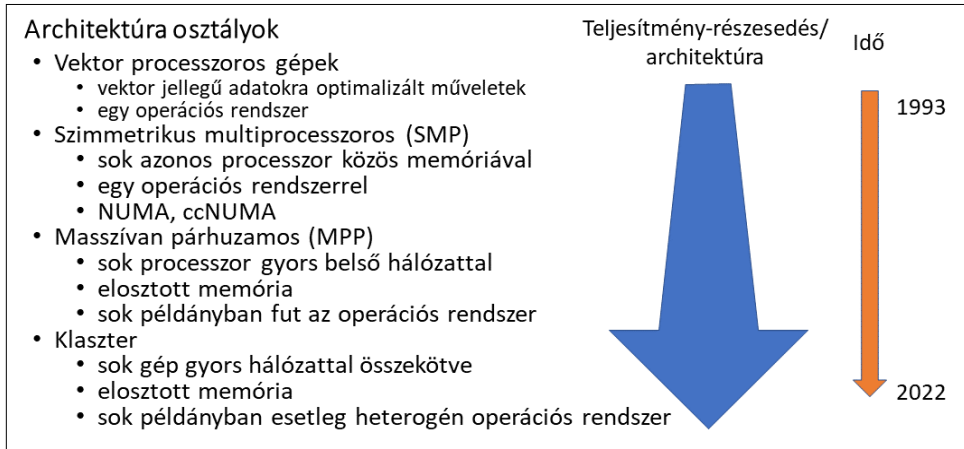
Ahogy a bevezetőben említettük, az elnevezés nem időtálló és nem egy abszolút skálán értendő. A mindenkori szokásos számítási teljesítménynél nagyobb számítási és/vagy tárolási kapacitással rendelkező számítógépet, vagy számítógéprendszert nevezünk így. Ha megnézzük 90-es évek szuperszámítógépeinek teljesítményét/kapacitását, akkor azt tapasztaljuk, hogy a zsebünkben levő mobiltelefon bőven lekörözi azt. A nagyvilágban üzembe helyezett nagy teljesítményű számítógépek rangsorolására 1993-ban létrejött a *top500.org* lista, ami önkéntes alapon tárolja, rangsorolja és publikálja az 500 legnagyobb teljesítményű gép főbb jellemzőit, mint például az architektúrát, felhasználásának jellegét, operációs rendszerét, benchmark programmal mért teljesítményét (R_{max}), valamint az elméleti teljesítményét (R_{peak}). A 2022 novemberében publikált adatok szerint az első helyezett gép teljesítménye 1,1 EFlop/s ($1,1 \cdot 10^{18}$ Flop/s), az 500. helyen pedig egy 1,7 PFlop/s teljesítményű gép áll. Beszédesebb adat, hogy 1993-ban az első helyezett számítógép teljesítménye nem érte el a 60 GFlop/s értéket.

A top 500-as lista számos lekérdezési és keresési lehetősége közül talán a legérdekesebb a teljesítmények időbeli alakulását mutató grafikon (statistics/perfdevel) [3], melyről az olvasható le, hogy a teljesítménynövekedés töretlen (2. ábra). A növekedési ütemre jellemző, hogy négyévenként a tudományos számítógépek teljesítménye majdnem 14-szeresére nő.

2. ábra

Teljesítménynövekedés időbeli alakulása és trendje a TOP 500-as listán (Forrás: szerző, TOP 500 alapján)





3. ábra
Jellemző architektúraosztályok a top500-as listán.
(Forrás: szerző)

5. A fejlődés háttere

Mi áll a fejlődés hátterében? Alapvetően azok a technológiai megoldások, melyek egyre nagyobb elemsűrűséget tesznek lehetővé a félvezetőgyártásban. Míg 1971-ben 10 µm volt a sorozatgyártásban elérhető sűrűség, addig ma már ez 3 nm. Ezzel együtt a hálózati technológia és a memóriák írási/olvasási sebessége is rohamléptekben fejlődik. Mindezek lehetővé tették a speciális gyorsító eszközök (FPGA, Phi, GPGPU) megjelenését és fejlődését is. A top500-as listát elemezve észrevehető, hogy a szupergépek architektúraosztályai mára jelentősen eltolódtak a klaszterarchitektúra felé, ami a jobb skálázhatósággal magyarázható. A 3. ábra röviden összefoglalja a különböző architektúraosztályok jellemzőit.

6. Mire használják?

A szuperszámítógépeket leginkább a tudományos számítások és kutatás céljaira használják, de jelentős szerepük van a nagy és komplex rendszerek modellezésében. A komplex, sok objektumból álló, mint az időjárás, geodéziai, űrkutatási területen használt modellek pontosabb, részletgazdagabb feldolgozásához nagy számítási és tárolási kapacitásra van szükség. Az anyagkutatás ma már molekula/atomi szinten modellezi az anyagot ahhoz, hogy pontosabb képet kapjon annak jellemzőiről. A gyógyszerkutatásban például tipikus feladat az úgynevezett fehérjedokkolási probléma megoldása, ami szintén számításigényes. A különböző szimulációk is nagy erőforrásokat igényelnek; a gyártás és tervezés során, a részecskefizikai kutatásban, vagy éppen az univerzum kutatásában. Fontos megemlíteni, hogy a különböző IT-szolgáltatások megvalósításához is nagy erőforrásra van szükség, így gyakran ezek hátterében is szupergép áll (pl. Facebook, DeepL).

7. Globális verseny

Bemutattuk, hogy a szuperszámítógépek története tulajdonképpen egyidős az elektronikus számítógépek történetével. A szuperszámítástechnika, mint a számítás-

technika egy speciális részterülete, mégis az utóbbi két-három évtizedben kapott egészen kiemelt figyelmet, és ezzel párhuzamosan a jelentősége ugrásszerűen megnőtt. Számos oka van ennek, az adatforradalomtól kezdve a digitalizáció terjedésén át a tudományos módszerek, valamint high-tech iparágak szédületes fejlődéséig. Mindenesetre az széles körben nyilvánvalóvá vált, hogy az innovációs és versenyképesség szintje és a szuperszámítástechnika alkalmazásának mértéke között direkt összefüggés van. Nagyon sok fejlett gazdaságban felismerték ezt, és ennek nyomán megindult az egyre gyorsuló verseny a világ vezető országai között a szuperszámítógépek fejlesztése és alkalmazása terén. „*To compute, you must compute!*” hangzik a jól ismert szlogen, melynek érvényessége ma már nem kérdés.

Bár a szuperszámítógépek mind a mai napig elsősorban nélkülözhetetlen kutatási infrastruktúrát jelentenek, ma már a legkülönbélebb ipari és gazdasági termelőfolyamatok és szolgáltatások produkciós fázisaiban is jelen vannak. Nemzetközileg is versenyképes tudományos/kutatási tevékenység a legtöbb területen alig képzelhető el szuperszámítógépes háttér nélkül, hiszen az egyre pontosabb és összetettebb szimulációk, adatbányászat vagy akár mesterséges intelligencia alapú eljárások más módon nem kezelhetők, főképp nem gyorsan és költséghatékony módon. A szuperszámítógépek segítségével számtalan olyan kérdés vizsgálható – elsősorban a tudomány területén – amelyre más módon nem lenne lehetőség. Természetesen, aki a legújabb tudományos eredményeket birtokolja, az az innovációt és fejlődést is meghatározza és így versenyelőnyre tesz szert. Ezért olyan komoly az erőfeszítés a világ összes fejlett régiójában a szuperszámítástechnika területén.

7.1. Egyesült Államok

A vezető szerep hagyományosan az Amerikai Egyesült Államoké, amely több száz szuperszámítógéppel, a világ teljes HPC-kapacitásának közel a felével rendelkezik. Az USA a hardver- és szoftvertchnológia fejlesztésében, a piacvezető HPC-gyártók tekintetében, a kiépített infrastruktúrában és a HPC alkalmazásának mértékében is az élen jár. A Fehér Ház által még 2015-ben elfogadott NSCI (National Strategic Computing Initiative) [4, 5] új lendületet adott a fejlődésnek, és kitűzte az ak-

kor még szinte utópisztikusnak tűnő célt: az exaflop határ áttörését. (1 EFlop/s = 10^{18} matematikai művelet másodpercenként.) Nehéz felfogni, hogy ez milyen óriási szám. Akkor, hogy a Földön élő 8 milliárd ember mindegyikére másodpercenként több, mint 137 millió számítási művelet jut. A legnagyobb technológiai kihívást az jelentette, hogyan lehet a fajlagos energiaigényt olyan mértékben leszorítani, hogy még egy ekkora gép is táplálható és hűthető maradjon. Bár az üzemterv szerint az exaflop-határt 2020-ra kellett volna elérni, végül csak 2022-re sikerült, amikor üzembe helyezték az Oak Ridge National Laboratory-ban a világ első 1 EFlop/s feletti teljesítményű szuperszámítógépét, a *Frontier*-t, ami Cray-technológiát használ és közvetlen folyadékűtésű (4. ábra). A gép legfontosabb paraméterei az 1. táblázatban láthatók.

A Frontier az amerikai energiaügyi tárca egyik kiemelt kutatóintézetében kapott helyet, de felhasználása széleskörű és általános célú, a tudományos kutatás minden területét támogatja (anyagtudomány, űrkutatás, biotechnológia, klímakutatás, szoftvertechnológia, mesterséges intelligencia, lézerfizika, plazmafizika stb.)

A Frontier teljesítménye elképesztő, de ez sem elegendő a tudományos kutatásoknak. Így Amerikában hamarosan (még idén) átadásra kerül további két, még nagyobb szuperszámítógép: az *Aurora* és az *El Capitan*, melyek külön-külön is meg fogják haladni a 2 EFlop/s tel-

jesítményt. Mindeközben a fejlesztés és a gyártás erősen konszolidálódott, a gyártók száma lecsökkent. Az IBM kiszállt a hagyományos szuperszámítógépek piacáról, az SGI és a Cray a HPE-be olvadt.

7.2. Ázsia

Ázsia két vezető szuperszámítógép hatalma Japán és Kína. Természetesen más országokban (pl. Dél-Korea vagy India) is gyors a fejlődés, de a globális versenyben e két állam a meghatározó. Japánban nagy a hagyománya a szuperszámítógépek fejlesztésének és használatának, már többször is elfoglalták a TOP500-lista első helyezését saját gyártmányú rendszerekkel. Jelenleg a vezető japán szuperszámítógép, a Fujitsu által épített *Fugaku* (442 PFlop/s) második helyezett a listán, de mögötte további 30 japán szuperszámítógép is található. A Fujitsu mellett az NEC is jelentős gyártónak számít.

Kína csak az elmúlt két évtizedben kapcsolódott a versenybe, de a fejlődés hihetetlenül erős. Érdekesség: ugyanabban az évben (2000-ben) került Kína először a listára (egy IBM géppel), amikor Magyarország is. Mára Kína birtokolja a TOP500-as szuperszámítógépek számának 1/3-át (többet, mint az USA), ami az összes kapacitás 10%-át teszi ki. Kína nemcsak alkalmazza a HPC-technológiát, hanem fejleszti is, így a kínai szuperszámítógép-gyártók (Inspur, Sugon, Lenovo, Huawei) az ameri-

1. táblázat
A Frontier technikai paraméterei

4. ábra Frontier

(Forrás: Oak Ridge National Laboratory, U.S. Dept. of Energy)



Elméleti teljesítmény	$R_{\text{peak}} > 1,5$ EFlop/s
Mért teljesítmény	$R_{\text{max}} = 1,102$ EFlop/s
CPU	9472 db AMD Epyc Milan (606,708 core)
GPU	37888 db Radeon Instinct MI250X (8,335,360 core)
Belső hálózat	Slingshot
Memória	9,2 Pbyte
Háttértár	700 Pbyte
Operációs rendszer	HPE Cray OS (Linux)
Fizikai helyszükséglet	680 m ²
Energiaigény	21 MW (Green500 no.1)

kaiak legerősebb versenytársai. Legnagyobb szuperszámítógépe, a *Sunway TaihuLight* a legfrissebb TOP500-listán jelenleg a 7. helyet foglalja el a 93 PFlop/s teljesítménnyel. A gyártás évében (2016), majd azt követően másfél évig az első helyen állt. Érdekessége, hogy kínai fejlesztésű processzorra épül. Operációs rendszere Linux-alapú. Természetesen Kína is törekszik az exaflop-tartomány elérésére, és várható, hogy ez hamarosan meg is történik.

7.3. Európa

Nem meglepő módon az európai országok között is a gazdaságilag legerősebbek a legaktívabbak a szuperszámítástechnika alkalmazásában. Németország, az Egyesült Királyság, Franciaország, Olaszország, Spanyolország, Svájc vezetik a listát. Bár az 1980-90-es években Európa nem állt rosszul a globális versenyben, az ezredforduló után azonban fokozatosan lemaradt. Míg Észak-Amerikában és Ázsiában idejekorán felismerték a szuperszámítástechnika növekvő fontosságát, mindez Európában csak késve következett be, ráadásul az európai országok külön-külön akkora investíciót sem tudtak végrehajtani.

Az EU az első jelentősebb, európai összefogásra építő HPC-programot (DEISA – Distributed European Infrastructures for Supercomputing Applications) 2005-ben indította, majd ezt követte 2010-től 25 ország együttműködésével a PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe) [6], amelyekhez kapcsolódva számos HPC-vonatkozású nemzetközi K+F-projekt is társult. A programok és projektek sikeresek voltak, – sok eredményt hoztak és megállították Európa lemaradásának növekedését –, azonban az egyre gyorsuló globális versenytársakhoz való felzárkózáshoz nem bizonyultak elegendőnek.

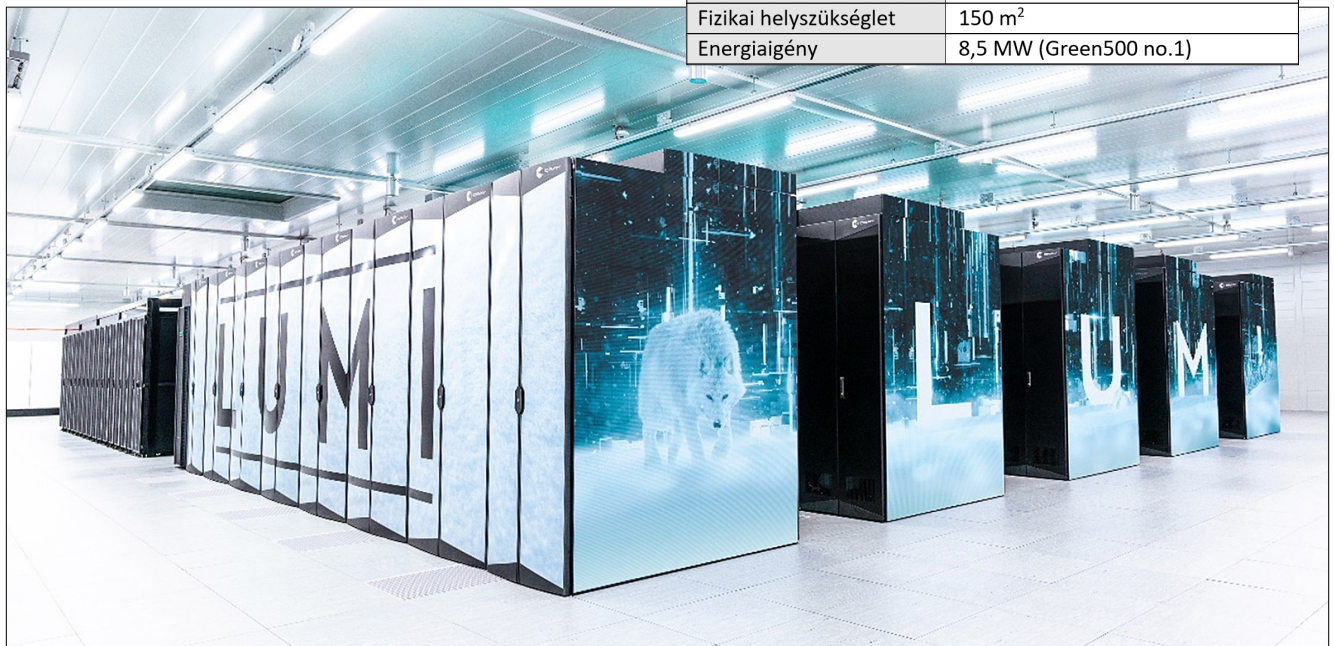
2. táblázat
A Lumi technikai paraméterei

5. ábra A Lumi (Forrás: CSC, Finnország)

A tanulságokat leszűrve az EU 2019-ben stratégiai fontosságú fejlesztési területnek nyilvánította a szuperszámítástechnikát [7] és 1 milliárd euro induló forrással létrehozta az EuroHPC Joint Undertaking (EuroHPC Közös Vállalkozás) nevű programot [8]. Ez deklaráltan egy felzárkóztatási program, széles körű európai összefogással, a tagországok saját forrásainak mobilizálásával, a teljes HPC-ökoszisztéma felölelésével (infrastruktúra beruházások, hardver- és szoftverfejlesztés, alkalmazások, szolgáltatások, képzés), az európai HPC-”ipar” megerősítésével. Az EuroHPC is az exaflop tartomány elérését tűzte ki célul, de az ehhez vezető úton először petaflop és pre-exa kategóriájú gépeket épít. Az EuroHPC-hez eddig 28 ország csatlakozott, köztük Magyarország is.

A program első petaflop kategóriájú szuperszámítógépei Szlovéniában, Luxemburgban, Csehországban, Bulgáriában és Portugáliában épültek. E gépek teljesítménye 4,5-13 Pflop/s közé esik, így a TOP500 felső ötödében található. Az első – és egyben legnagyobb – EuroHPC pre-exa kategóriájú szuperszámítógép a *Lumi*, Finnországban épült meg tíz ország összefogásával. A Lumit 2022-ben adták át, és jelenleg a világ 3. legerősebb szuperszámítógépe az aktuális 308 PFlop/s teljesítményével, amely végső konfigurációjában el fogja érni a 375 Pflops/s-ot (5. ábra). A Lumi szintén HPE/Cray gyártmányú, technológiája szinte teljes egészében megegyezik a Frontierével. A gép messze északon, olyan környezetben került telepítésre, ahol egész évben megújuló energiával és természetes hűtéssel (free cooling) működtethető. A Lumi paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

Elméleti teljesítmény	R _{peak} > 420 PFlop/s
Mért teljesítmény	R _{max} = 309,1 PFlop/s
CPU	5632 db AMD Epyc
GPU	10240 db Radeon Instinct MI250X
Belső hálózat	Slingshot
Háttértár	117 Pbyte
Operációs rendszer	HPE Cray OS (Linux)
Fizikai helyszükséglet	150 m ²
Energiaigény	8,5 MW (Green500 no.1)



A Lumit követően még 2022-ben átadásra került az olaszországi Bolognában az EuroHPC második pre-exa szuperszámítógépe is, a 174 PFlop/s teljesítményű *Leonardo*. A gépet az európai Atos/Bull cég építette, Intel-processzorokat és Nvidia GPU-gyorsítókártyákat tartalmaz. A Leonardo jelenleg a világ 4. legerősebb szuperszámítógépe. A kihasználására létrejött hat országból álló konzorciumnak Magyarország is tagja. A Leonardo után a harmadik európai pre-exa szuperszámítógép a várhatóan 2023-ban Barcelonában épülő *Mare Nostrum 5* lesz.

Az új tervezési ciklusban már 7 Mrd euro forrásból gazdálkodó program időközben az első európai exaflop kategóriájú szuperszámítógép (*Jupiter*) megépítését is bejelentette, amely Németországban a Jülichi Szuperszámítógép Központban (JSC – Jülich Supercomputer Centre) valósul meg 2024-re. E mellett további legalább 20 PFlop/s teljesítményű, kisebb EuroHPC-rendszerek épülnek Görögországban, Írországban és Lengyelországban is.

A fejlődés tehát Európában is rendkívüli módon felgyorsult, és ez az előretérés a TOP500-listán is szembeötlő (hózzávetőlegesen 12% kapacitást képvisel). Fontos kiemelni, hogy az EuroHPC nemcsak az infrastruktúra fejlődésében hoz látványos eredményeket, hanem a szuperszámítógépek felhasználása, az alkalmazás- és algoritmusfejlesztések, illetve a szakemberképzés területén is jelentős az előrelépés. Külön figyelmet érdemel, hogy Európa saját processzor fejlesztésébe is kezdett, hogy csökkentse technológiai függőségét. A 2015-ben indult EPI (European Processor Initiative) elsődleges célkitűzése, hogy olyan processzort fejlesszen ki, amely a jövő európai számítógépeinek motorja lehet. A fejlesztés ARM- és RISC-alapokra épít, és a megvalósításra létrehozott vállalkozás (SiPearl) éppen 2023-ra ígéri az első működőképes változat megjelenését.

7.4. Magyarország

Magyarországon az első valódi, tudományos célú szuperszámítógépet 2001-ben adták át az NIIF (Nemzeti Információs Infrastruktúra Fejlesztési) program keretében (6. ábra). 60 GFlop/s teljesítményével rögtön a TOP500-listára is felkerült, és hamar nagyon népszerűvé vált a kutatók között. A következő 15 évben az infrastruktúra az NIIF-Program keretében több lépcsőben megújult és technológiában, kapacitásban egyaránt sokat fejlődött. A gépet és utódait az egyetemeken és akadémiai intézetekben működő több száz tudományos kutatási projektben használták kiemelkedő sikerrel, nemzetközileg elismert eredményeket produkálva.

2015-ben az NIIF már 8 szuperszámítógépet működtetett közel 0,5 PFlop/s aggregált kapacitással, köztük az első GPU-gyorsítókkkal ellátott *Leo* nevű gépet, amely a Debreceni Egyetem campusán direkt a számára épített



6. ábra Az első hazai szuperszámítógép (forrás: a szerző)

új, korszerű HPC-központban kapott elhelyezést és 2022 év végéig a legnagyobb hazai szuperszámítógép volt.

Az NIIF Intézet jogutódja 2016-tól a KIFÜ (Kormányzati Informatikai Fejlesztési Ügynökség) lett. A kiöregedő Leo-t és a többi kisebb elavuló szuperszámítógépet 2022-ben váltotta fel az új, szintén a debreceni központban elhelyezett *Komondor* nevű szuperszámítógép, amely 3,09 PFlop/s teljesítménnyel került fel a TOP500-lista 199. helyére. Bár e gép teljesítményét tekintve a világ legnagyobb szuperszámítógépének alig 1/300-ada, technológiájában hasonlít ahhoz. Szintén a HPE/Cray építette, korszerű, melegvizés hűtésű, AMD Epyc Milan processzorokat és 216 db Nvidia A100 GPU-t, valamint Slingshot belső hálózatot tartalmaz. Elmondható tehát, hogy a legkorszerűbb technológiát képviseli.

Magyarország 2011-ben csatlakozott a PRACE-hez, az európai szuperszámítógépes szakmai együttműködéshez, és induláskor belépett az EuroHPC Közös Vállalkozásba is. Mindezek eredményeképp hazánk számos európai HPC-vonatkozású projektben vett részt az elmúlt években, ami a nemzetközi kapcsolatok és partnerség fejlődésén túl sok-sok szakmai tapasztalat átvételét is jelentette. Ahogy már említettük, Magyarország a Leonardo pre-exa konzorciumnak is tagja, így a hazai felhasználók számára könnyített hozzáférés nyílik a világ 4. legerősebb szuperszámítógépéhez is. Természetesen az itt felhasználható kapacitás korlátozott, ahogy a Komondor sem lesz képes több éves távlatban kielégíteni a gyorsan növekvő igényeket. Eddig gyakorlatilag csak a kutatói közösség volt aktív felhasználója a szuperszámítás-technikának, ami nem véletlen, hiszen a HPC alapvetően kutatási infrastruktúra. A közeljövőben azonban várható, hogy egyre több innovatív, kutatást-fejlesztést végző ipari szereplőnél is fellép az igény.

Elég jól prognosztizálható, hogy 2025-re a nemzeti HPC-infrastruktúrával szemben támasztott hazai igények összességében bőven meg fogják haladni a 20 PFlop/s

teljesítményt. Kérdés, hogy ez miként lesz kiszolgálható, hiszen ehhez már most el kellene indulnia a következő fejlesztési lépcsőnek. 2022-ben hazánk elnyerte az Euro HPC 35%-os pénzügyi támogatását egy új, 20 PFlop/s nagyságú szuperszámítógép építésére és üzemeltetésére, a projekt azonban nem kezdődött el. E nélkül azonban a hazai tudományos-kutatási tevékenység nemzetközi szinten versenyhátrányba kerül, és Magyarország kimarad sok olyan projektből és lehetőségből – köztük például a kvantumszámítástechnika korai alkalmazásából – amelyeket az EU jelentős forrásokkal támogat, és amelyek a HPC területén előttünk járó környező országok (pl. Csehország, Lengyelország, Szlovénia, de ma már Bulgária is) számára nyitva állnak. Mindez a magyar innovációs és versenyképességet hátrányosan érinti.

8. Összefoglalás

Az extrém számítási teljesítményre képes szuperszámítógépek a modern kor nélkülözhetetlen eszközei. A mindennapi életben közvetlenül ritkán találkozunk velük, mégis életünk számtalan területére komoly hatással vannak. A szuperszámítógépek a digitális korszak laboratóriumai, a tudományos kísérletek és felfedezések – szinte bármely területről legyen is szó – ma ezek alkalmazásával folynak. Az eredmények pedig előbb vagy utóbb a minket körülvevő környezetben, mindennapi használati cikkeinkben, az árukban és szolgáltatásokban, gyakorlatilag mindenben megjelennek. Az ultranedvszívó-képességű pelenkától kezdve az időjós jelentésén át a lázcsillapítótól. De az emberiség nagy, globális kihívásainak megoldására – a klímaváltozástól kezdve a fenntartható élelmiszer termelésén át a járványok leküzdéséig – is csak akkor van vajmi esély, ha szuperszámítógépek segítenek bennünket. Ezért fontos, hogy ismerjük, értsük, megvalósítsuk és minél intenzívebben alkalmazzuk a szuperszámítástechnikát.

Hivatkozások

- [1] Richardson, Lewis Fry, 1922: Numerical Prediction by Numerical Process, Cambridge Univ. Press. 2nd Edition (corrected version of the original with a new Foreward by Peter Lynch), Cambridge University Press 2007. ISBN: 978-0-521-68044-8.
- [2] Slotnick, Daniel, 1982: The Conception and Development of Parallel Processors – A Personal Memoir. Annals of the History of Computing. 4 (1): 20-30. doi:10.1109/mahc.1982.10003.
- [3] Szupergépek teljesítményének időbeli alakulása a top 500-as listán, <https://www.top500.org/statistics/perfdevel/>
- [4] Creating a National Strategic Computing Initiative, <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/07/29/executive-order-creating-national-strategic-computing-initiative>
- [5] Advancing U.S. Leadership in High-Performance Computing, <https://www.whitehouse.gov/blog/2015/07/29/advancing-us-leadership-high-performance-computing>

- [6] Partnership for advanced computing in Europe, <https://prace-ri.eu/>
- [7] The European strategy for High Performance Computing, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-strategy-high-performance-computing>
- [8] The European High Performance Computing Joint Undertaking, https://eurohpc-ju.europa.eu/index_en (weboldalak elérési dátuma: 2023.02.28.)

A szerzőkről



MÁRAY TAMÁS egyetemi tanulmányait a BME Villamosmérnöki Karán végezte. Itt szerzett diplomát informatikából és doktori címét is itt védte meg. Tanított a BME-n, majd 16 éven át a magyar felsőoktatási és kutatói hálózatot működtető NIIF Intézet műszaki igazgatója volt. Ő hozta létre Magyarország első webszerverét 1993-ban, valamint meghatározó szerepe volt az Internet és alkalmazásainak hazai fejlesztésében és elterjesztésében. Szakmai irányításával került megvalósításra az első, TOP500-kategóriájú, kutatási célú szuperszámítógép Magyarországon, 2001-ben. Több nemzetközi HPC szakmai szervezetben delegált. Vezetésével alakult meg a HPC Kompetencia Központ (HPC@hu) a KIFÜ-ben.



SZEBERÉNYI IMRE a BME Villamosmérnöki Karán végzett, mint villamosmérnök 1983-ban. Diploma után az BME Folyamatszabályozási Tanszéken (jelenleg Irányítástechnika és Informatika Tanszék) kezdett dolgozni. Munkájával hozzájárult a UNIX-kultúra és az egyetemi számítógépes hálózat kialakulásához. Elsőként teremtette meg az elektronikus üzenetküldés lehetőségét a BME és más külföldi egyetemek között, ami új kaput nyitott a BME oktatói és kutatói számára a nemzetközi kapcsolattartáshoz. Számos olyan kutatásfejlesztési projektben vett részt, melynek fő célja a nagy számítási kapacitások kialakítása és felhasználása. Informatikai doktori fokozatát is ezzel kapcsolatos témában szerezte. A NIIF (KIFÜ) szakértőjeként részt vett több szuperszámítógép specifikációjában és tesztelésében. Szakmai irányításával került beszerzésre és beüzemelésre a BME 360 magos szupergépe 2012-ben. Jelenlegi kutatási és oktatási tématerülete elsősorban a számítási felhők, a HPC és elosztott rendszerek. Szakmai vezetésével és számos egyetemi hallgató munkája eredményeként jött létre a BME VIK oktatási felhőrendszere, a CIRCLE.