

# Superračunala

---

**Đurđek, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:131:045300>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-28**



Sveučilište u Zagrebu  
Filozofski fakultet  
University of Zagreb  
Faculty of Humanities  
and Social Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[ODRAZ - open repository of the University of Zagreb  
Faculty of Humanities and Social Sciences](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FILOZOFSKI FAKULTET  
ODSJEK ZA INFORMACIJSKE I KOMUNIKACIJSKE ZNANOSTI  
Ak. god. 2015./ 2016.

Matija Đurđek

**Superračunala**

Završni rad

Mentor: dr.sc. Kristina Kocijan, doc.

Zagreb, 2016.

## Sadržaj

1. Uvod.....	2
2. Povijesni razvoj superračunala .....	4
3. Struktura suvremenih superračunala.....	6
3.1. Arhitektura suvremenih superračunala.....	6
3.2. Korišteni operacijski sustavi .....	9
4. Prednosti i nedostaci superračunala .....	11
4.1. Svrha, uporaba i prednosti superračunala .....	11
4.2. Nedostaci superračunala.....	12
5. Top lista superračunala .....	15
6. Blue Waters.....	19
7. Raspodjela superračunala u svijetu.....	21
8. Superračunala u Hrvatskoj.....	24
8.1. Superračunalo Bura .....	24
8.2. Superračunalo Isabella .....	25
9. Projekti iz svijeta .....	28
10. Budućnost superračunala .....	30
11. Zaključak .....	32
Sažetak i ključne riječi / Summary and keywords .....	33
Sažetak i ključne riječi .....	33
Supercomputers.....	33
Summary and keywords.....	33
Literatura.....	35

## 1. Uvod

U današnjem informacijskom dobu važno je imati pristup svim informacijama koje su nam potrebne. Živimo u vremenu brzog tehnološkog napretka i vrlo je bitna brza prilagodba okruženju koje se stalno mijenja. Javlja se sve veća potreba za informacijskim opismenjivanjem, a to podrazumijeva pronalaženje potrebnih informacija, njihovu analizu, vrednovanje i primjenu. Sva tehnologija prilagođava se užurbanom načinu života i sve mora biti dostupno na svakom koraku u svako vrijeme. Sve više su nam potrebni uređaji koji to omogućuju - osobna računala, mobiteli, tableti i ostali napredni uređaji. Računalo čovjeku uvelike olakšava rad i poslovanje te zamjenjuje fizički rad računalnim radom. Čovjek se oduvijek nastojao riješiti jednoličnih, dosadnih, ali i teških te po život opasnih fizičkih poslova. Upravo iz tog razloga se istražuju nove mogućnosti razvoja i uporabe računala. Nadalje, s razvojem znanosti pojavila se potreba za zamjenom čovjeka strojevima pri obavljanju misaonih aktivnosti poput računanja. Osim što brže obavljaju rad i štede vrijeme, računala su trebala ispraviti veliki ljudski nedostatak – pogreške u računanju.

Suvremena i kompleksna znanstvena istraživanja zahtijevaju snažna računala – superračunala. Prije svega valja navesti definiciju superračunala. Stručnjaci ih definiraju na različite načine pa danas postoji mnogo definicija superračunala. Može ih se promatrati kao sustav hardware-a i software-a ili samo kao hardware. Jednu sažetu definiciju superračunala dali su Rubin H. Landau i Paul J. Fink koji ih definiraju kao „klasu najbržih i najsnažnijih dostupnih računala“<sup>1</sup> (Graham 2005: 20). Jedna opširnija definicija iz *Academic Press Dictionary of Science and Technology* ih definira u dvije točke: „1. bilo koje izuzetno snažno mainframe računalo velikog kapaciteta koje je sposobno manipulirati ogromnom količinom podataka u izuzetno kratkom vremenu; 2. bilo koje računalo koje je najveće, najbrže i najsnažnije dostupno u određenom trenutku“<sup>2</sup> (Graham 2005: 20).

---

<sup>1</sup> Citat je slobodni prijevod autora koji u originalu glasi: “The class of fastest and most powerful computers available.”

<sup>2</sup> Citat je slobodni prijevod autora koji u originalu glasi: “1. any of a category of extremely powerful, large-capacity mainframe computers that are capable of manipulating massive amounts of data in an extremely short time. 2. any computer that is one of the largest, fastest, and most powerful available at a given time.”

Superračunala svoju primjenu pronalaze u raznoraznim područjima. Izrazito su važna za istraživanja i razvoj znanosti. Koriste se primjerice za rješavanje kompleksnih problema kao što su simulacija i modeliranje klimatskih promjena. Njihova primjena je vrlo važna i u analizi podataka važnih za nacionalnu sigurnost, ekonomskim istraživanjima, proučavanju svemira kao i mnogim drugim područjima. Ona doprinose razvoju cjelokupnog ljudskog znanja. Uz njihovu pomoć dolazi do novih saznanja koja bez njih ne bi bila moguća.

Njihova raznolika primjena jedan je od glavnih razloga zašto sam odlučio pisati završni rad na ovu temu. Zanimljivo je proučavati za što se sve mogu koristiti računala, a da to nije svakodnevna uporaba kao primjerice igranje videoigara ili pretraživanje Interneta.

U prvom poglavlju slijedi kratak povijesni pregled razvoja superračunala, a potom ću u poglavlju 2 opisati strukturu suvremenih superračunala – njihov hardver i softver. Nakon toga ću navesti za što superračunala služe te napisati neke njihove prednosti i nedostatke. Nadalje ću pisati o listi 500 najjačih superračunala svijeta i njihovoj raspodjeli u svijetu. Navesti ću superračunalo Blue Waters koje nije na listi 500 najjačih superračunala te ću objasniti razloge zašto je to tako. Osim toga, spomenuti ću 2 superračunala iz Hrvatske. Prije samog zaključka ću izložiti 2 zanimljiva projekta iz svijeta te dati pregled mogućeg razvoja i uporabe superračunala u budućnosti. Na kraju rada ću se ukratko osvrnuti na najbitnije teze spomenute u radu.

## 2. Povijesni razvoj superračunala

Razvoj računala započinje pomagalima za računanje poput abakusa koji je pronađen u Kini i datira iz 3. tisućljeća prije Krista. Na razvoj superračunala veliki utjecaj je imala pojava elektroničkih računala poput ENIAC-a (engl. *Electronic Numerical Integrator and Calculator*) iz 1946. godine i UNIVAC-a 1 (engl. *Universal Automatic Computer*) iz 1951. godine.

Prva superračunala razvijaju se već početkom 60-tih godina 20. stoljeća. Jednim od prvih superračunala tog doba smatra se Atlas koji je napravljen 1962. godine na Sveučilištu u Manchesteru. Atlas je 1962. godine bio najjače računalo na svijetu – čak 4 puta jači od najjačeg tadašnjeg IBM-ovog računala. Dvije godine kasnije tvrtka Control Data Corporation proizvodi superračunalo pod nazivom CDC 6600 koje je isporučeno CERN-ovom laboratoriju u Ženevi radi analize njihovih testiranja. CDC 6600 je prvo „uspješno“<sup>3</sup> superračunalo koje je unijelo revoluciju u svijet superračunala. Umjesto tranzistora temeljenih na germaniju koristilo je 600 000 silicijskih tranzistora budući da su brži i lakše je kontrolirati pregrijavanje računala. Hladilo se uz pomoć plina freona koji je kružio cijevima za hlađenje. Imalo je radni takt od „samo“ 10 MHz ili 3 megaflop/s<sup>4</sup>. Paralelan način rada središnjeg procesora omogućio je brže izvršavanje istovremenih operacija. Bilo je deset puta brže od bilo kojeg drugog računala tog doba i prodano je u više od 100 primjeraka po pojedinačnoj cijeni od 8 milijuna američkih dolara. Nakon uspjeha CDC-a 6600 dolazi do procvata tržišta superračunala te mnoge tvrtke, poput IBM-a, Fujitsu-a i Hitachi-a, počinju s razvojem i prodajom vlastitih superračunala.

U 60-tim godinama 20. stoljeća suosnivač Intela Gordon Moore u časopisu *Electronics Magazine* opisuje svoja zapažanja o povećanju broja tranzistora u procesorima. Moore kaže da se otprilike svake dvije godine broj tranzistora u procesorima udvostručuje. Pretpostavka se pokazala točnom i kasnije je nazvana „Mooreov zakon“. Počela se koristiti u industriji poluvodiča kako bi se moglo dugoročno planirati i postaviti ciljeve za

<sup>3</sup> Pojam „uspješno“ se u ovom kontekstu odnosi na komercijalni uspjeh superračunala CDC 6600 koje je nadmašilo prethodnike i na revoluciju koje je unijelo u svijet superračunala.

<sup>4</sup> **FLOPS** ili **flop/s** (engl. *FL*oating point *OP*erations per *S*econd) je mjerna jedinica koja se koristi pri mjerenju brzine procesora i označava jednu matematičku operaciju s pomičnim zarezom u sekundi.

istraživanje i razvoj. Iako je ovaj trend aktualan već više od polovice stoljeća, Mooreov zakon se treba smatrati kao zapažanje, a ne kao fizički ili prirodni zakon. Izvorno se Mooreov zakon odnosi samo na poluvodičke sklopove, ali mnogi stručnjaci i futuristi vjeruju da se zakon odnosi na sve oblike tehnologije jer je gotovo u svim područjima primjetan eksponencijalan tehnološki napredak.

### 3. Struktura suvremenih superračunala

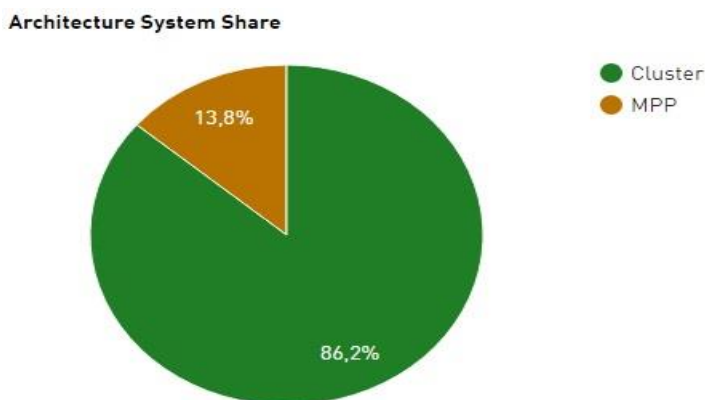
#### 3.1. Arhitektura suvremenih superračunala

Koliko su današnja superračunala slična, toliko su i različita naspram prvima napravljenima 60-tih godina 20. stoljeća. Uz termin superračunala se često koristi i engleski pojam *high-performance computing* (u daljnjem tekstu HPC). HPC se, pojednostavljeno rečeno, odnosi na korištenje što je moguće veće računalne snage i boljih performansi nego što bi to bio slučaj s običnim osobnim računalom radi rješavanja složenih zadataka (primjerice u znanosti, inženjerstvu i slično). Superračunala se u svojoj srži ne razlikuju u velikoj mjeri od osobnih računala. U superračunalima se mogu pronaći iste komponente kao i u desktop računalu – procesor, memorija, operacijski sustav, prostor za pohranu. Glavna razlika je u kapacitetu i brojnosti tih komponenti. Današnja osobna računala u prosjeku imaju 4 procesorske jezgre, dok najjača suvremena superračunala imaju stotine tisuća i milijuna jezgri povezanih u clustere. Clusterska organizacija računala omogućuje povezivanje tisuća procesorskih jezgri iz više računala ili servera u skladnu i funkcionalnu cjelinu. To je ujedno i najveća prednost takve organizacije – da sve jezgre zajedno rade na rješavanju zadanih problema. Danas najveći broj superračunala (86.2%) koristi upravo clustersku organizaciju što je vidljivo iz slike 1.

Clusterska organizacija superračunala slična je danas sve popularnijem *cloud computing*-u. *Cloud computing* je pojam koji se odnosi na povezivanje računalnih sustava i njegovih dijelova putem mreže (najčešće putem Interneta). On, kao i clusterska superračunala, može sadržavati veliki broj procesorskih jezgri i služiti za kompleksna istraživanja, iako to nije nužno. *Cloud computing* sustav može primjerice sadržavati hardver s jednom ili nekoliko procesorskih jezgri koji je dovoljan za svakodnevnu uporabu i opću namjenu, dok se clusterska organizacija većinom koristi za stvaranje superračunala koja služe za kompleksna istraživanja. Cluster nije precizno definiran pojam, ali najčešće obuhvaća računalni sustav čiji se dijelovi nalaze na jednom mjestu koji su povezani brzom lokalnom mrežom, dok se kod *cloud computing*-a dijelovi sustava često nalaze na različitim mjestima diljem države ili svijeta te su putem mreže povezani u jednu cjelinu. Primjer

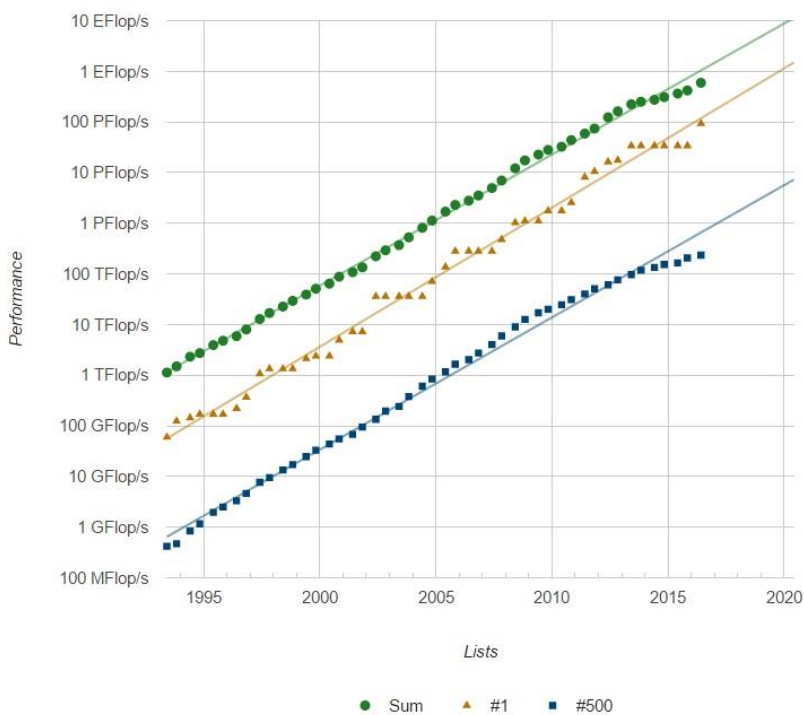


takve mreže je Hrvatska nacionalna grid infrastruktura o kojoj će više riječi biti u poglavlju 9.



Slika 1. Korištena arhitektura u superračunalima (prema podacima iz lipnja 2016.)  
Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

Uz clustersku organizaciju superračunala koristi se i *massively parallel processing* (u daljnjem tekstu MPP). Glavna razlika MPP-a i clustera je ta što se MPP odnosi na samo jedno računalo s tisućama usko povezanih procesorskih jezgri, dok cluster povezuje više računala ili servera u jednu cjelinu. Koju će se organizaciju koristiti ovisi o namjeni samog superračunala. Kao što samo ime kaže, MPP se koristi kod paralelnog rješavanja zadataka. Superračunala s MPP organizacijom su često skuplja od clusterskih jer imaju složeniju organizaciju, primjerice memorije koja im omogućuje izrazito velike brzine rješavanja paralelnih zadataka. Još jedna mana MPP-a je da se već unaprijed kod zadavanja zadataka mora podijeliti rad među procesorima, svakoj grupi procesora dodijeliti određeni dio memorije i operacijskog sustava.

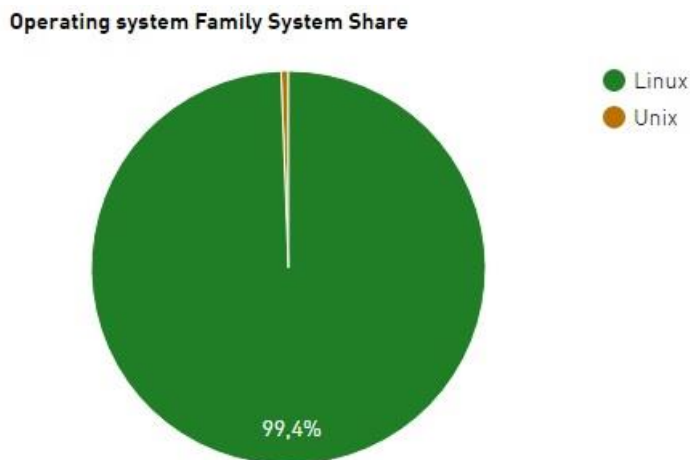


Slika 2. Predviđanje razvoja performansi superračunala  
Preuzeto s <https://www.top500.org/statistics/perfdevel/>

Prema podacima i predviđanjima sa stranice [www.top500.org](http://www.top500.org) o rastu računalne snage i broja procesorskih jezgri u superračunalima kroz vrijeme može se primijetiti da Mooreov zakon vrijedi i kod razvoja superračunala. Ako se taj trend nastavi, najjače superračunalo će dostići brzinu od 1 exaflop/s prije 2020. godine što je vidljivo s prikaza na slici 2. To bi dopustilo istraživanja, izvršavanje aplikacija i rješavanje zadataka koje s današnjeg stajališta tehnologije još nije moguće riješiti poput primjerice razvoja kvantnih računala ili umjetne inteligencije. O njima će više riječi biti u poglavlju 10. Procjenjuje se da bi za napajanje superračunala od 1 exaflop/s trebalo 100 MW, a ta količina energije odgovara ukupnoj količini potrošnje energije trenutačno prvih 500 superračunala u svijetu, što je vrlo nepraktično i neekonomično. Takva se količina energije primjerice proizvodi u manjim nuklearnim elektranama. Američki Odjel za energetiku zahtijeva da se predviđena potrošnja energije smanji na 20 MW ili manje kako bi superračunalo od 1 exaflop/s bilo praktično (Rahman 2013).

### 3.2. Korišteni operacijski sustavi

Osim snažnog hardvera, vrlo bitan faktor kod superračunala je i operacijski sustav. Iz slike 3 vidljivo je kako gotovo svako (99.4%) superračunalo koristi Linux operacijski sustav i njegove podverzije koje se modificiraju ovisno o namjeni superračunala.



Slika 3. Zastupljenost operativnih sustava (prema podacima iz lipnja 2016.)  
Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

Linux se koristi kod superračunala zbog svojih višestrukih prednosti naspram drugih operacijskih sustava kao što je npr. Windows. Linux je besplatan i *open source* operacijski sustav koji omogućava pristup cijelom izvornom kodu te takva modularna priroda Linux-a omogućava korisnicima da operacijski sustav modificiraju kako bi odgovarao zahtjevima sustava, dok primjerice Windows ne dopušta slobodu prilagodbe u tako velikom opsegu. Windows sadrži dijelove softvera koji se ne mogu modificirati ni obrisati i superračunalima bi bili nepotrebni te bi usporavali izvršavanje zadataka. Zbog slobodnog pristupa izvornom kodu, Linux omogućava veću prilagodljivost kompleksnijim aplikacijama. Samim time je na Linux-u omogućeno brže izvođenje zadataka te maksimiziranje performansi superračunala (Zinoune 2012).

Unix operacijski sustav koriste samo 3 superračunala s TOP500 liste. S vremenom će Linux, prema mojoj slobodnoj procjeni, u potpunosti zamijeniti Unix na superračunalima zbog svojih višestrukih prednosti. Unix operacijski sustav pruža manje

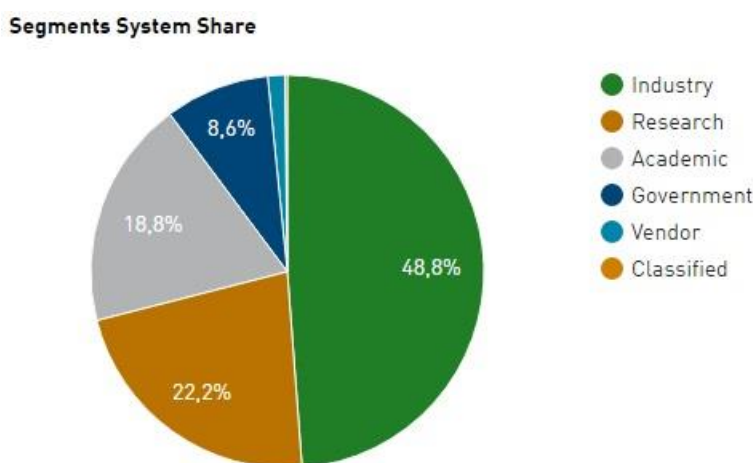
fleksibilnosti od Linux-a. K tome neke verzije Unix-a nisu besplatne, dok je Linux besplatan i *open source* operacijski sustav kojeg mogu koristiti svi – od korisnika osobnih računala pa sve do korisnika superračunala, dok se Unix najviše koristi za upravljanje serverima i radnim stanicama. Linux je sličan standardnom Unix-u, ali ga je lakše koristiti i modificirati prema korisnikovim potrebama (Zinoune 2012).

## 4. Prednosti i nedostaci superračunala

### 4.1. Svrha, uporaba i prednosti superračunala

Suvremena superračunala pronalaze svoju primjenu u raznoraznim područjima. Sa slike 4 vidljivo je kako se najveći broj (48.8%) superračunala s liste TOP500 koristi u industriji. Dvostruko manje (22.2%) superračunala se koristi u istraživačke svrhe. Znanstvenici i stručnjaci ih koriste u mnogim sferama znanosti poput primjerice energetske istraživanja, proučavanja i simulacija vremena i klimatskih promjena, istraživanja na područjima biokemije, fizike itd.

Znatan postotak superračunala (18.8%) koristi se na sveučilištima diljem svijeta za akademska istraživanja. Nadalje, na listi TOP500 nalaze se 43 superračunala (8.6%) u vlasništvu državnih vlada diljem svijeta. Države ih ponajprije koriste u obrambene i vojne svrhe. Osim toga, sami proizvođači superračunala ih koriste u vlastitim istraživanjima i razvoju novih i boljih računalnih sustava. Neki od najvećih proizvođača superračunala su poznate tvrtke poput HP-a, Lenova i IBM-a. Zanimljivo je da na listi ima jedno superračunalo s tajnom namjenom pod imenom Thor. Nalazi se na 150. mjestu i koristi ga Ratno zrakoplovstvo SAD-a (engl. *US Air Force*).



Slika 4. Područja primjene superračunala (prema podacima iz lipnja 2016.)  
Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

S pravom se možemo pitati – što sve superračunalo može učiniti za nas? Glavna prednost je da superračunala ubrzavaju dolazak do rezultata. Izračune za koje bi običnom računalu trebalo primjerice 30 dana, superračunalo može riješiti u jednom danu ili čak za nekoliko sati. Ali ubrzavanje izračuna nije dovoljno. Potrebno je tražiti i nove načine za analiziranje podataka (Hoffman 1989).

Superračunala nam omogućuju vizualni prikaz rezultata istraživanja. Konstantno se traže novi načini vizualizacije kako bi se dobio bolji uvid u rezultate. Uzmimo kemičare i prikaze molekula kao primjer. Kemičari su u stvarnom životu zbog složenosti atoma i molekula ograničeni što se tiče njihovog vizualnog prikaza. U stvarnom životu ih pojednostavljeno prikazuju štapićima i kuglicama, ali molekule nisu kuglice ni štapići, nego aktivna i kompleksna nakupina elektrona koji okružuju jezgru atoma. Korištenjem računala i superračunala kemičar može mnogo jasnije prikazati atome i molekule te time dobiva bolji uvid ne samo prilikom prikaza jednostavnih atoma i molekula, već i kod kompleksnih istraživanja poput primjerice složenih kemijskih reakcija. Samo „kemičar koji je u mogućnosti podatke sagledavati na pravi način može prepoznati nove obrasce, postavljati nove hipoteze ili otkriti nešto novo“<sup>5</sup> (Hoffman 1989: 77).

### 4.2. Nedostaci superračunala

Uz mnoge prednosti koje superračunala pružaju, ona imaju i nekoliko nedostataka. Prije svega valja napomenuti njihovu visoku cijenu. Prosječna stolna i prijenosna računala danas koštaju nekoliko tisuća kuna i svojom cijenom su prihvatljiva širokom spektru ljudi, dok se cijena superračunala broji u milijunima američkih dolara. Hrvatska Bura je primjerice koštala 44.7 milijuna kuna, dok je trenutno najsnažnije superračunalo svijeta Sunway TaihuLight plaćeno 273 milijuna dolara. Osim cijene, superračunala i osobna računala razlikuje fizički prostor koji zauzimaju. Osobna računala zauzimaju vrlo malo prostora i lako su prenosiva, dok s druge strane superračunala zauzimaju veliki fizički prostor i za njihovo postavljanje potrebne su velike prostorije. Uz to se svaka prosječno

---

<sup>5</sup> Citat je slobodni prijevod autora koji u originalu glasi: „chemist who can view the data in just the right way can perhaps discern new patterns, derive new hypotheses, and explore new directions.“

informatički pismena osoba može lako koristiti osobnim računalima, što kod superračunala nije slučaj. Za rad na superračunalu djelatnici i korisnici najprije moraju proći obuku kako bi znali koristiti opremu koja u slučaju superračunala nije jeftina i njome se mora oprezno rukovati.

Jedna od najvećih prednosti superračunala je da omogućuju mnogo brže rješavanje kompleksnih zadataka od osobnih računala. Superračunala su sposobna manipulirati ogromnom količinom podataka u izuzetno kratkom vremenu i time štede vrijeme, ali samo vrijeme rješavanja zadatka ovisi i o njegovoj kompleksnosti. Zadatke za koje bi osobnom računalo primjerice trebalo mjesec dana, superračunalo može obaviti u nekoliko sati. Ali čak i superračunalima također ponekad treba nekoliko tjedana ili mjeseci za izvođenje iznimno kompleksnih aplikacija. Često postoje ograničenja prilikom pokretanja poslova na superračunalima. Kod računala s clusterskom organizacijom potrebno je voditi računa da izvršavanje zadataka na pojedinom čvoru ne koristi više radne memorije nego što je na njemu dostupno. Ukoliko se koristi više memorije nego što je raspoloživo na pojedinom čvoru, doći će do korištenja virtualne memorije smještene na diskovima računalnog čvora i višestrukog usporenja izvršavanja posla (SRCE 2016).

Nadalje, istraživanja uz pomoć superračunala ne zamjenjuju istraživanja u stvarnosti nego daju samo rezultate u teoriji što ima svoje mane, ali i prednosti. Prednost takvih teoretskih istraživanja bi primjerice bilo otkrivanje negativnih posljedica koje bi neko istraživanje u stvarnosti moglo prouzročiti. S druge pak strane teoretska istraživanja ne mogu u svakom slučaju u potpunosti simulirati procese i njihove posljedice u stvarnom svijetu pa se teoretska istraživanja na superračunalima mogu znatno razlikovati od rezultata u praksi.

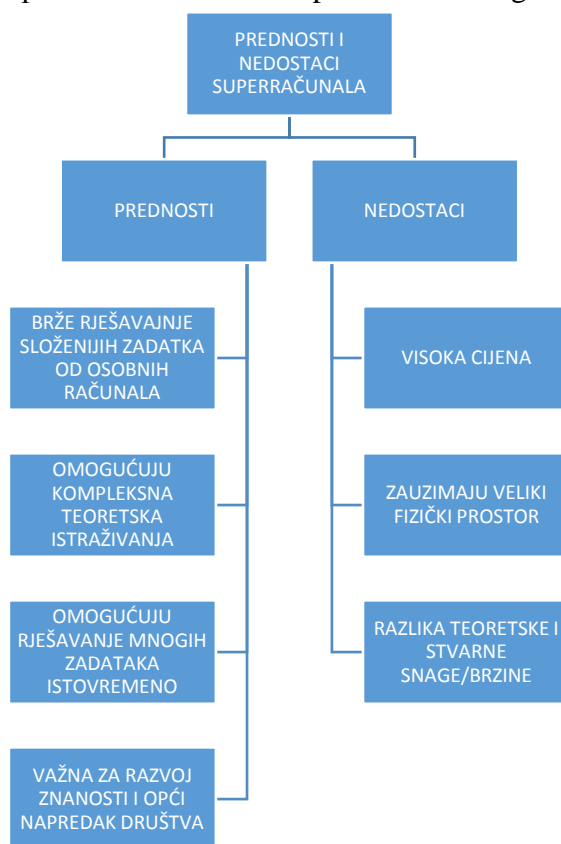
Već se i sama brzina superračunala razlikuje u teoriji i praksi. Pohrana i brzina pristupa podacima jedan su od mogućih problema prilikom izvođenja operacija na računalnim sustavima clusterske organizacije jer se razlikuju teoretska i stvarna brzina superračunala. Ukoliko datoteke nisu pohranjene na podatkovnom prostoru na čvoru na kojem se odvijaju operacije, potrebno je duže vrijeme da se učitaju i dolazi do smanjenja brzine izvođenja poslova zbog intenzivne potrebe za mrežnom komunikacijom.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Informacije preuzete sa stranice <http://www.srce.unizg.hr/usluge/isabella/za-korisnike>

Slika 5. Grafički prikaz prednosti i nedostataka superračunala

Na grafičkom prikazu sa slike 5 prikazane su glavne prednosti i mane



superračunala. Usprkos toga što superračunalo imaju i svoje mane, one su zanemarive naspram njihovih prednosti i uzme li se u obzir doprinos koji superračunala imaju današnjem svijetu.



## 5. Top lista superračunala

Na internetskom portalu [www.top500.org](http://www.top500.org) četiri stručnjaka (Erich Strohmaier, Jack Dongarra, Horst Simon i Martin Meuer)<sup>7</sup> s područja HPC-a iz Njemačke i SAD-a dva puta godišnje ažuriraju listu 500 najjačih superračunala u svijetu koja su komercijalno dostupna. Njihov glavni kriterij za uvrštavanje superračunala i računalnih sustava u TOP500 listu je rezultat na LINPACK *benchmark*-u<sup>8</sup>. Tvorac LINPACK *benchmark*-a je jedan od autora TOP500 liste – Jack Dongarra. Dongarra ga je predstavio 1979. godine u sklopu LINPACK (kratica od engl. *Linear package*) softverskog paketa napisanog u programskog jeziku Fortran koji je trebao služiti za uporabu na superračunalima. Za rangiranje najjačih superračunala svijeta koristi se od 1993. godine kada je objavljena prva TOP500 lista. LINPACK softverski paket, a ujedno i *benchmark*, sastoji se od različitih linearnih jednadžbi temeljenih na dekompozicijskom pristupu numeričkoj linearnoj algebri. Zadaci se sastoje od matrica koje se umnožavaju ili dijele na manje matrice kojima se manipulira kako bi se riješio zadani problem (Dongarra 2001).

Računalni sustavi izvršavaju linearne zadatke iz LINPACK *benchmark*-a i na listi se rangiraju samo po tom postignutom rezultatu. LINPACK pokazuje samo maksimalnu snagu superračunala prilikom izvođenja njegovih linearnih zadataka što je jedan od nedostataka takvog pristupa mjerenju snage računalnog sustava. Mnogi znanstvenici zamjeraju takav pristup TOP500 liste jer LINPACK ne prikazuje realnu snagu i stanje računalnog sustava, odnosno kako će se sustav nositi s mnogo kompleksnijim aplikacijama.

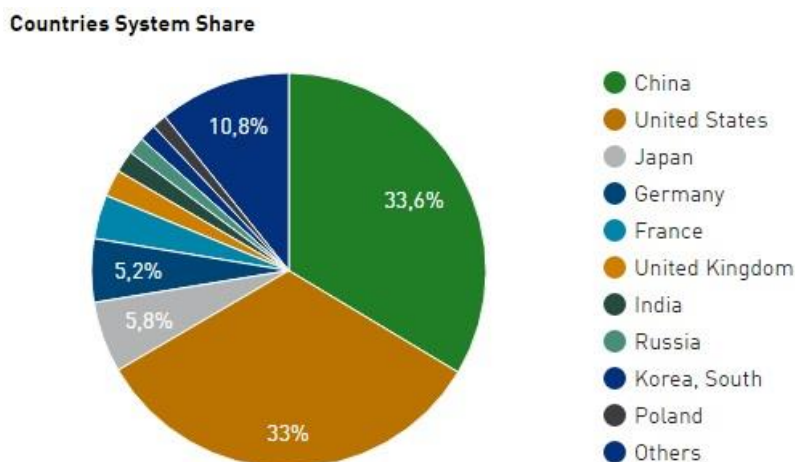
Posljednja lista top 500 superračunala obznanjena je 20. lipnja 2016. godine u Frankfurtu na Međunarodnoj konferenciji o superračunalima (engl. *International Supercomputer Conference*). Osim sažetih pregleda karakteristika superračunala, mogu se proučiti brojni grafovi i statistike koje su napravljene po različitim parametrima poput:

---

<sup>7</sup> Uz 4 navedena autora TOP500 liste, peti autor liste bio je Hans Werner Meuer koji je preminuo 2014. godine. On je ujedno bio i glavni osnivač TOP500 liste najjačih superračunala svijeta,

<sup>8</sup> Prema definiciji s Hrvatskog jezičnog portala, *benchmark* je pojam koji se odnosi sustav mjerenja, standard ili program koji mjeri brzinu i djelotvornost računalnih operacija.

područja primjene, raspodjele superračunala po kontinentima i državama, korištene arhitekture i operacijskog sustava te mnogih drugih.



Slika 6. Udio superračunala po državama (podaci iz lipnja 2016.)  
Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

S grafa na slici 6 primjetno je kako prva dva mjesta po broju superračunala u svijetu čvrsto drže Kina i SAD, što ni ne čudi kada se uzme u obzir da su Kina i SAD dvije od najvećih političkih, gospodarskih i vojnih velesila. Oni zajedno imaju dvije trećine (66.6%) svjetskog udjela superračunala. Od prvog objavljivanja liste pa sve do 2016. godine, SAD je posjedovao najviše superračunala u svijetu. Prema najnovijem popisu Kina vodi sa 167 superračunala, dok ih SAD ima 165. Daleko iza njih slijede Japan (5.8%) i Njemačka (5.2%).<sup>9</sup>

Kina već godinama drži čelnu poziciju s najjačim superračunalom na TOP500 listi, a isti slučaj je s ovogodišnjim 47. izdanjem. Od ove godine Kina ima novi računalni sustav na prvom mjestu. Dosadašnje najjače kinesko superračunalo Tianhe-2 prepustilo je svoje mjesto računalnom sustavu Sunway TaihuLight. Na slici 7 može se vidjeti trenutačno prvih pet najjaćih superračunala svijeta.

<sup>9</sup> Informacije preuzete sa stranice <https://www.top500.org/lists/2016/06/>

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	National Supercomputing Center in Wuxi China	<b>Sunway TaihuLight</b> - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRCPC	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
2	National Super Computer Center in Guangzhou China	<b>Tianhe-2 (MilkyWay-2)</b> - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P NUDT	3,120,000	33,862.7	54,902.4	17,808
3	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	<b>Titan</b> - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	560,640	17,590.0	27,112.5	8,209
4	DOE/NNSA/LLNL United States	<b>Sequoia</b> - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM	1,572,864	17,173.2	20,132.7	7,890
5	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705,024	10,510.0	11,280.4	12,659.9

Slika 7. Top 5 superračunala (prema podacima iz lipnja 2016.)

Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

Sunway TaihuLight je superračunalo u cijelosti dizajnirano i napravljeno u Kini te prema LINPACK benchmark-u dostiže brzinu od 93 petaflop/s (jednako 93 014 teraflop/s ili 93 000 trilijuna izračuna u sekundi), dok je maksimalna teoretska brzina 125 petaflop/s. Sadrži 10 649 000 procesorskih jezgri radnog takta 1.45 GHz povezanih pomoću 40 960 čvorova (engl. *nodes*). Dvostruko je brže i tri puta učinkovitije od Tianhe-2 (93 petaflop/s naspram 33 petaflop/s). Nadalje, potrošnja energije pod punim opterećenjem benchmarka iznosi 15,37 MW. Uzimajući u obzir veći broj procesorskih jezgri, a manju potrošnju energije od superračunala Tianhe-2, može se zaključiti kako je Sunway TaihuLight ekonomski prihvatljiviji zbog boljeg omjera snage i potrošnje energije. Sunway TaihuLight se prema podacima sa službenih stranica TOP500 liste najviše koristi i koristit će se za istraživanje klimatskih promjena, razvoj znanosti i industrije te analizu podataka. Tianhe-2 se kao i Sunway TaihuLight koristi za analizu velikih količina podataka te za razne simulacije i aplikacije koje se koriste u sigurnosne svrhe.

Na trećem i četvrtom mjestu TOP500 liste nalaze se dva superračunala iz SAD-a – Titan i Sequoia. Titan se nalazi na trećem mjestu i brži je od Sequoia-e iako ima gotovo

trostruko manje procesorskih jezgri od Sequoia-e. Sequoia ih ima 1 572 864, dok ih Titan ima „samo“ 560 640, ali je cijeli računalni sustav optimiziraniji i noviji. Titan se prema podacima iz 2012. godine koristio primjerice za istraživanja dugotrajnih posljedica klimatskih promjena te za simulacije magnetskih svojstava materijala, procesa koji se odvijaju u motoru s unutarnjim izgaranjem ili simulacije transporta neutrona u reaktoru nuklearne elektrane. Sequoia se pretežito koristi u vojne svrhe - najviše za istraživanje naprednog naoružanja, posebice nuklearnog oružja. Koristi se kako bi podzemna testiranja zamijenila onima u teoriji i kako bi osigurala pouzdanost i stabilnost nuklearnog naoružanja SAD-a. Kao odgovor na novo najjače kinesko superračunalo, predsjednik SAD-a Barack Obama pokrenuo je inicijativu za izradu prvog superračunala od 1 exaflop/s koje bi bilo 30 puta brže od današnjih najbržih superračunala.

Na petom mjestu nalazi se trenutno najjače japansko superračunalo pod nazivom „K computer“ i najviše se koristi za istraživanja u znanosti i industriji. Iako ima više procesorskih jezgri od američkog Titana (705 024 naspram Titanovih 560 640), „K computer“ postiže slabiji rezultat na LINPACK benchmarku. Dok Titan postiže brzinu od 17.5 petaflop/s, snaga K computer-a iznosi 10.5 petaflop/s i k tome ima veću potrošnju energije. Potrošnja energije pod punim opterećenjem mu iznosi 12.6 MW, dok Titan troši 8.2 MW. Može se zaključiti kako je japansko superračunalo slabije optimizirano i balansirano od američkog koje postiže mnogo bolje rezultate iako ima manji broj procesorskih jezgri.

Zaključno, može se primijetiti kako trenutno 5 najjačih superračunala svijeta ima vrlo slično područje uporabe. Većina ih se koristi za istraživanja na područjima znanosti i industrije te za proučavanje klimatskih promjena i njihovih posljedica.

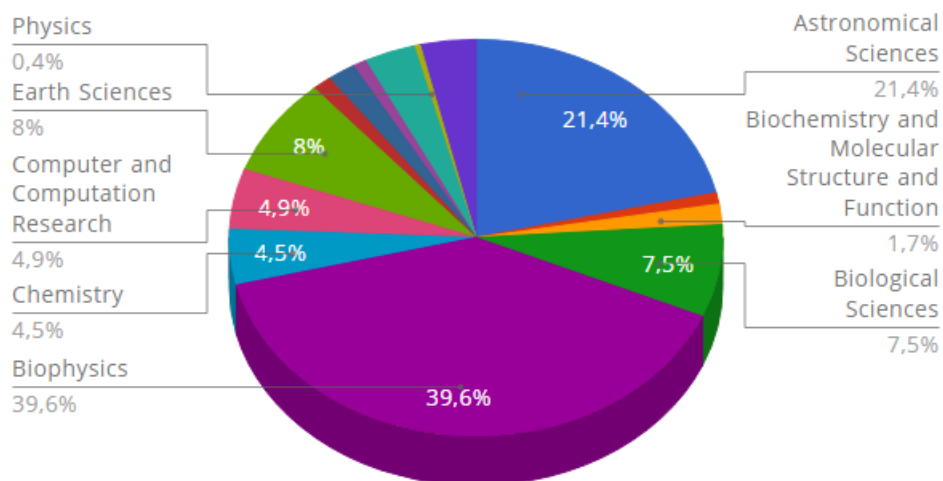
## 6. Blue Waters

Superračunalo Blue Waters trenutno je najbrže superračunalo među onima koja se ne nalaze na TOP500 listi. Superračunalo se nalazi na Sveučilištu u Illinoisu u SAD-u. Sustav se prema podacima sa službenih stranica Sveučilišta sastoji od 22 640 računalnih čvorova koji zajedno imaju 362 240 jezgri. Maksimalna teoretska brzina iznosi 13.34 petaflop/s što je gotovo 9 i pol puta sporije od najbržeg superračunala svijeta – kineskog Sunway TaihuLight-a čija je maksimalna teoretska brzina 125.44 petaflop/s. Ukoliko bi superračunalo Blue Waters bilo uvršteno na TOP500 listu, ono bi svojom maksimalnom teoretskom brzinom zauzelo 5. mjesto.

Prema riječima direktora i voditelja projekta Williama Kramera, Blue Waters vjerojatno nikad neće biti dio TOP500 liste. Kramer na službenim stranicama Blue Watersa navodi nedostatke te liste. Veliki broj superračunala se na listu uvrštava već prilikom izrade, spajanja i testiranja u tvornicama, odnosno prije njihovog puštanja u pogon. Takav je slučaj bio i s najjačim hrvatskim superračunalom Bura o kojem će više riječi biti u poglavlju 8.1. Bura je na listu uvrštena u studenom 2015., iako je službeno puštena u pogon u veljači 2016. godine. Kramer savjetuje kako bi se na TOP500 listu trebali uvrštavati samo računalni sustavi koji su u potpunosti pušteni u svakodnevni rad.

Kao što je navedeno u poglavlju 5, glavni kriterij za uvrštavanje superračunala na TOP500 listu je rezultat na LINPACK *benchmark*-u. Voditelji projekta Blue Waters ne žele izmjeriti snagu njihovog računalnog sustava uz pomoć LINPACK-a jer smatraju da on ne daje realan uvid u snagu i mogućnosti superračunala u svakodnevnoj uporabi. William Kramer smatra da TOP500 lista ponekad negativno utječe na organizacije i institucije koje se pri kupnji i sastavljanju superračunala koncentriraju na postizanje što veće teoretske snage umjesto da vode računa o optimiziranosti cijelog sustava u svakodnevnom izvršavanju različitih kompleksnih zadataka i aplikacija. Navodi kako postoji nekoliko primjera superračunala kod kojih su organizacije ugradile smanjeni podatkovni prostor u korist većeg broja procesorskih jezgri kako bi rezultat na LINPACK *benchmark*-u bio bolji, odnosno rang na TOP500 ljestvici bio viši. Prema Kramerovim riječima, takvi sustavi postaju manje učinkoviti u praksi jer njihov hardver nije

izbalansiran. Kao moguće rješenje tog nedostatka TOP500 liste predlaže stvaranje te uvođenje novog i smislenijeg *benchmark*-a koji bi bio sposoban dati realniji uvid u ono što je stvarno moguće postići superračunalom u svakodnevnoj uporabi.<sup>10</sup>



Slika 8. Zadaci koje Blue Waters izvršava (prema podacima od 30.8.2016.)

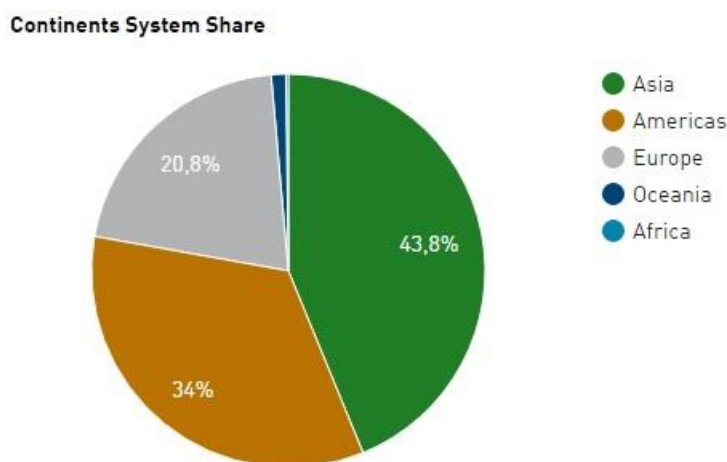
Preuzeto s <https://bluewaters.ncsa.illinois.edu/>

Blue Waters je superračunalo koje najviše koristi Sveučilište u Illinoisu, ali ono je dostupno i drugim sveučilištima te institucijama diljem SAD-a. Superračunalo je u prvom redu namijenjeno projektima iz znanosti, iako se koristi i u gospodarstvu te drugim granama. Na službenim se stranicama Sveučilišta u Illinoisu mogu pronaći informacije o trenutnom korištenju sustava kao npr. informacije o znanstvenim područjima u kojima se odvijaju projekti, broj projekata koji se izvršavaju, broj onih koji čekaju u redu itd. S grafa sa slike 8 vidljivo je kako više od polovice raspoložive snage superračunala koriste projekti u području biofizike (39.6%) i astronomije (21.4%). Gotovo svi projekti na superračunalu su s područja prirodnih znanosti.

<sup>10</sup> Informacije preuzete sa stranice <http://www.ncsa.illinois.edu/news/stories/TOP500problem>

## 7. Raspodjela superračunala u svijetu

Već je spomenuto kako Kina drži prva dva mjesta na najnovijoj TOP500 listi najjačih superračunala svijeta. Iz grafa sa slike 9 jasno je kako Azija ima više superračunala od Sjeverne i Južne Amerike. Europa ih ima dvostruko manje od Azije, a na začelju su Australija s Oceanijom i Afrika.

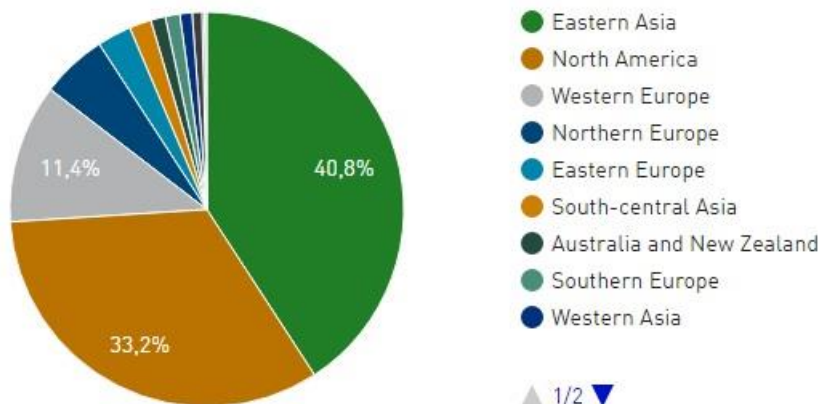


Slika 9. Udio superračunala po kontinentima (prema podacima iz lipnja 2016.)

Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

Takav raspored superračunala u svijetu ne čudi. Veliku ulogu pritom ima razvijenost kontinenata. Afrika je danas najnerazvijeniji kontinent u više pogleda – gospodarskom, političkom i vojnom. Na cijelom afričkom kontinentu je samo jedno superračunalo na TOP500 listi najjačih superračunala svijeta. Nalazi se u Cape Townu u Južnoafričkoj Republici i zauzima 121. mjesto.

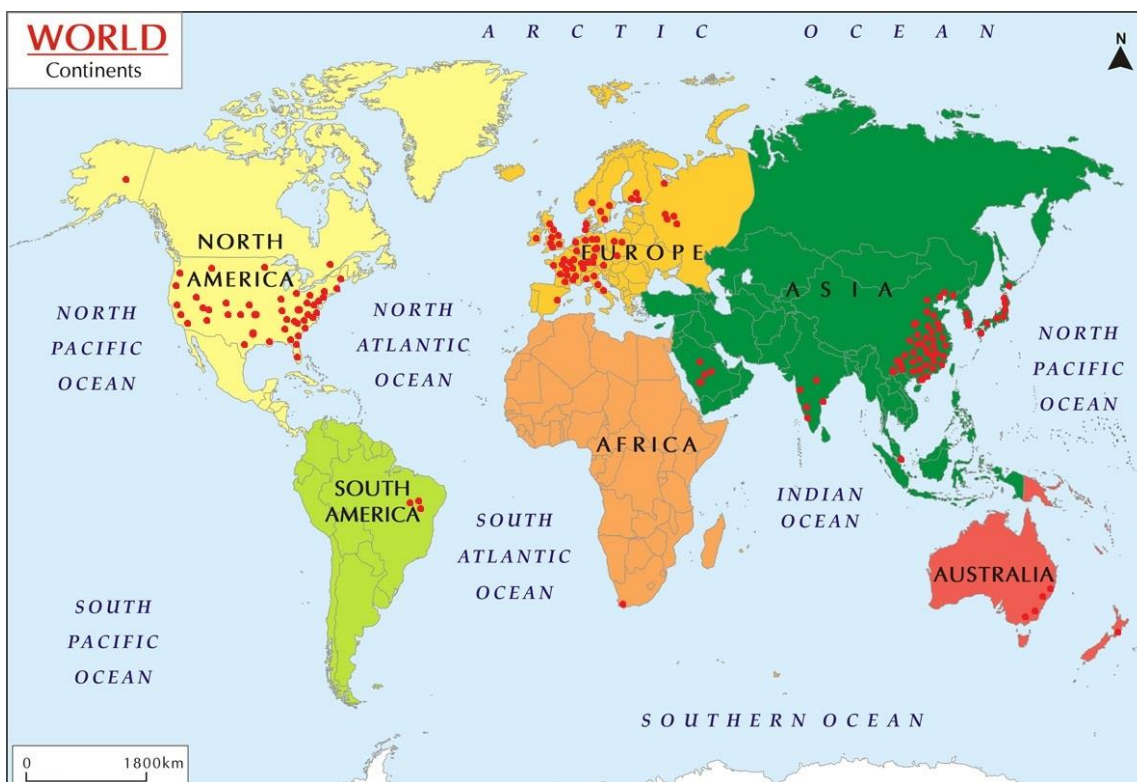
Geographical Region System Share



Slika 10. Udio superračunala po geografskim regijama (prema podacima iz lipnja 2016.)  
Preuzeto s [www.top500.org](http://www.top500.org)

Slika 10 daje detaljniji prikaz raspodjele superračunala po kontinentima. Vidljivo je da nisu samo ogromne razlike među kontinentima nego i unutar samih kontinenata. Istočna Azija predvodi s najviše superračunala (40.8%) na TOP500 listi, dok se južna i centralna Azija nalaze tek na šestom mjestu što ukazuje na nejednaku razvijenost dijelova Azije. Isto je i s Europom – najviše superračunala nalazi se u zapadnoj Europi koja je najrazvijeniji dio Europe. Dvostruko manje ih je u sjevernoj Europi, dok istočna i južna Europa zaostaju za ostalim dijelovima i u najnepovoljnijem su položaju s najmanjim brojem superračunala. Prikaz gustoće i raspodjele 500 najjačih superračunala u svijetu daje slika 11 u nastavku.





Slika 11. Raspodjela 500 najjačih superračunala u svijetu

## 8. Superračunala u Hrvatskoj

Hrvatska je na TOP500 listi iz studenog 2015. godine bila zastupljena s jednim superračunalom. Ono nosi naziv Bura i nalazi se u Centru za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci. Službeno je pušteno u pogon u veljači 2016. godine. Nadalje valja spomenuti superračunalo Isabella koje se nalazi u Sveučilišnom računskom centru Sveučilišta u Zagrebu (SRCE), ali nije među najjačih 500 superračunala svijeta.

### 8.1. Superračunalo Bura

Kao što je već navedeno, Bura se prema podacima iz studenog 2015. godine nalazila na 440. mjestu TOP500 liste, dok se na najnovijoj listi iz lipnja 2016. godine ne nalazi na popisu jer su na listu uvrštena nova i jača superračunala koja su ju izgurala s popisa 500 najjačih superračunala svijeta.<sup>11</sup> Bura se zasniva na hibridnoj računalnoj arhitekturi koja se sastoji od višeprosorskih i višeračunalnih sustava. Burinih 288 računalnih čvorova zajedno imaju 18 TB memorije i 95 TB diskovnog prostora za pohranu, dok središnji sustav za pohranu podataka ima kapacitet od 1 PB. Svaki pojedini čvor ima 24 procesorske jezgre, 64 GB radne memorije i 320 GB podatkovnog prostora. Čvorovi su međusobno povezani neblokirajućim interkonekcijama u mrežu visoke propusnosti i niske latencije kako bi vrijeme čekanja, odnosno vrijeme koje protekne od trenutka zahtjeva za podacima do trenutka dok se ti podaci ne pojave bilo što kraće. „Za vizualizaciju rezultata kompleksnih računalnih aplikacija koristi se sustav za HPC vizualizaciju visoke razlučivosti“.<sup>12</sup>

Postignuti rezultat na testu brzine iznosi 233 teraflop/s što je gotovo 400 puta sporije od najjačeg superračunala svijeta Sunway TaihuLight čija izmjerena brzina iznosi 93 914 teraflop/s. K tome Sunway TaihuLight ima gotovo 1 540 puta više procesorskih jezgri od Bure (10 649 600 naspram Burinih 6 912). Napajanje Bure je snage 250 kW, što

<sup>11</sup> Informacije preuzete sa stranice <https://www.top500.org/statistics/sublist/>

<sup>12</sup> Bura. Centar za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci  
URL: <http://cnrm.uniri.hr/bura/> (26.8.2016.)

je gotovo 62 puta manje od potrošnje energije superračunala Sunway TaihuLight koje iznosi 15 371 kW.

Prostor u kojem je smješteno superračunalo Bura površine je 100 m<sup>2</sup>. Tom je prostoru i superračunalu potrebno održavati primjerenu temperaturu, a za to brine sustav hlađenja koji je napravljen od dva podsustava:

- sustav tople vode za direktno hlađenje računalnih čvorova
- sustav hladne vode za hlađenje ostalih komponenti i četiri klima ormara podatkovnog centra.

Čvorovi se, ovisno o vremenskim uvjetima, veći dio vremena u godini hlade sustavom tople vode na *freecooling* principu, odnosno bez aktivnog hlađenja do vanjske temperature od 27 °C. Prebacivanje iz prinuđenog hlađenja u *freecooling* hlađenje odvija se automatski kada su za to ispunjeni uvjeti. Sustav je u potpunosti automatiziran i kontroliran.<sup>13</sup>

U razgovoru s gospodinom Miroslavom Puškarićem, asistentom u Centru za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci, saznao sam da Bura može koristiti svaka organizacija koja radi na kvalitetnim znanstvenim projektima. Prema dobivenim informacijama, Bura se najviše koristi u području biotehnologije u što između ostalog ulaze računarska kemija i bioinformatika. Osim toga, koristi se u istraživačkim projektima na Sveučilištu u području nanoznanosti, biomedicine, građevinarstvu, prirodnim znanostima, ali i u razvojnim projektima iz gospodarstva. Zbog povjerljivosti informacija nije moguće dobiti detaljnije informacije o sadašnjim ili završenim projektima koji koriste ili su koristili Bura.

## 8.2. Superračunalo Isabella

Superračunalo Isabella je prema svojoj organizaciji računalni cluster izgrađen 2002. godine za potrebe projekta Ministarstva znanosti i tehnologije. Cilj je bio da se svim zainteresiranim hrvatskim znanstvenicima omogući pristup računalnom clusteru te

---

<sup>13</sup> Informacije preuzete sa stranice <http://cnrm.uniri.hr/bura/>

priključivanje i rad europskom projektu DataGrid kojeg vodi CERN (akronim od franc. Conseil européen pour la recherche nucléaire: hrv. Europsko vijeće za nuklearna istraživanja). Prvobitan cluster iz 2002. godine imao je 8 jednodoprosorskih čvorova. Isabella se s godinama nadograđivala i danas se sastoji od 40 računalnih čvorova s ukupno 704 procesorske jezgre, 5 TB radne memorije i 200 TB dijeljenog podatkovnog prostora.<sup>14</sup> 6. rujna 2016. godine posjetio sam Sveučilišni računski centar u Zagrebu i imao priliku vidjeti Isabellu uživo te razgovarati s Emirom Imamagićem – voditeljem sektora za računalne sustave. Kroz razgovor sam saznao brojne informacije od kojih se neke ne nalaze na Internet stranicama SRCE-a poput primjerice brzine Isabelle. Njezina izmjerena brzina iznosi 10 teraflop/s što je 23.3 puta sporije od riječke Bure (233 teraflop/s) i 9 314.4 puta sporije od najjačeg superračunala svijeta – kineskog Sunway TaihuLight-a.

„Rad na clusteru omogućen je svim suradnicima projekata prijavljenih pri MZOS te organizacijama i pojedincima koji nemaju projekt pri MZOS, ali im je korištenje clustera odobreno od strane Vijeća korisnika<sup>15</sup>“ (SRCE 2016). Ne postoji vremensko ograničenje za korištenje Isabelle. Prema popisu i dostupnim podacima sa službenih stranica SRCE-a, Isabellu danas koristi više od 83 istraživačkih projekata i 249 znanstvenika iz vodećih sveučilišnih i znanstvenih ustanova u Hrvatskoj. Isabella se, kao i riječka Bura, najviše koristi u području biotehnologije, biokemije i biomedicine. Prema informacijama dobivenih od gospodina Imamagića, na Isabelli je u 2015. godini izvršeno 96 931 poslova. Po broju aktualnih i završenih projekata na superračunalu Isabella prednjači Institut Ruđer Bošković iz Zagreba s istraživanjima u područjima teorijske i eksperimentalne fizike, elektronike, organske kemije, biokemije, molekularne biologije i biomedicine. Osim Instituta Ruđer Bošković, česti korisnici su zagrebački fakulteti: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Farmaceutsko-biokemijski fakultet i Prirodoslovno-matematički fakultet. No Isabella ne služi samo zagrebačkim znanstvenicima, institucijama i fakultetima, već i šire. Isabellu koriste fakulteti i institucije iz ostalih krajeva hrvatske poput primjerice Fakulteta prirodoslovno-matematičkih znanosti i kineziologije u Splitu ili Odjel za fiziku Sveučilišta u Rijeci. Na službenim

---

<sup>14</sup> Informacije preuzete sa stranice <http://www.srce.unizg.hr/usluge/isabella/povijest-klastera-isabella>

<sup>15</sup> Vijeće korisnika čine tri predstavnika korisnika te po jedan predstavnik MZOS-a i Srca.

stranicama SRCE-a moguće je putem linka (<http://tannat.srce.hr/acc/>) pratiti broj zadataka koji se trenutno izvršavaju na Isabelli te one koji čekaju u redu. Prema podacima od 6. rujna 2016. godine, Isabella je izvršavala 314 zadataka, a još ih je 368 bilo u redu čekanja. Prosječno je 456 poslova u redu čekanja, a vrijeme čekanja iznosi 16.9 sati.

Gospodin Imamagić mi je ukratko predstavio i najnoviji hardverski resurs u SRCE-u koji je ugrađen 2016. godine u suradnji s Ministarstvom zaštite okoliša i prirode u svrhu izrade strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj. Taj je sustav dostupan korisnicima kada se ne koristi za potrebe projekta. Sadrži 1 792 procesorske jezgre povezane u 64 čvora i brzina mu iznosi 44.4 teraflop/s što je 4.4 puta brže od Isabelle.

Zbog povjerljivosti informacija i tajnosti podataka za Buru nije moguće izvršiti komparativnu analizu projekata koji su se odvijali ili se odvijaju na 2 hrvatska superračunala. Bilo bi zanimljivo usporediti koliko se razlikuju (ili sličje) u područjima upotrebe. Nadajmo se da će oba superračunala doprinijeti ne samo razvoju znanosti u Hrvatskoj i svijetu, nego i cjelokupnom napretku Hrvatske.

## 9. Projekti iz svijeta

Jedan od najzanimljivijih projekata današnjice koji koristi superračunala je zasigurno istraživanje temeljnih pitanja fizike uz pomoć Velikog hadronskog sudarivača (engl. *Large Hadron Collider*; u daljnjem tekstu LHC) u CERN-u u Ženevi. LHC je sa svojom duljinom od 27 kilometara najveći svjetski akcelerator čestica. Čestice se u LHC-u sudaraju otprilike 600 milijuna puta u sekundi i za detaljnu analizu potrebni su snažni hardverski resursi. Godišnje prilikom istraživanja uz pomoć LHC-a nastaje više od 30 PB (30 milijuna GB) podataka i za analizu tako velike količine podataka CERN-ovo superračunalo nije dovoljno snažno. Stoga su 2002. godine osnovali svjetsku mrežu računalnih sustava pod nazivom *Worldwide LHC Computing Grid* (kratica WLCG).<sup>16</sup> U članstvu WLCG-a su 42 države iz cijelog svijeta s ukupnim brojem od 170 računalnih centara. Dio WLCG-a je već spomenuti europski projekt DataGrid čiji je član Hrvatska nacionalna grid infrastruktura (kratica CRO NGI) sa središtem u SRCE-u. Prema dostupnim podacima sa Internet stranica SRCE-a, CRO NGI je računalni sustav koji je sastavljen od procesorskih i podatkovnih resursa smještenih u čvorištima u više mjesta unutar Hrvatske. Preko WLCG mreže gotovo 8 000 znanstvenika s područja fizike ima pristup podacima nastalih tijekom istraživanja na LHC-u. Analiza podataka putem WLCG računalne mreže omogućila je fizičarima otkrivanje Higgsovog bozona koji je u narodu popularno nazivan Božjom česticom. Fizičari François Englert and Peter Higgs svoje su otkriće objavili 4. srpnja 2012. godine, a već su sljedeće godine obojica nagrađeni Nobelovom nagradom iz fizike.<sup>17</sup>

Osim istraživanja Higgsovog bozona uz pomoć LHC-u, u CERN-u se bave i mnogim drugim istraživanjima. Jedan od projekata je proučavanje takozvane antitvari ili antičestice. Već je britanski fizičar Paul Dirac 1928. godine tumačio temeljna načela antitvari postavljajući teoriju kako za svaku česticu postoji njezina odgovarajuća antičestica. Obje se podudaraju u svim svojim karakteristikama osim u naboju. Suprotnih su naboja. Prema Diracovoj teoriji primjerice svaki elektron ima svoj antielektron. Ukoliko

<sup>16</sup> Informacije preuzete sa stranice <https://home.cern/about/computing>

<sup>17</sup> Informacije preuzete sa stranice <https://home.cern/topics/higgs-boson>

čestica i njezina odgovarajuća antičestica dođu u kontakt, dolazi do njihovog uništenja u djeliću sekunde i pritom se oslobađa energija.<sup>18</sup>

Uz znanstvenike iz CERN-a, mnogi drugi znanstvenici diljem svijeta također proučavaju čestice i antičestice. Znanstvenici i inženjeri sa Sveučilišta Princeton iz SAD-a su nakon desetljeća istraživanja 2014. godine otkrili česticu koja je istovremeno i antičestica što je revolucionarno otkriće na tom području budući da se prema Diracovoj teoriji smatralo da čestica i antičestica nestaju u međusobnom kontaktu. Čestica je nazvana „Majoranov fermion“ po talijanskom fizičaru Ettoreu Majorani koji je već 1937. godine predvidio da jedna stabilna čestica može istovremeno biti čestica i antičestica. Znanstvenicima je za taj pothvat trebao mikroskop visine dvokatnice kako bi mogli zabilježiti snimke Majoranovog fermiona. U teoriji Majoranov fermion nastaje na krajevima supravodiča kojeg su znanstvenici izradili iz željeza širine jednog i debljine tri atoma. Cijeli je sustav bio ohlađen na  $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$  kako bi se stvorili idealni uvjeti za stabilna testiranja. Njihovo otkriće neće doprinijeti samo razvoju fizike nego potencijalno znanstvenicima omogućava veliki napredak u ostvarivanju kvantnih računala (Schultz 2014). O njima će biti riječi u sljedećem poglavlju.

Navedena istraživanja i otkrića su samo neki od brojnih primjera za što se sve koriste superračunala. Svakodnevno se na superračunalima u svijetu odvijaju tisuće istraživanja i često se pomoću njih dolazi do novih spoznaja. Sva ta istraživanja i otkrića pokazuju koliko su nam superračunala važna i koliki je njihov doprinos svijetu.

---

<sup>18</sup> Informacije preuzete sa stranice <https://home.cern/topics/antimatter>

## 10. Budućnost superračunala

Svakako jedna o najzanimljivijih tema vezanih uz superračunala jesu razmišljanja i pretpostavke o mogućnostima, vrstama i općenito o razvoju superračunala u budućnosti. Mišljenja o tim temama variraju od sasvim logičnih i znanstveno utemeljenih tvrdnji pa sve do znanstveno-fantastičnih scenarija. Najčešće se govori o temama poput razvoja umjetne inteligencije ili kvantnih računala koja bi zamijenila današnja klasična računala.

Kvantna računala mogla bi promijeniti svijet računala kakvog danas poznajemo. Današnja računala temelje svoj rad na binarnom sustavu, odnosno sustavu nula i jedinica. S druge pak strane kvantna računala, primjenjujući zakone kvantne mehanike, koriste takozvani „prošireni binarni sustav“ koji se temelji na kvantnim bitovima (engl. *qubit*), dok klasična računala količinu podataka mjere u bitovima. U teoriji kvantnih računala elektroni nisu predstavljeni samo jedinicama i nulama kao u klasičnom binarnom sustavu, nego istovremeno mogu biti u stanju jedinice i nule i takvo se stanje naziva kvantna superpozicija (Schulz 2014). Prototipovi kvantnih računala trenutno koriste malen broj kvantnih bitova, no danas smo svjedoci sve bržeg napretka tehnologije pa ne bi čudilo da kvantna tehnologija u bližoj budućnosti uđe u široku primjenu. Vjeruje se da će kvantna računala biti u mogućnosti riješiti određene probleme eksponencijalno brže od klasičnih računala i svojom će brzinom tehnologiju temeljenu na binarnom sustavu učiniti zastarjelom.

Nadalje, superračunala bi u budućnosti mogla imati veliku ulogu u razvoju umjetne inteligencije. Dosadašnji oblici umjetne inteligencije imaju sposobnost rješavanja samo određenih specifičnih problema te im nedostaje vlastita svijest, shvaćanje i razumijevanje što je u teoriji jedna od osnovnih karakteristika koje umjetna inteligencija mora posjedovati kako bismo ju mogli nazvati pravom umjetnom inteligencijom. U teoriji su njezine mogućnosti gotovo neograničene jer bi prava i potpuno razvijena umjetna inteligencija bila sposobna analizirati samu sebe, samostalno programirati dijelove svog koda, prepoznavati greške u kodu, ispravljati ih, djelovati u skladu s moralno-etičkim načelima itd. Današnja umjetna inteligencija ograničenih je mogućnosti i odnosi se primjerice na ekspertne sustave, sustave za planiranje ili neuronske mreže. Za razvoj prave umjetne inteligencije



nedostaje tehnologija kojom bi se to postiglo. Valja napomenuti kako razvoj umjetne inteligencije, ali i tehnologije općenito, strelovito napreduje te se taj razvoj nezaustavljivo nastavlja s novim revolucionarnim idejama i teorijama. Mogućnosti koje su se donedavno činile nedostižnima i pripadale sferi znanstveno-fantastičnog postaju sve izglednije kao tehnologije budućnosti s neograničenim mogućnostima primjene.

## 11. Zaključak

Poznato je kako se danas konstantno događaju razmirice među državama na političkom planu. Naročito vodeće gospodarske, političke i vojne velesile ulažu velike svote novaca u naoružanje kako bi pokazale nadmoć naspram drugih. Pritom se mnogo ulaže u superračunala koja sve veću primjenu pronalaze u vojnoj sferi za razvoj naprednog naoružanja, poslove špijuniranja itd. Kina i SAD su dvije gospodarski najrazvijenije zemlje svijeta, a za to su djelomično zaslužna njihova superračunala koja snažno doprinose razvoju gospodarstva. Prema najnovijoj TOP500 listi iz lipnja 2016. godine, zajedno imaju 332 superračunala među 500 najjačih superračunala svijeta što dokazuje da one nisu samo gospodarske i političke velesile, već i tehnološke. Općenito se može primijetiti kako razvijeniji dijelovi svijeta i države imaju više superračunala naspram onih koje to nisu, a kao primjer se mogu navesti afričke države i afrički kontinent koji ima samo jedno superračunalo na najnovijoj TOP500 listi.

Hrvatska na TOP500 listi iz lipnja 2016.godine nije zastupljena nijednim superračunalom, ali posjeduje dva (Bura i Isabella) koja su važna ne samo zbog razvoja znanosti, već i hrvatskog gospodarstva. Osim Bure i Isabelle, vrijedi još jednom spomenuti računalni cluster Hrvatske nacionalne grid infrastrukture koji sudjeluje u analizi podataka dobivenih istraživanjima u švicarskom CERN-u.

Važno je napomenuti da se razvoj superračunala i općenito računalne tehnologije ne može smatrati završenim procesom jer razvoj napreduje sve brže i sve većim koracima. Zbog sve većeg broja složenijih aplikacija i istraživanja, superračunala postaju sve moćnija i danas je gotovo nemoguće zamisliti kompleksna znanstvena istraživanja bez njih. Suvremena medicina, moderna astronomija, ekonomija i mnoga druga područja danas bi vrlo teško funkcionirala bez pomoći superračunala. Ona postaju sve važnija u svim područjima ljudskog djelovanja i imaju sve veći utjecaj na budući napredak znanosti, gospodarstva, ali i napredak civilizacije u cjelini. Međutim, superračunala unatoč stalnim poboljšanjima zasad nisu dovoljno snažna kako bi omogućila nova otkrića u manje razvijenim područjima poput primjerice umjetne inteligencije.

## Sažetak i ključne riječi / Summary and keywords

### Sažetak i ključne riječi

U uvodnom dijelu završnog rada opisan je značaj superračunala i računala u današnjem društvu, ali i kroz povijest. Također su navedeni i razlozi za odabir ove teme. U glavnom dijelu prikazana je struktura suvremenih superračunala – njihova veličina, snaga, broj procesora i jezgri, korišteni operacijski sustavi. Opisane su neke prednosti superračunala te njihova ograničenja i problemi s performansama. Nadalje, objašnjena je svrha i uporaba superračunala. Osim toga, predstavljena je i lista top 500 superračunala ([www.top500.org](http://www.top500.org)). Ukratko su predstavljena najjača superračunala svijeta, a uz pomoć grafova prikazana je raspodjela superračunala po državama i kontinentima, arhitekturi, područjima primjene itd. Navedeno je i superračunalo Blue Waters koje je trenutno najjače superračunalo koje nije na popisu top 500 superračunala. Objašnjeni su razlozi zbog kojih Blue Waters nije na popisu. Nakon toga, predstavljena su superračunala u Hrvatskoj – koliko ih ima, gdje se nalaze, za što služe, koje su njihove hardverske karakteristike. Zaključno, navedeni su dva projekta iz svijeta koji koriste superračunala i opisano je kakvu bi ulogu superračunala mogla imati u budućnosti, kakva su predviđanja daljnjeg razvoja i inovacija na tom području.

Ključne riječi: računalo, superračunalo, uporaba superračunala, superračunala u svijetu

## Supercomputers

### Summary and keywords

The introductory part of this bachelor thesis describes the importance of supercomputers and computers in today's society, but also through history. The reasons for choosing this topic are also listed. The structure of modern supercomputers - their size, strength, number of processors and cores, used operating systems – is presented in the main

part. Some of the advantages of supercomputers and their limitations and performance problems are also described. Furthermore, the purpose and use of supercomputers nowadays is shown. Moreover, the list of the top 500 supercomputers is presented ([www.top500.org](http://www.top500.org)). The strongest supercomputers of the world are briefly presented and the distribution of supercomputers by country and continents, architecture, applications and so on is presented with graphs. I also mentioned Blue Waters which is currently the most powerful supercomputer which is not on the list of the top 500 supercomputers. The reasons why the Blue Waters is not listed are described. Croatian supercomputers are presented after that - how many are there, where they are, for what are they used, what are their hardware features. At the end, I presented two projects from around the world which use supercomputers and described what role supercomputers could have in the future, what are the expectations for further development and innovation in this area.

Keywords: computer, supercomputer, use of supercomputers, supercomputers in the world

## Literatura

1. Bell, Gordon: „Supercomputers: The Amazing Race. (A History of Supercomputing, 1960-2020).” San Francisco, CA. 2014.  
URL: [http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gbell/MSR-TR-2015-2\\_Supercomputers-The\\_Amazing\\_Race\\_Bell.pdf](http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gbell/MSR-TR-2015-2_Supercomputers-The_Amazing_Race_Bell.pdf) (7.8.2016.)
2. Blue Waters. National Center for Supercomputing Applications. University of Illinois  
URL: <https://bluewaters.ncsa.illinois.edu/> (30.8.2016.)
3. Bura. Centar za napredno računanje i modeliranje Sveučilišta u Rijeci  
URL: <http://cnrm.uniri.hr/bura/> (26.8.2016.)
4. Brodlie, Ken et al.: „Visual Supercomputing: Technologies, Applications and Challenges.” // Computer Graphics Forum / uredili Hao Zhang, Min Chen. Vol. 24, No. 2, The Eurographics Association and John Wiley & Sons Ltd. 2005: str. 217-245  
URL: [http://www.comp.leeds.ac.uk/kwb/publication\\_repository/2005/cgf\\_006.pdf](http://www.comp.leeds.ac.uk/kwb/publication_repository/2005/cgf_006.pdf) (7.8.2016.)
5. CERN. Conseil européen pour la recherche nucléaire  
URL: <https://home.cern/about> (30.8.2016.)
6. Dongara, Jack J. et al.: „The LINPACK Benchmark: Past, Present, and Future.” 2001.: str. 1-2  
URL: <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/PAPERS/hpl.pdf> (4.9.2016.)
7. Eadline, Douglas: „High Performance Computing for Dummies.” 2nd AMD Special Edition. Indianapolis. Wiley Publishing Inc. 2011.  
URL: [http://hpc.fs.uni-lj.si/sites/default/files/HPC\\_for\\_dummies.pdf](http://hpc.fs.uni-lj.si/sites/default/files/HPC_for_dummies.pdf) (7.8.2016.)
8. Gordon Moore. Wikipedia  
URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gordon\\_Moore](https://en.wikipedia.org/wiki/Gordon_Moore) (7.8.2016.)
9. Graham, Susan L. et al.: „Getting Up to Speed. The Future of Supercomputing.” Washington. The National Academies Press. 2005.

- URL: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/blampson/72-CSTB-Supercomputing/72-CSTB-Supercomputing.pdf> (7.8.2016.)
10. Hoffman, Allan R. et al.: „Supercomputers: Directions in Technology and Applications.“ Washington. National Academy Press. 1989.  
URL: <https://books.google.hr/books?id=gJMrAAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=hr#v=onepage&q&f=false> (7.8.2016.)
11. Imamagić, Emir. Superračunalo Isabella. Privatna poruka. (6.9.2016.)
12. Isabella. Sveučilišni računski centar Sveučilišta u Zagrebu (SRCE). 2016.  
URL: <http://www.srce.unizg.hr/isabella> (26.8.2016.)
13. Needham, Jeffrey: „Disruptive Possibilities. How Big Dana Changes Everything.” Sebastopol, CA. O'Reilly Media. 2013.  
URL: <http://it-ebooks.info/book/3309/> (7.8.2016.)
14. Puškarić, Miroslav. Superračunalo Bura. Privatna poruka. (26.8.2016.)
15. Rahman, Rezaur: „Intel Xeon Phi Coprocessor Architecture and Tools.” Apress. 2013.: str. 90  
URL: <http://it-ebooks.info/book/2987/> (7.8.2016.)
16. Schultz, Steven: „Capping decades of searching, Princeton scientists observe elusive particle that is its own antiparticle”. Office of Engineering Communications. Princeton University. 2014.  
URL: <https://www.princeton.edu/main/news/archive/S41/22/57K51/> (31.8.2016.)
17. Top500.org  
URL: <https://www.top500.org/> (7.8.2016.)
18. Watanabe, Masahiro et al.: „New Technologies of Applications Using Supercomputer.” Fujitsu Sci. Tech. J., Vol. 48, No. 3. 2012: str. 364-374  
URL: <http://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol48-3/paper18.pdf> (7.8.2016.)

19. Zinoune, M.: „Why do super computers use Linux?“, 2012.

URL: <https://www.unixmen.com/why-do-super-computers-use-linux/>

(29.8.2016.)