

# Razvoj distribuiranog računarstva u Centru za informatiku i računarstvo IRB-a

Karolj Skala

redoviti član HATZ-a, Centar za informatiku i računarstvo, Institut Ruđer Bošković  
[skala@irb.hr](mailto:skala@irb.hr)

**Sažetak:** *Od otkrića tranzistora do suvremenih računalnih sustava ostvaren je golem tehnološki napredak. Prijelaz tisućljeća rezultira razvojem distribuiranog računarstva. Pokrenut je razvoj paralelizacije rada računala u novim mrežnim okolnostima za rješavanje složenih izračuna pomoću paraleliziranih algoritama i programskih paketa. Tako su stvoreni složeni računalni sustavi u obliku klaster-računala. Spajanjem više klaster-računala preko brze mreže uspostavljeno je Grid računarstvo. Razvoj distribuiranog računarstva je nametnut sa strane nove znanstvene metodologije rješavanja kompleksnih problema koji su zahtijevali veliku računalnu snagu. Stoga, prije 20 godina na Institutu Ruđer Bošković osnovan je Centar za informatiku i računarstvo koji je u svojoj misiji zacrtao razvoj napredne računalne infrastrukture s naprednim primjenama od lokalnih do globalnih razmjera. U ovom radu navodi se retrospektivni iskaz razvojnih postignuća u prethodnom razdoblju.*

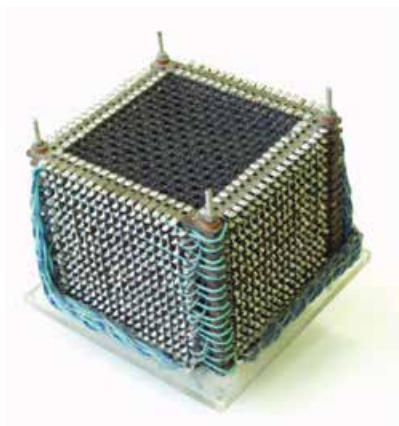
**Ključne riječi:** *klaster računalo, grid računarstvo, cloud servisi, dew computing, rainbow servis, ICST*

## 1. Uvod

U vrijeme osnivanja Instituta Ruđer Bošković (IRB) 1950. u svijetu se dogodilo najveće tehnološko otkriće u tehničkim znanostima nazvano – *tranzistor*. To slučajno otkriće pri jednom laboratorijskom eksperimentu mjerenja otpora poluvodiča dovelo je do nove inovativne tehničke procesne paradigme koja je promijenila svijet.

Suvremena računalna znanost počinje *Johnom von Neumannom* koji je stvorio jasnu računalnu procesnu strukturu i povezoao je s matematičkim modelima koji su kasnije postali nezaobilazni u rješavanju svih znanstvenih problema. Na IRB-u, u odjelu za Elektroniku, vrlo su rano shvatili da temeljni obradni instrumentalni okoliš treba

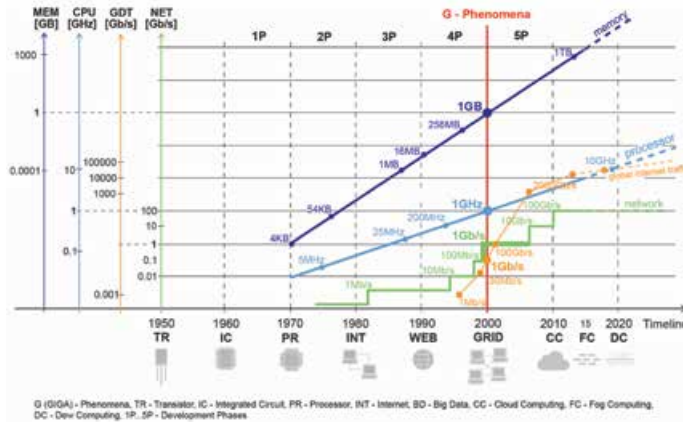
graditi na principu digitalnih računalnih sustava koji imaju ulazno-izlazne jedinice, procesnu i memorijsku jedinicu. Tako je nastao 1958. godine 256 kanalni analizator kao jedno od prvih mjerno-procesnih računalnih sustava na svijetu, koji je prodan u nekoliko značajnih znanstvenih instituta, a daljnji je razvoj prof. *Branko Souček* nastavio u Brookhaven National Laboratory u SAD-u.



**Slika 1:** Prvo znanstveno obradno računalo s feritnom memorijom u Republici Hrvatskoj i šire

Prva je izvedba ostvarena elektroničkim cijevima, a kasnije tranzistorima. Memorija je realizirana torus-feritnim jezgricama kapaciteta 2 kB. To laboratorijsko procesno računalo koristilo se u mnogim znanstvenim istraživanjima vezanim za nuklearnu tehnologiju.

U prethodnom vremenskom slijedu ostvaren je fascinantan tehnološki razvoj koji se odvijao u dekadskim pragmatičnim tehnološkim skokovima, prikazanim na sl.1. Nakon razvoja napredne digitalne tehnike, ostvarenjem *procesora*, ubrzava se razvoj ICT tehnologije, što ima jak utjecaj na razvoj i znanstvenu primjenu računalnih sustava u svijetu. Taj je eksponencijalni razvoj išao u smjeru ubrzanja računalnog takta, povećanja memorijskog kapaciteta i skokoviti rast brzine digitalne mrežne komunikacije. Tako su se 2000. godine svi parametri izjednačili, i to na Giga razini pa sam to nazvao G-fenomen [1], što je zapravo bio preduvjet za razvoj distribuiranog računarstva u svijetu. Od toga smo se trenutka u Centru za informatiku i računarstvo intenzivno uključili u razvoj Cluster, Grid i Cloud paradigme unatrag 20 godina.



Slika 2: Pragmatični dekadski skokovi razvoja računarstva

Važno je povući paralelu između razvoja računarstva i izgradnje računalne infrastrukture u Hrvatskoj. To je zorno prikazano na sl. 3. Iskaz je proveden od 1950. i prvo značajno ostvarenje bilo je 256 kanalni analizator (IRB, 1959). Nakon pojave prvoga većeg računala od firme Scientific Data Systems kupljeno je iste godine (1966.) SDS 940 računalo i osniva se *Računalni numerički centar* na IRB-u zajedno s PMF-om i Končarom. Bilo je zaposleno 9 programera koji su u Fortranu radili prve aplikacijske programe. Značajan je trenutak bilo osnivanje Sveučilišnoga računalnog centra (1971.), kada su SDS 940 i velik broj programera s IRB-a preselili u SRCE. Nakon toga krenuo je sustavni razvoj računarstva predvođen stručnjacima s ETF-a (današnjeg FER-a). Vremensko odvijanje je opet iskazano u vremenskim skokovima, sl. 3.



Slika 3: Razvoj računarstva u Republici Hrvatskoj

## 2. Razvoj klaster-računala

Zbog naglog razvoja informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) 2000. godine inicirao sam osnivanje *Centra za informatiku i računarstvo* (CIR), uz podršku dr. Milivoja Boranića, tadašnjeg ravnatelja Instituta Ruđer Bošković, koji je prepoznao potrebu. Time je započet sustavni razvoj mrežnog računarstva na IRB-u. Skupina znanstvenika (fizičara, kemičara i računaraca), u suradnji sa sistem-inženjerima CIR-a, 2001. godine započela je razvoj prvog klaster-računala u Hrvatskoj, što je povećalo računalnu moć i ubrzalo izračune kod rješavanja složenih problema. Instalirano je pet osobnih računala (PC) Intel Pentium III procesorima, pod Linux Red Hat distribucijom, i sustav ROCKS za upravljanje jednim frontalnim i četiri radna čvora, spojenih u MPI paralelni rad, što je predstavljalo IRB pilot-klaster. Institut je financirao 60% troškova, a ostatak je osiguran od strane voditelja 42 znanstveno-istraživačka projekata (tada su se nazivale teme). Slijedio je sustav za monitoring Ganglia i izrađena je web-stranica za pristup, sa svim uputstvima za korištenje. Tijekom tromjesečnog razvoja i uspostave pilot-klastera uveden je sustav za redosljed posluživanja (Queuing PBS Pro, Maui scheduler). Znanstvenici su s velikim interesom počeli koristiti klaster-računala za složene simulacijske izračune; na osnovi novih potreba i dobrih rezultata ravnatelj je odobrio kupovinu dodatnih 10 PC računala, čime je računalni klaster 2002. godine dodatno proširen. Za potrebe izgradnje „Pilot Clustera“, razvijen je DCC – *Distributed Cluster Components* (2004. godine) programski paket, prvi integrirani konfiguracijski alat na bazi RedHat Operacijskog sustava za uspostavu i funkciju klaster-računala.



Slika 4: Prvo pilot-klaster računalo na IRB-u

Potaknut mogućnostima nove računalne infrastrukture u pružanju ubrzanja izračuna, povećanja znanstvene kvalitete, a time i produktivnosti, Institut se 2003. godine obratio Ministarstvu znanosti i tehnologije (MZT), Upravi za informatizaciju, sa zahtjevom da sufinancira znatno proširenje pilot-klastera na IRB-u. MZT je odobrilo financiranje izgradnje većeg klastera, ali u sklopu Sveučilišnoga računskog centra (SRCE), Sveučilišta u Zagrebu. Uz podršku sistem-inženjera IRB-a instalirano je prvo klaster-računalo na SRCU, preteča današnjega slavnog računala visokih performansi (HPC) pod imenom *Isabella*.

### 3. Razvoj i uspostava Grid računarstva

Slijedi razdoblje u kojem se IRB preusmjerava prema Grid računarstvu. Pokrenuta je 2000. godine izgradnja Kampus LAN mreže. Izrađen je projekt mreže s magistralnim optičkim povezivanjem dvaju glavnih čvorišta i strukturnim povezivanjem 1.200 mrežnih priključnih mjesta, prema međunarodnom standardu ISO/IEC 11801 za vertikalno i horizontalno kabliranje velikih mrežnih sustava. U suradnji s tvornicom kabela Elka, izrađen je *hibridni optički kabel* s dvama optičkim prozorima (850 i 1310 nm). Prema našem dizajnu, tvornica Elka tehnološki je oblikovala, proizvodno realizirala i donirala namjenski (*custom*) optički kabel za povezivanje 21 objekata unutar Instituta, koji je činio kampus-optičku okosnicu. Predviđena brzina prijenosa informacija u multimodnim (MM) optičkim vlaknima iznosila je 1 Gb. U postavljanim optičkim vodovima, na fizičkoj je razini osiguran prijelaz na jednomodnu (*singl mode*, SM) aktivnu opremu za brzine prijenosa do Tb. Dodatno, uz paralelnu redundanciju optičkih niti (50%) osigurani su uvjeti za konfiguracijske i topološke zahtjeve budućih Grid i P2P (*Peer to Peer*) aplikacija. Na temelju evaluacije izgrađene mreže odobren nam je i visok akademski popust od 39% od strane tvrtke Cisco System Inc., što je omogućilo izgradnju kampus LAN-a, namjenski projektiranog da zadovolji sve potrebe distribuiranog računarstva. IRB optička mreža puštena je u pogon 2002. godine, uz demonstraciju prijenosa preko WLAN-a i novoizgrađene napredne mrežne infrastrukture, s panoramskim slikama kampusa iz aviona koji je kružio iznad IRB-a.

Izgradnja kampus-mreže visoke propusne moći s malom latencijom pokrenula je inicijativu prema Grid računarstvu. Mrežno ili Grid računarstvo često se predstavlja u analogiji s električnim mrežnim sustavom u kojem korisnici (ili električni uređaji) imaju pristup električnoj energiji putem (zidnih) spojnih mjesta, ne vodeći računa gdje i kako se proizvodi električna energija. Na sličan način, u mrežnom računarstvu pojedini korisnici (*clients/agiles*), prema potrebama pristupaju računalnim resursima (procesorima, pohrani, podacima, aplikacijama itd.), neovisno gdje se resursi nalaze ili tehnologiji koja se koristi.

Grid računarstvo, kao integracija različitih tehnologija i rješenja, s paralelnim radom više raspoređenih računala, predstavlja distribuiranu računalnu infrastrukturu, a Otvoreni standardi osiguravaju da aplikacije mogu transparentno koristiti sve prikladne resurse koji su na raspolaganju.

Okruženje distribuiranog računarstva zahtijeva i tehnologije i standarde u područjima planiranja, sigurnosti, računovodstva, upravljanja sustavima itd. Virtualizacija počinje mogućnošću rastavljanja sustava na virtualne podsustave. Virtualizacija se ne odnosi samo na poslužitelje i CPU već i na pohranu, mreže, resurse i aplikacije. Tako se došlo do *virtualnih organizacija*, kao potpuno nove paradigme u dijeljenju resursa i uspostavi suradnje, što kasnije dovodi do virtualizacija poduzeća i uspostave pametnih poduzeća te pametnih proizvodnih ekosustava.

Usporedo s intenzivnim razvojem Grid računarstva 2000. godine, susrećemo se s G-fenomenom [1], trenutkom kada se brzina rada računala izjednačila s brzinom prijenosa podataka preko mreže, i to s Giga veličinom na nivou podataka (GHz i GBit), detalji na sl. 2.

Razvoj Grid računarstva otvorio je put prema *eScience tehnologiji* sudjelovanjem u provedbi nacionalnih i EU okvirnih projektnih nizova. eScience centri započinju osnivanjem u Ujedinjenom Kraljevstvu (UK), uz pomoć IBM-a, što me navodi da stupim u kontakt s IBM-om Hrvatska.

*„Početkom prvog desetljeća 2000-te pojavio se koncept ‘grid computing’ koji je tada bio nešto vrlo novo. Nudio je ogroman potencijal u iskorištavanju računalne snage procesora, koja je većinom bila neiskorištena pošto je brzina perifernih uređaja, koja su hranila procesore zadacima i podacima, nekoliko redova veličina manja od brzine procesora i njihovog kapaciteta za procesiranje tih istih zadataka i podataka. Taj koncept je još nazivan i ‘utility computing’ jer je cilj bio kreiranje računalne mreže distribuiranih uređaja s ciljem korištenja sličnom korištenju električne mreže (odatle i naziv ‘grid’). IBM je odmah prepoznao i promovirao potencijal grid koncepta koji je uz to bio razvijen na open sourceu. U Hrvatskoj je u to vrijeme, koliko je meni poznato, IRB, predvođen dr. Karoljem Skalom, jedini vidio potencijal u grid-konceptu. Tako je došlo do poziva u IBM-ov Hursley laboratorij u Velikoj Britaniji te suradnje koja je postavila temelje izgradnje CRO-GRID-a.“*

*Ivan Vidaković, direktor IBM Hrvatske (2001. – 2009.)*

IBM-ov međunarodni istraživačko-razvojni laboratorij u *Hursleyju, Hampshire*, odigrao je značajnu ulogu u razvoju softverskih tehnologija od 1950. godine. Predvodnici su Grid-tehnologije i u vrijeme kad smo započeli suradnju razvijali su mrežu *eScience* centara u Engleskoj. Cilj posjeta je bio definiranje tehnologije, arhitekture i postupaka za razvoj nacionalne Grid-infrastrukture u Hrvatskoj. Radnu skupinu je

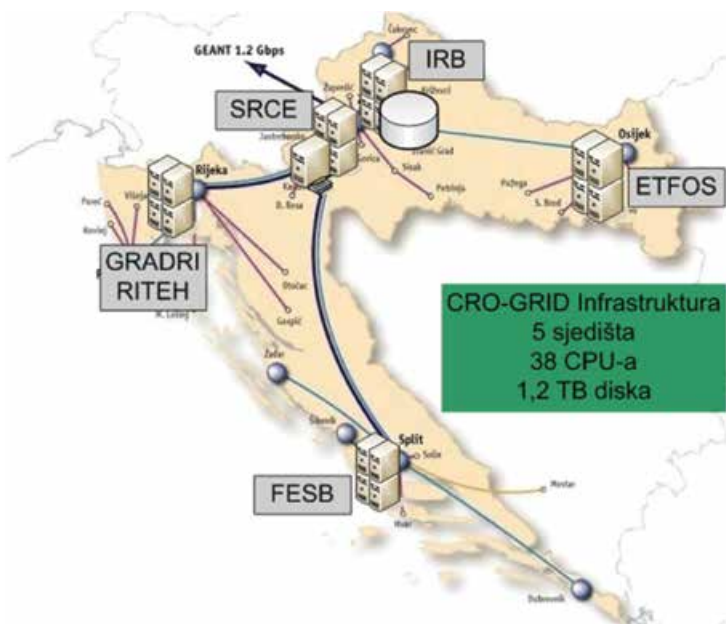
predvodio direktor *dr. Dave Watson*, a osim mene, bili su nazočni *dr. Daron Green*, IBM Grid razvojni strateg, *prof. dr. Mike Surridge* i *prof. Syd Chapman s University of Southampton*. Razrađen je detaljan razvojni plan da se uspostavi „Campus Grid“, mreža koja povezuje IRB (klaster 32 čvorova), Institut za fiziku (klaster 10 čvorova) i Medicinski fakultet na Šalati (klaster 10 čvorova). Preporučena je primjena Globus middleware otvorenog koda. Slijedila je druga faza, uspostava Grid-infrastrukture na nacionalnoj razini pod nazivom *CRO-GRID* primjenom Globus Toolkit v3 (OGSA), za čije bi se povezivanje koristio CARNET gigabitna *backbone* mreža. Kao treća faza, predviđen je razvoj paralelnih aplikacija na *CRO-GRID* infrastrukturi, gdje je ponuđena suradnja s *Knowledge Gridom*, razvijenim na Sveučilištu u Beču u suradnji s IBM GRID EMEA. Iskazana je podrška u konzultaciji i kratkotrajnoj edukaciji u IBM-u Hursley.

Na temelju stanja tehnologije u svijetu, stečenih saznanja i preporuka, predsjedniku Akademije tehničkih znanosti Hrvatske (HATZ), *prof. Juraju Božičeviću* predstavio sam projektni prijedlog, koji je u potpunosti podržao, posebno ističući korisnost izgradnje nacionalnog Grid-sustava. Na Svečanoj skupštini 2003. Godine, u povodu desete godišnjice osnivanja i djelovanja Akademije, objavljen je Proglas za tehnološki razvoj od 7 točaka. Pod točkom 3 za stvaranje istraživačke infrastrukture posebice se ističe podrška za uspostavu *CRO-GRID* infrastrukture.

Dobra suradnja nastavljena je i u fazi realizacije *CRO-GRID*-a, a profesori sa Southampton Sveučilišta sudjelovali su i na Sveučilišnoj regati ELMAR u Zadru, predvođeni *prof. Syd Chapmanom* 2002. i 2003. godine. Regate su bila sportska događanja na kojima smo svake godine razvijali i testirali nove mrežne multimedijske komunikacijske paradigme. Prvi virtualni prijenos regate preko web-a [2] ostvarili smo 1996. godine.

Nakon nekoliko stručnih rasprava i usklađivanja, pokrenut je trogodišnji složeni tehnološki istraživačko-razvojni projekt Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod nazivom *CRO-GRID*. Pokrenuta je izrada poli-projekta s tri projektne sastavnice: *CRO-GRID* Infrastruktura, glavni istraživač *Dobriša Dobrenić* (SRCE), *CRO-GRID* Posrednički sustav, glavni istraživač *prof. Siniša Srblić* (FER) i *CRO-GRID* Aplikacije, glavni istraživač *prof. Karolj Skala* (IRB). Tehnološki vijeće je odobrilo *CRO-GRID* poli-projekt 20. studenoga 2003. godine pa je započela realizacija trogodišnjeg programa, a *prof. Leo Budin* obnašao je dužnost skupnog koordinatora. Cilj je bio sagledati optimalnu tehnološku, programsku, topološku i aplikacijsku osnovu za izgradnju nacionalnog Grid-sustava za potrebe znanstveno-istraživačkog rada. *CRO-GRID* je bio najveći tehnološki projekt u Hrvatskoj u iznosu od 14 milijuna kuna, s velikim brojem istraživača sa SRCA, FER-a i IRB-a, koji je dodatno objedinio suradničke institucije u primjeni; PMF i FPZ iz Zagreba te FESB iz Splita; ukupno 26 istraživača kao buduće pilot-korisnike *CRO-GRID*-a. Rezultat projek-

ta je bila izgradnja CRO-GRID nacionalne distribuirane računalne infrastrukture sa sjedištima na SRCU, IRB-u, na Građevinskom fakultetu u Rijeci, Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu i Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Na tim sjedištima su postavljena *blade cluster* računala sa 38 CPU-a, 1,2 TB diska, instaliran posrednik Globus v3 i povezan s CARNET Gb mrežom, te sa spojem na međunarodnu GEANT mrežu, brzinom od 1,2 GB.



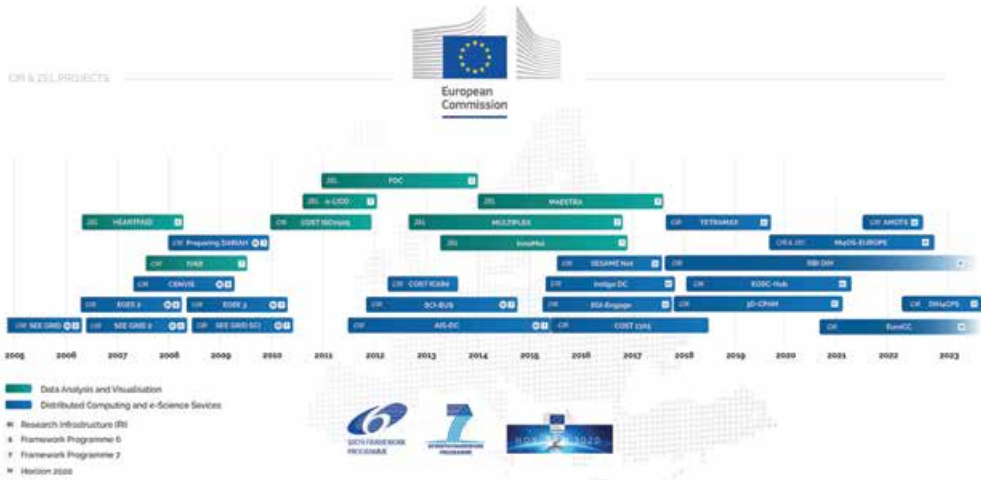
Slika 5: CRO-GRID nacionalna mrežno-računalna infrastruktura

#### 4. EU Okvirni projektni nizovi (FP6, FP7, Horizon 2020)

Sljedeći značajan događaj je bio uspostava prvoga međunarodnog Grid-sjedišta (čvora) na IRB-u 2004. godine. U vrijeme kad još Hrvatska nije bila kandidat za EU, uspjeli smo postati partneri u *SEEGRID EU*, prvom okvirnom projektu FP6 u HR financiranom EU sredstvima. Cilj je projekta bio izgradnja jugoistočne Grid-infrastrukture, a rezultat uspostava SEEGRID čvora na IRB-u.

Iz Data GRID-a 2001. godine nastao je EGEE (Enabling Grids for E-science) koji je u više od tri uzastopne projektne faze do 2010. godine uspio objediniti 200.000 CPU jezgri, suradnički povezati 300 centara u svijetu. Kao rezultat, na EGEE Gridu obavljalo se 13 milijuna znanstvenih izračuna mjesečno.





Slika 6: EU Projektni niz CIR-a

S obzirom na postojanje nacionalne CRO-GRID infrastrukture i potrebe znanstvenika za eScience tehnologijama, pojavila se potreba da se Hrvatska uključi u EGEE zajednicu, što, osim provođenja složenih izračuna, uključuje i uspostavu te korištenje virtualnih organizacija. U sklopu održavanja Hypermedia and Grid Systems (HGS) savjetovanja na MIPRO konvenciju u Opatiji 2004. godine pozvao sam kao predavača *dr. Boba Jonesa*, direktora IT odjela u CERN-u i voditelja EGEE projekta. Održali smo sastanak na kojemu je bio nazočan i predstavnik SRCA te dogovorili da se Hrvatska uključi u EGEE kao zajednička istraživačka skupina JRU (Joint Research Unit) iz CRO-GRID projekta. Tako je Hrvatska postala dio EGEE projekta pod koordinacijom IRB-a i nedugo nakon toga je 2005. godine instaliran prvi klaster u EGEE Grid-sustavu iz Hrvatske, kao aktivni čvor u ERA, kad SRCE preuzima daljnje vođenje EGEE 2 projekta.



Slika 7: EU EGEE računalna mreža

Na temelju stečenih iskustava iz upravljanja raspodijeljenih računalnih sustava na CRO-GRID-u 2009., u sklopu poziva EU FP7 okvirnog programa, pripremljen je projektni prijedlog COMANDS - *Configuration Management for Distributed Systems* s koordinacijom IRB-a uz 11 partnera. Taj projektni prijedlog je bio dobro ocijenjen i ušao je u razmatranje među 20 projekata za financiranje. Prvi čovjek Grid-razvoja u EU, *dr Bob Jones*, dao je podršku i našem COMANDS projektnom prijedlogu, koji je, nažalost, iz organizacijskih razloga isključen iz financijske podrške u završnoj fazi usklađivanja.

Nakon uspješnog završetka 3 EGEE projektna niza, stvorena je nova organizacija za nastavak koordinacije i razvoja *Europske Grid Infrastrukture* (EGI) s EGEE Gridom kao temeljnom infrastrukturom. Ovaj je prijelaz važan korak u osiguranju pristupa europskoj istraživačkoj distribuiranoj računalnoj infrastrukturi kako bi zadržao svoju vodeću poziciju u istraživanju te podržao svoj rad na globalnoj razini suradnje dugi niz godina. EGI je dugoročna organizacija na nacionalnom federalnom principu koja ne ovisi o kratkoročnim projektnim ciklusima financiranja, nego se uvodi nacionalna članarina. Podržavaju ga nacionalne mrežne infrastrukture po federalnom principu, kao građevni blokovi Pan-europske Grid mreže.

U sklopu novoga okvirnog programa Horizon 2020 pokrenut je EGI-Engage (*Engaging the Research Community towards an Open Science Commons*), projekt koji okuplja 43 partnera iz cijele Europe, SAD-a i šest zemalja u azijsko-pacifičkoj regiji, u kojem sudjeluju SRCE i IRB. Projekt EGI-Engage trajao je 30 mjeseci, od ožujka 2015. do kolovoza 2017., s misijom proširenja sposobnosti okosnice udruženih usluga za računanje, pohranu podataka i komunikaciju. EGI-Engage je također oblikovao put do novog projekta EOSC-Hub, usmjerenog na izgradnju kontaktne točke (Hub) na europskoj razini za istraživače i inovatore za korištenje širokog spektra resursa za napredna istraživanja temeljena na podacima (*Big Data*). U sklopu projekta je uspostavljena i suradnja s korisničkim zajednicama kroz osam centara kompetencija, od kojih je jedan centar kompetencije DARIAH (*Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities*), koji je u ime nekoliko europskih partnera u projektu koordinirao IRB Centar za informatiku i računarstvo Instituta Ruđer Bošković. Tako je EGEE preko EGI-a doveden do EOSC Hub (*European Open Science Cloud*) okruženja kao nove značajne znanstvene računalne infrastrukture za potrebe znanstvenog rada koji podržavaju napredne Oblačne (*Cloud*) servise i Virtualne organizacije (VO) iz mnogih znanstvenih disciplina.

## 5. Napredni distribuirani servisi

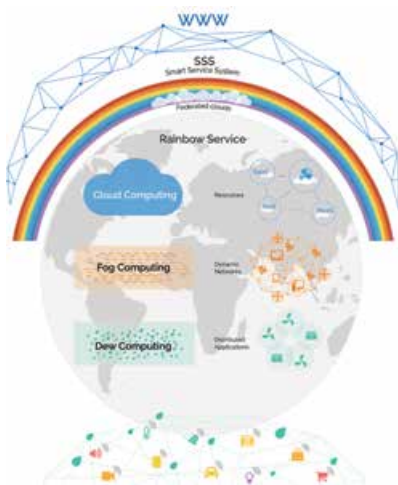
Centar za informatiku i računarstvo razvijao je razne primjene i servise u području distribuiranog računarstva. Usmjeravao se prema znanstvenim Cloud servisima. Tako je 2014. godine dijelom stvoren *CloudMan servis*, danas na *Johns Hopkins*

University, kao *Galaxy Cloudman*, jedan od najpoznatijih bioinformatičkih servisa današnjice.

Brzim razvojem fiksnih i mobilnih senzora, efektora i složenih upravljačkih uređaja, mnogi bez, a neki s internetskom vezom, postaje tendencija da se najznačajnija količina obrade informacija svuda oko nas obavlja na najnižoj mogućoj razini, izravno povezana s internetom. Ove “ugrađene” uređaje za obradu informacija nalazimo u svemu (automobilima, klima-uređajima, rasvjeti, automatima, kontroli prometa...), a također u sveobuhvatnim proizvodima u cijeloj industriji. Ovi uređaji, koji nisu ni na rubu oblaka/magle, čak ni na mobilnom rubu ili čak na rubu interneta, već na fizičkom rubu računalstva, temelj su paradigme *Dew Computing* [3]. *Dew Computing* prvenstveno je orijentiran na uređaje za kontrolu ljudskog okoliša na fizičkom rubu, gdje ljudska kontrola okoline mora imati prednost nad mogućim zahtjevima više razine, ili barem biti usklađena s njima, bez ometanja neposrednog ljudskoga okruženja. To je razlog zašto u *Dew Computingu* postoje dva osnovna pojma, koja ne postoje u ostatku hijerarhije, u magli i u oblaku: *samodostatnost i suradnja*.

Dajući veliki značaj distribuiranim, skalabilnim servisima, razvila se vertikalna servisna hijerarhija *Dew-Fog-Cloud-Rainbow* kao objedinjena servisna paradigma. Osnovana je IEEE virtualna razvojna skupina *IEEE DewCom STC* koja broji više od 200 članova, koji rade na toj novoj tematskoj paradigmi.

Horizontalna skalabilnost je pristup povećanju kapaciteta koji se oslanja na povezivanje više hardverskih ili softverskih entiteta tako da rade kao jedna logička distribuirana



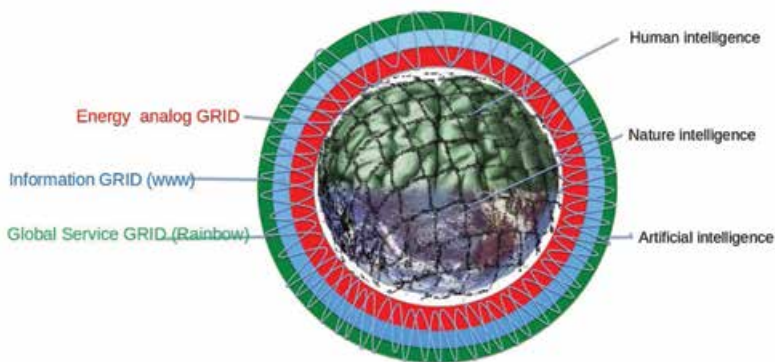
**Slika 8:** Od Rose do Duge kao Globalnoga servisnog sustava (Dew-Fog-Cloud-Rainbow- Smart Service System)

uslužna jedinica. Horizontalna skalabilnost često se naziva skaliranjem i proširuje funkcionalnu sposobnost sloja sustava. Horizontalna skalabilnost može se suprotstaviti vertikalnoj skalabilnosti koja povećava kapacitet dodavanjem složenijih resursa i funkcionalnih sposobnosti za napredne aplikacije.

Kada se usvoji distribuirana arhitektura usluge *Cloud-Fog-Dew*, poslužitelj u oblaku i mnogi *Dew* poslužitelji surađivat će kao distribuirana aplikacija za pružanje kontrola ili usluga. Nekoliko oblaka u simbiozi rezultiraju *Cloud* federacijom, međusobno povezujući okruženja usluga u oblaku. Takve povezane *Cloud* usluge, podržane od strane HPC-a, kao federalni lanac usluga, predstavljaju globalnu *Rainbow* uslugu.

Tendencija naše budućnosti je korištenje tri globalne mreže: *energetske mreže*, *informacijske mreže* (www) i *Smart Service System* (SSS) ili Rainbow Grid. Ekosustav priroda-čovjek-stroj u nastajanju, Rainbow Ecosystem [4], integrirajući sve tri spomenute distribuirane globalne mreže uz ekološki osviještenu suradnju s prirodom definirat će buduću tehničku civilizaciju i infrastrukturu za razvoj inteligencije priroda-čovjek-stroj na Zemlji, obilježavajući novu industrijsku revoluciju ekološke održivosti.

Međutim, s obzirom na sve društvene, političke, ekonomske i ekološke probleme s kojima se susrećemo, većinom zbog ponašanja naše civilizacije, svaka održiva budućnost koju želimo postići zahtijevat će velike napore na području obrazovanja, inovativnosti, savjesnosti i evolucijske kreativnosti, a poboljšanje postojećih rješenja ključno je za postizanje globalne ekologije. Inače mi, kao civilizacija, imamo male šanse za daljnju održivost. Tehnološka okosnica i zdravi globalni informacijski sustav WWW i napredni servisni sustav SSS.



Slika 9: Umjetna inteligencija na zemlji kao nadgradnja prirodne i ljudske inteligencije

Na IRB-u smo 2021. godine uspostavili EBSI čvor (European Blockchain Service Infrastrukture) za potrebe testiranja i primjene suvremenih Blockchain DLT aplikacija. Na taj način Hrvatska se priključila provedbi EU Blockchain partnership programu i okuplja SME tvrtke koje djeluju na tome tematskom području. Namjera je uvesti sigurne i djelotvorne servisne slojeve u novim naprednim aplikacijama i platformama.

## 6. ICST na IRB-u

Shvativši razvojne tehnološke tendencije u rješavanju kompleksnih problema za potrebe znanstvenih istraživanja, koje se temelje na širokoj skupini podataka i interakcija (Big Data), 2012. godine pokrenuli smo izradu strukturnoga investicijskoga

projektnog prijedloga za izgradnju novog objekta za Centar za informatiku i računarstvo i Zavoda za elektroniku na IRB-u. Idejni projekt bio je da se objedini prostorno, funkcionalno i resursno-računalna tehnologija i računalna znanost na IRB-u. Tako je nastao projekt *Mini blizanci*, dvaju objekata s poveznicom, jedan objekt za *računalnu tehnologiju* (mreža, bazični servisi, napredni *cloud* servisi, HPC, VO, *eScience* alati, multimedijске komunikacije) i u drugi objekt za *napredno računarstvo (data science, umjetna inteligencija i računalni znanstveni ekosustavi)*. Izrađeni arhitektonski projekt s dokumentacijom je uključen u novi sveobuhvatni strukturni investicijski pot-hvat instituta, pod nazivom *Otvorene znanstvene infrastrukturne platforme (O-ZIP)*, u kojemu računarstvo predstavlja jednu tehnološku platformu ICT proširenu znanstvenom komponentom; *Information Communication Science Technologies (ICST)*. Veliki investicijski projekt od 64 milijuna Eura je započeo s provedbom 2021. godine.

## 7. Zaključak

Nakon 20 godina djelovanja *Centra za informatiku i računarstva*, počevši od prvog klaster-računala pa preko CRO-GRID projekta i 22 EU okvirnih projekata, u suradnji sa 165 istaknutih institucija u EU, usvojili smo *eScience* tehnologiju i dali tehnološku osnovu za razvoj *Data Science* i tako ubrzali razvoj AI-a u Hrvatskoj. Preko Centara izvrsnosti i kompetentnosti uključili smo „science“ u ICT u obliku **ICST** koji je postao jedan od 4 tematska pilara O-ZIP projekta, reizgradnje Instituta Ruđer Bošković.

### Literatura

- [1] Skala K.; Davidović, D.; Lipić, T.; Sović, I.: G-Phenomena as a Base of Scalable Distributed Computing – G Phenomena in Moor’s Law, *International Journal of Internet and Distributed Systems*, **V2** (1), 1-4 doi:10.4236/ijids.2014.21001. (2014)
- [2] Skala K.: Integrated Media Communication Techniques, Retrospective of the Distributed Media Server Technology, *Kluwer Academic Publisher*, Ch 12, ISBN 1-4020-7552-9 (2003)
- [3] Skala K.; Davidović D.; Afgan E.; Sović I.; Šojat Z.: Scalable distributed computing hierarchy: cloud, fog and dew computing, *Open Journal of Cloud Computing (OJCC)*, **V2** (1). pp. 16-24. ISSN 2199-1987, (2016)
- [4] Skala K.; Šojat Z.: The Rainbow Global Service Ecosystem, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Workshop on Dew Computing (DewCom 2018)*, IEEE DewCom STC, Toronto, Canada, str. 25-30, (2018)