DOI: 10.21857/90836c2egy

Pregledni članak / Review paper
Prihvaćeno / Accepted: 15. veljače 2024.

HRVATSKI ZNANSTVENI I OBRAZOVNI OBLAK (HR-ZOO) – VAŽNO POSTIGNUĆE NA PUTU PREMA ZAJEDNIČKOJ HRVATSKOJ E-INFRASTRUKTURI

Zoran Bekić, Ivan Marić

Sažetak

Potrebe moderne znanosti i modernog obrazovanja danas podrazumijevaju dostupnost napredne i pouzdane e-infrastrukture i digitalnih usluga, koje je, u pravilu, bolje planirati, graditi i koristiti zajednički u skladu s međunarodnim, nacionalnim i institucijskim strategijama i planovima razvoja znanosti i obrazovanja. U Hrvatskoj već više od pedeset godina postoji tradicija takvog pristupa izgradnji zajedničke e-infrastrukture. Važno postignuće u tom kontekstu jest i izgradnja Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka (HR-ZOO) kao nove generacije zajedničke nacionalne e-infrastrukture stavljene na raspolaganje korisnicima u 2023. godini. HR-ZOO će u nadolazećim godinama osiguravati potrebne računalne, spremišne i komunikacijske resurse svim dionicima u akademskoj i znanstvenoj zajednici. Nakon osnovnih činjenica vezanih uz nastanak HR-ZOO-a u radu se prezentiraju rezultati projekta i mogućnosti te nove nacionalne e-infrastrukture: mreža novih podatkovnih centara, mogućnost uspostave virtualnih podatkovnih centara, napredno računanje zahvaljujući računalnim i spremišnim resursima višestruke namjene, uključujući superračunalo "Supek", računalni sustav za napredno računanje u oblaku "Vrančić" i sustav za virtualne podatkovne centre "Štampar". HR-ZOO je važan nacionalni zajednički resurs nuždan za razvoj digitalne i otvorene znanosti i otvorenog obrazovanja te za jačanje izvrsnosti i kompetitivnosti hrvatskog istraživačkog prostora i prostora visokog obrazovanja i njihovo povezivanje s europskim i globalnim.

Ključne riječi: Hrvatski znanstveni i obrazovni oblak; HR-ZOO; Srce, podatkovni centri; napredno računanje; superračunalo; računarstvo u oblaku.

1. OSOBINE I E-INFRASTRUKTURNE POTREBE MODERNE ZNANOSTI I MODERNOG OBRAZOVANJA

Modernu znanost i moderno obrazovanje obilježavaju neke osobine (i potrebe) koje nisu bile toliko prisutne u prethodnim razdobljima. To su otvorenost i suradnička priroda istraživačkog i obrazovnog procesa te oslanjanje na velike količine podataka i informacija, odnosno na sposobnost da se ti podaci i informacije brzo i učinkovito obrađuju i da budu dostupni uvijek i svuda gdje su potrebni.

Mnogobrojne današnje prakse i rezultati ukazuju na to da su rezultati istraživanja značajniji i da se ostvaruju i implementiraju brže ako je istraživački proces otvoren (prema javnosti, drugim istraživačima i istraživačkim skupinama) i ako se istraživanja planiraju i ostvaruju kroz suradnju većeg broja istraživača i istraživačkih skupina zanemarujući institucijske ili zemljopisne granice. Najvažniji istraživački iskoraci danas se ostvaruju u prostorima sinergije, dodira i suradnje istraživača koji dolaze iz različitih područja, polja i grana znanosti.

Moderni obrazovni proces podrazumijeva kontinuiranu i intenzivnu komunikaciju i suradnju svih dionika toga procesa, ne samo nastavnika i učenika/studenata nego i međusobno učenika/studenata i međusobno nastavnika, te komunikaciju i suradnju nastavnika i učenika/studenata s pojedincima i timovima iz prakse, gospodarstva. I takve komunikacije i suradnje sve manje prepoznaju granice obrazovnih institucija ili zemalja, obrazovanje postaje otvoreno (u smislu primjene različitih novih oblika i metoda, široke i neograničene dostupnosti najrazličitijih sadržaja) i globalno.

Prikupljanje, obrada i pohrana velike količine podataka danas je nezaobilazan element, a često i temelj mnogih istraživanja u različitim područjima znanosti, odnosno u tzv. podatkovno intenzivnim znanostima. Štoviše, sve češće govorimo o promjenama paradigmi u znanosti prema digitalnoj znanosti, odnosno e-znanosti [1].

Podaci su važniji nego ikad prije i za proces obrazovanja jer omogućuju učinkovitu primjenu različitih metoda i tehnologija, od analitike učenja do umjetne inteligencije.

I okružje u kojem se izvode moderni istraživački i obrazovni procesi danas ima mnoga nova obilježja. Među njima svakako primjećujemo izuzetno ubrzan razvoj i sveprisutnost novih tehnologija uključujući i sve one povezane s informacijskim i komunikacijskim tehnologijama, koje donose nove mogućnosti, ali i izazove u njihovoj primjeni. Druga osobina modernog okruženja svakako je eksponencijalni rast količine dostupnih podataka i informacija [2], što dovodi do potrebe pohrane i obrade tih podataka.

Dakle, rezimirajući, današnje važne specifične potrebe znanosti, obrazovanja i života općenito su: (1) potreba za komuniciranjem i suradnjom koji nisu ograničeni zemljopisno, prostorno ili vremenski, (2) dijeljenje i zajednička uporaba resursa te (3) sposobnost prikupljanja, pohrane i brze obrade velike količine podataka i informacija.

Adekvatan odgovor na sve spomenute potrebe i okolnosti očigledno nije moguć bez adekvatne napredne informacijske i komunikacijske infrastrukture i digitalnih usluga, a što može i treba osigurati napredna, fleksibilna, pouzdana i održiva e-infrastruktura.

Recimo odmah da sve spomenute potrebe i zahtjevi, u pravilu, rezultiraju i relativno visokim troškovima izgradnje i uporabe takvih infrastruktura i usluga, uostalom kao i kod drugih istraživačkih i obrazovnih infrastruktura. A to nas, opet, upućuje na potrebu dijeljenja i zajedničke uporabe svih tih infrastruktura, odnosno na suradnju pri njihovu planiranju, nabavi i uporabi. Time se osigurava veća učinkovitost uporabe tih resursa, ali ujedno i unapređuje dostupnost naprednih resursa svima koji mogu pridonijeti znanosti ili onima koji žele ili moraju unaprijediti obrazovanje i obrazovni sustav.

2. ZAJEDNIČKI PRISTUP IZGRADNJI I UPORABI E-INFRASTRUKTURE U EUROPI

Ideja suradnje i zajedničkog pristupa izgradnji i uporabi istraživačkih infrastruktura ima u Europi već dugu tradiciju. Takvim pristupom ne osigurava se samo zajednički strateški pristup planiranju, izgradnji, dostupnosti i uporabi naprednih istraživačkih infrastruktura nego i izvrsnost, konkurentnost i kompetitivnost europskog istraživačkog prostora na globalnoj razini.

Zajedničke istraživačke infrastrukture često se (ali ne isključivo) unutar Europske unije planiraju i izgrađuju pod okriljem Europskog strateškog foruma za istraživačke infrastrukture (ESFRI – *European Strategy Forum on Research Infrastructures* [3]). Krajobraz takvih zajedničkih paneuropskih istraživačkih infrastruktura danas čini više od 60 zajedničkih istraživačkih infrastruktura [4], od kojih nemali broj ima i svoju pravnu osobnost po modelu Konzorcija europskih istraživačkih infrastruktura (ERIC – *European Research Infrastructure Consortium*) [5]. Taj organizacijski model, kao i neki drugi koji se primjenjuju u Europskoj uniji, između ostalog, osigurava transparentno upravljanje i sudjelovanje svih dionika u odlučivanju o zajedničkim infrastrukturama.

Kao važan, temeljni "sloj" istraživačkih i obrazovnih infrastruktura, a polazeći od već spomenutih osobina i potreba moderne znanosti i modernog obrazovanja, prepoznaje se e-infrastruktura – elektronička, digitalna infrastruktura koja se sastoji od niza sustava, usluga i alata (dalje u tekstu: komponenti) koji se temelje na informacijskoj i komunikacijskoj tehnologiji (dalje u tekstu: **IKT**).

S pozicije svojih korisnika e-infrastruktura predstavlja integrirano okružje koje je jednostavno za uporabu i u kojem istraživači, nastavnici, studenti i drugi članovi akademske i znanstvene zajednice zadovoljavaju svoje potrebe za različitim digitalnim uslugama i alatima, pristupaju podacima te ih dijele i obrađuju, međusobno surađuju i

ostvaruju pristup istraživačkim i obrazovnim infrastrukturama. Važnim dijelom e-infrastrukture treba smatrati i stručne timove koji rade na planiranju, izgradnji i održavanju komponenti e-infrastrukture, kao i stručne timove koji daju potporu primjeni komponenti e-infrastrukture, uključujući i unapređenje digitalnih kompetencija korisnika. E-infrastrukturu čine i institucije zadužene za razvoj i održavanje komponenti e-infrastrukture, upravljački mehanizmi te politike i pravila uporabe komponenti e-infrastrukture.

Takva široka definicija e-infrastrukture na tragu je viđenja Strateške savjetodavne grupe za e-infrastrukturu Europske komisije (*e-IRG – e-Infrastructure Reflection Group*) koja je još 2012. godine uvela pojam *e-Infrastructure Commons* podrazumijevajući pod njim "politički, tehnološki i administrativni okvir za jednostavnu i učinkovitu zajedničku uporabu elektroničkih resursa diljem Europe" [6].

Na e-infrastrukturu se tradicionalno gleda i definira je se kao skup međusobno povezanih komponenti raspodijeljenih u više slojeva: mrežne infrastrukture, podatkovni centri, računalni i spremišni resursi, uključujući one za napredno računanje, sustavi posredničkog sloja kao što su sustavi povjerenja (autentikacije i autorizacije) ili sustavi za osiguravanje informacijske sigurnosti, podatkovni sustavi kao što su digitalni repozitoriji i na kraju informacijski sustavi, aplikacije i raznovrsne digitalne usluge.

U interesu je svih korisnika da e-infrastruktura bude pouzdana, održiva i lako dostupna svim kategorijama korisnika, prije svega u obliku niza modernih i naprednih digitalnih usluga.

Pojedine komponente e-infrastrukture mogu biti institucijske, međuinstitucijske, nacionalne i međunarodne čineći na taj način hijerarhijske "federacije". Važan je strateški pristup i koordinacija pri planiranju, izgradnji i uporabi komponenti e-infrastrukture, kao i interoperabilnost komponenti e-infrastrukture bez obzira na njihovu razinu i pripadnost konkretnom hijerarhijskom sloju e-infrastrukture. Nacionalne komponente e-infrastrukture povezuju se u paneuropske osiguravajući povezanost i cjelovitost europskog i globalnog istraživačkog prostora i prostora visokog obrazovanja.

Europska je komisija u svojem dokumentu *Novi europski istraživački prostor (EIP) za istraživanje i inovacije* [7] ponovno naglasila važnost e-infrastrukture i nastavak posebnih linija financiranja za temeljne komponente paneuropske e-infrastrukture koje su nastale ili nastaju u zadnjim dekadama. Primjeri su takvih temeljnih komponenti paneuropske e-infrastrukture GEANT – paneuropska terabitna akademska i istraživačka mreža i povezane usluge [8], EOSC – Europski oblak za otvorenu znanost – nova generacija paneuropske podatkovne infrastrukture [9], [10] i EuroHPC – Zajedničko poduzeće za europsko računalstvo visokih performansi – novi europski vrhunski superračunalni ekosustav [11], [12]. U izgradnji tih paneuropskih infrastruktura Hrvatska aktivno sudjeluje od samih početaka.

3. NACIONALNA E-INFRASTRUKTURA U HRVATSKOJ

Temelji zajedničke nacionalne e-infrastrukture postavljeni su početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća, kada je na temelju vizionarskog Idejnog projekta [13], iza kojeg je stajala plejada profesora sa Sveučilišta u Zagrebu, i Odluke [14] Sveučilišnog savjeta Sveučilišta u Zagrebu, tada jedinog sveučilišta u Hrvatskoj, u travnju 1971. godine osnovan Sveučilišni računski centar (Srce). Punom snagom Srce je proradilo već 1974. godine u novoj zgradi na zagrebačkom Prisavlju postavši trajno nezaobilaznim i dragocjenim zajedničkim infrastrukturnim resursom cjelokupne akademske i znanstvene zajednice u Hrvatskoj.

U tijesnoj i intenzivnoj suradnji s vodećim institucijama iz sustava visokog obrazovanja i znanosti Srce je od svojeg osnivanja uspješno obnašalo ulogu središnje e-infrastrukturne ustanove toga sustava planirajući, gradeći i podržavajući uporabu najnovijih računalnih, informacijskih i komunikacijskih sustava te informacijskih i digitalnih usluga koji su uvijek bili dostupni svima u zajednici i utoliko bili okosnicom zajedničke e-infrastrukture.

U toj pedesetogodišnjoj povijesti Srca i kontinuiteta promišljanja i izgradnje zajedničke hrvatske e-infrastrukture svakako treba izdvojiti iskorake kao što su dovođenje interneta u Hrvatsku i izgradnja akademske i istraživačke mreže CARNET u razdoblju 1991. – 1995. godine, priključenje Hrvatske europskom DataGrid projektu i uspostava (2002. godine) računalnog klastera Isabella, koji je niz godina bio jedini zajednički nacionalni HPC (od engl.: *High Performance Computing*) resurs znanstvene zajednice, projekt GigaCARNet (2003. – 2005.), uspostava autentikacijske i autorizacijske infrastrukture sustava znanosti i visokog obrazovanja AAI@EduHr (2004. – 2006.) ili projekt CRO-GRID, koji je rezultirao izgradnjom Hrvatske nacionalne grid infrastrukture CRO NGI u razdoblju 2003. – 2007. godine [15], [16].

Valja i ovdje naglasiti da se kod izgradnje komponenti nacionalne e-infrastrukture uvijek vodila briga o povezivanju tih komponenti s odgovarajućim paneuropskim sustavima te da se to povezivanje i ostvarivalo, čime se osiguravala povezanost hrvatskoga prostora s europskim i globalnim prostorom visokog obrazovanja i znanosti.

Promocija i poticanje strateškog i sustavnog pristupa izgradnji i uporabi zajedničke e-infrastrukture bila je u fokusu djelovanja znanstvenih vijeća Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti: Znanstvenog vijeća za tehnološki razvoj i posebno Odbora, kasnije i Znanstvenog vijeća za istraživačku infrastrukturu (2011. – 2023. godine).

Upravo takav pristup pitanjima e-infrastrukture prisutan je i u Strategiji obrazovanja, znanosti i tehnologije Republike Hrvatske [17] koju je u listopadu 2014. godine donio Hrvatski sabor.

Prepoznajući važnost takvog strateškog i sustavnog promišljanja e-infrastrukture, a polazeći od jasnih potreba sustava visokog obrazovanja i znanosti u Hrvatskoj, ali i stanja i trendova prisutnih u Europskoj uniji, u Srcu su tijekom 2008. i 2009. godine pripremljene Smjernice razvoja e-infrastrukture sustava znanosti i visokog obrazovanja Republike Hrvatske za razdoblje 2009. – 2011. godine [18]. Dokument je višekratno javno prezentiran pod okriljem Odbora za istraživačku infrastrukturu HAZU, kako na skupovima i sastancima unutar HAZU, tako i na sjednici Rektorskog zbora visokih učilišta Republike Hrvatske i sastanku Strateškog odbora za istraživačku infrastrukturu pri Ministarstvu znanosti i obrazovanja.

U Smjernicama su se analizirali stanje i potrebe razvoja svih slojeva e-infrastrukture te se već tada poseban naglasak stavio na podatkovni sloj, digitalne repozitorije te podatkovnu i suradničku infrastrukturu. U tom se dokumentu ponovljeno poziva na njegovanje i razvoj kulture i ozračja suradnje, zajedničke uporabe i dijeljenja istraživačkih sredstava i alata, dakle i svih komponenti e-infrastrukture, na demokratski (otvoren svim dionicima) način upravljanja e-infrastrukturom i na "federalni" model organizacije hijerarhije komponenti e-infrastrukture.

Iako konačna verzija Smjernica nije formalno donesena niti ju je prihvatilo neko mjerodavno upravljačko ili financijsko tijelo, pojedini elementi Smjernica umnogome su bili temelj za postupanje dionika u sustavu znanosti i visokog obrazovanja, a posebno Srca. Stavovi i načela iz Smjernica ugrađeni su i u temelje ideje i cijelog projekta Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka, koji je Srce zajedno s brojnim partnerima iz zajednice pripremilo, razradilo i provelo u godinama koje su uslijedile.

4. HRVATSKI ZNANSTVENI I OBRAZOVNI OBLAK (HR-ZOO)

4.1. Od ideje do ostvarenja

Spoznaja o potrebi izgradnje nove generacije temeljnih komponenti nacionalne znanstvene i obrazovne e-infrastrukture na prelasku iz prvog u drugo desetljeće sadašnjeg tisućljeća bila je posljedicom prepoznavanja ranije spomenutih osobina i potreba moderne znanosti i obrazovanja te trendova razvoja e-infrastrukture u Europi i svijetu, a ideja se gradila na temeljima spomenutih strateških dokumenata i prethodnim iskustvima i sustavima koji su osmišljeni i izgrađeni u Srcu u prethodnom razdoblju. U istom je razdoblju Hrvatskoj najavljena i dostupnost znatnih sredstava iz fondova Europske unije, pa je time i izvedivost strateškog projekta izgradnje nove generacije nacionalne e-infrastrukture dobila konkretniji financijski okvir.

Prvi nacrti prijedloga projekta, svojevrstan idejni projekt, nastali su krajem 2011. godine, kada je u Srcu vlastitim snagama započeta i izrada prve studije (pred)izvodljivosti projekta. U tim dokumentima na prijedlog Ivana Marića, voditelja projekta HR-ZOO, tada zamjenika ravnatelja i tehničkog direktora Srca, nova infrastruktura dobila je naziv Hrvatski znanstveni i obrazovni oblak ili, skraćeno, HR-ZOO.



Slika 1. Neki od dokumenata koji su bili polazište za projekt HR-ZOO
Figure 1. Some of the documents that were the incentive for the HR-ZOO project

U razdoblju pripreme i prijave projekta kao glavni cilj projekta HR-ZOO određena je "izgradnja računalnog i podatkovnog oblaka, kao temeljne sastavnice nove nacionalne e-infrastrukture". Nadalje, "HR-ZOO je zamišljen kao distribuirana nacionalna e-infrastruktura sastavljena od pet nacionalnih podatkovnih centara, grid sjedišta, cloud sjedišta, HPC sjedišta, te digitalnih repozitorija i podatkovne infrastrukture za prikupljanje, obradu, dugoročnu i privremenu pohranu te dijeljenje znanstvenih podataka" [19]. Od samih početaka među ciljevima projekta nije bila samo izgradnja komponenti e-infrastrukture nego i oblikovanje kataloga usluga kroz koje će resursi HR-ZOO-a biti dostupni istraživačima i nastavnicima te uspostava specijaliziranog tima za podršku uporabi novoizgrađene infrastrukture, tima tzv. e-znanstvenika.

Kako je namjera od samih početaka bila i da projekt izgradnje HR-ZOO-a bude zajednički projekt Srca i ključnih institucija iz sustava znanosti i visokog obrazovanja, prvo okupljanje i prezentacija prijedloga projekta izgradnje HR-ZOO-a, odnosno ideje, ciljeva i očekivanih rezultata toga projekta održani su u Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa 5. travnja 2012. [20].

U pripremi i izvođenju projekta uz Srce, koje je bilo nositelj projekta, sudjelovali su od početka (2012.) do samog kraja provedbe projekta (2023.) kao važni partneri i Sveučilište

Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Sveučilište u Rijeci, Sveučilište u Splitu, Sveučilište u Zagrebu, Institut *Ruđer Bošković* i Hrvatska akademska i istraživačka mreža CARNET.

Studija predizvodljivosti završena je u lipnju iste godine. Prezentirani dokumenti dobili su punu podršku Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta i svih budućih partnera. Podršku projektu dali su i svi tada novouspostavljeni znanstveni centri izvrsnosti (ZCI).

Projekt *Hrvatski znanstveni i obrazovni oblak (HR-ZOO)* uključen je krajem 2012. godine kao strateški projekt na tzv. indikativnu listu zalihe infrastrukturnih projekata za Europski fond za regionalni razvoj 2014. – 2020.

Uslijedilo je razdoblje pripreme opsežne dokumentacije za prijavu projekta, koje je, nažalost, zbog niza okolnosti, potrajalo sve do 2018. godine. Ministarstvo je osiguralo Srcu podršku konzultanata i sredstva tehničke pomoći Svjetske banke za poslove pripreme projektne dokumentacije i projektiranja te je izrađen set dokumentacije, koji je uključivao i izvedbene projekte svih podatkovnih centara predviđenih unutar budućeg HR-ZOO-a. Pouka iz te pripremne faze izgradnje HR-ZOO-a jest da svakako treba težiti tome da razdoblje pripreme takvih složenih tehnoloških projekata bude što kraće, a rezultirajući dokumenti što kvalitetniji kako bi se izbjegle višekratne naknadne revizije projektne dokumentacije kao posljedice brzog razvoja uključenih tehnologija.

Službeni poziv za dostavu ponuda za izvođenje projekta izgradnje Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka HR-ZOO objavljen je u travnju 2018. godine. Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava između Srca, Ministarstva znanosti i obrazovanja i Središnje agencije za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU) potpisan je 18. srpnja 2018.

Ukupno je za projekt izgradnje HR-ZOO-a utrošeno 24.408.268,64 EUR, od čega je 85% osigurano iz Europskog fonda za regionalni razvoj, a preostali dio sufinanciran je na nacionalnoj razini iz državnog proračuna.

Službeno razdoblje provedbe projekta bilo je od 1. srpnja 2017. do 1. svibnja 2023. Srce je vodilo i koordiniralo sve aktivnosti na projektu, tim Srca vodio je ključne aktivnosti izgradnje podatkovnih centara i uspostave naprednih IKT resursa, dok je tim CARNET-a vodio aktivnost izgradnje nove transportne okosnice mreže CARNET. Savjetodavnu, ali i nadzornu funkciju, osim tijela uobičajeno predviđenih za projekte financirane iz fondova Europske unije, obavljalo je i Vijeće partnera, koje su činili čelnici ili službeni predstavnici svih institucija – partnera na projektu.

Tijekom provedbe projekta HR-ZOO provedeno je ukupno 38 javnih nabava, od čega 6 nabava velike vrijednosti, kao što su one za uređenje podatkovnih centara, za računalnu, spremišnu i komunikacijsku opremu te telekomunikacijske kapacitete. Tako je u ulozi dobavljača roba i usluga u projektu sudjelovao i velik broj tvrtki iz IKT-a te građevinskog i elektrostrojarskog sektora.



Slika 2. Radovi na uređenju podatkovnog centra HR-ZOO ZG1 u zgradi Srca u Marohnićevoj ulici u Zagrebu, koji je neprekidno bio u punoj funkciji bez obzira na radove
Figure 2. Works on the reconstruction of the HR-ZOO ZG1 data center in the building of SRCE in Marohnićeva street in Zagreb. A key data center services were continuously in full operation regardless of the works



Slika 3. Početak radova na uređenju podatkovnog centra HR-ZOO OS u Osijeku
Figure 3. Beginning of construction works on the reconstruction of the HR-ZOO OS data center in Osijek



Slika 4. Isporuka superračunala u podatkovni centar HR-ZOO ZG2 u Zagrebu
Figure 4. Delivery of a supercomputer to the HR-ZOO ZG2 data center in Zagreb



Slika 5. Radovi u novom podatkovnom centru HR-ZOO ST u Splitu bliže se kraju
Figure 5. Works in the new data center HR-ZOO ST in Split are coming to an end

Novouspostavljeni podatkovni centri svečano su otvoreni 19. listopada 2022. [21], a sve komponente i usluge Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka svečano su puštene u rad na središnjoj svečanosti 28. ožujka 2023. [22].

4.2. Rezultati projekta – komponente i usluge HR-ZOO-a

Hrvatski znanstveni i obrazovni oblak složeno je i integrirano okružje koje se sastoji od niza komponenti, odnosno skupa računalnih i spremišnih resursa smještenih u pet podatkovnih centara međusobno poveznih redundantnim širokopojasnim vezama velikog kapaciteta i velikih mogućnosti. Komponente HR-ZOO-a dostupne su korisnicima kroz niz usluga, odnosno kroz omogućavanje pristupa konkretnim resursima unutar HR-ZOO-a.



Slika 6. Vizualni identitet – logotip HR-ZOO
Figure 6. Visual identity – HR-ZOO logo

Glavne rezultate projekta predstavljaju sljedeće komponente HR-ZOO-a:

- pet modernih podatkovnih centara u četiri sveučilišna grada,
- nova okosnica hrvatske akademske i istraživačke mreže CARNET,
- mnogostruki (višenamjenski) napredni IKT resursi,
- specijalizirani timovi za podršku uporabi i razvoju HR-ZOO-a.

Najveći podatkovni centar (HR-ZOO ZG2) izgrađen je u zasebnom objektu unutar Kampusa Borongaj u Zagrebu, dok su preostala četiri smještena u rekonstruirane i novoopremljene postojeće prostore u Osijeku (HR-ZOO OS), Rijeci (HR-ZOO RI) i Splitu (HR-ZOO ST) te u zgradi Srca u Zagrebu (HR-ZOO ZG1).



Slika 7. Zgrada novog podatkovnog centra HR-ZOO ZG2 u Znanstveno-učilišnom kampusu Borongaj u Zagrebu
Figure 7. The building of the new data center HR-ZOO ZG2 within the Science and Education Campus Borongaj in Zagreb



Slika 8. Zgrada u kojoj je smješten novi podatkovni centar HR-ZOO OS u Sveučilišnom kampusu Osijek
Figure 8. The building where the new HR-ZOO OS data center is located within the University campus in Osijek



Slika 9. U novouređenom podatkovnom centru HR-ZOO RI u Sveučilišnom kampusu Trsat u Rijeci
Figure 9. In the newly renovated data center HR-ZOO RI within the University campus Trsat in Rijeka



Slika 10. Zgrada FESB-a u kojoj je smješten novi podatkovni centar HR-ZOO ST u Sveučilišnom kampusu Visoka u Splitu
Figure 10. The FESB building, a home of the new data center HR-ZOO ST within the University campus Visoka in Split



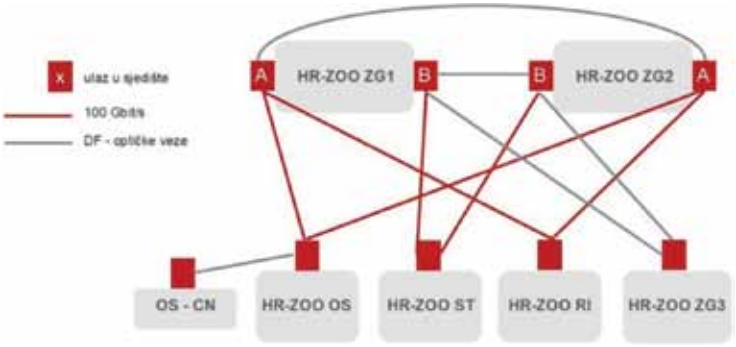
Slika 11. Zgrada Srca (lijevo dolje) u kojoj je smješten obnovljeni podatkovni centar HR-ZOO ZG1 u Zagrebu
Figure 11. The SRCE building (bottom left) in Zagreb where the renovated data center HR-ZOO ZG1 is located

U podatkovnim centrima osigurani su sigurni, primjereni trenutnim potrebama, ali i nadogradivi prostori opremljeni adekvatnim tehničkim sustavima (energetskim i klimatizacijskim sustavima, sustavima protupožarne zaštite, sustavima tehničke zaštite i dr.) kako za računalnu i spremišnu opremu nabavljenu u sklopu projekta HR-ZOO, tako i za buduće potrebe nacionalne e-infrastrukture. Osim toga podatkovni centri HR-ZOO-a predstavljaju temelj i za razvoj lokalne istraživačke, razvojne i inovacijske infrastrukture sukladno planovima sveučilištā u Osijeku, Rijeci, Splitu i Zagrebu.

Tablica 1. Pregled osnovnih karakteristika podatkovnih centara HR-ZOO-a
Table 1. Overview of the basic characteristics of HR-ZOO data centers

Podatkovni centar	Bruto površina (m^2)	Projektirana snaga DC-a (kW)	Snaga instaliranog DA (kW)	Snaga instaliranog UPS (kW)	Rashladna snaga (kW)
HR-ZOO OS	411	125	176	100	100
HR-ZOO ST	379	125	176	100	100
HR-ZOO RI	213	125	176	100	100
HR-ZOO ZG1	359	350	2 x 352*	3 x 160	2 x 250
HR-ZOO ZG2	1317	1100	1000	2 x 500	3 x 250

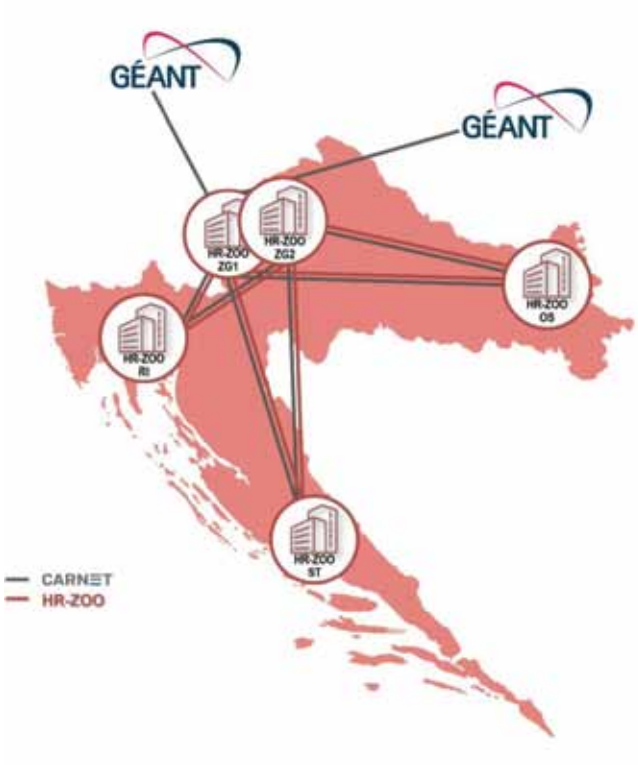
U okviru projekta HR-ZOO dugoročno su osigurane širokopojasne veze velikog kapaciteta i velikih mogućnosti ili u obliku elektroničkih komunikacijskih kapaciteta od 100 Gbit/s na međugradskim relacijama ili u obliku *dark fiber* veza unutar Zagreba i Osijeka, čime je uspostavljena nova okosnica akademske i istraživačke mreže CARNET, a ujedno i osigurana redundantna međusobna povezanost velikih kapaciteta svih podatkovnih centara HR-ZOO-a te njihova povezanost putem čvorišta mreže GÉANT s e-infrastrukturama u Europi i svijetu.



Slika 12. Transportna mreža HR-ZOO-a
Figure 12. HR-ZOO transport network

Uz nove podatkovne centre, napredni računalni i spremišni resursi svakako predstavljaju najvažnije komponente HR-ZOO infrastrukture. Kod planiranja i dizajna HR-ZOO-a polazilo se od aktualnih tehnoloških trendova, ali i dosadašnjih iskustava rada korisnika usluga Srca iz područja naprednog računanja i računarstva u oblaku te procjene potreba budućih korisnika HR-ZOO-a, pa su tako nabavljeni napredni IKT resursi koje možemo po tehničkim osobinama svrstati u sljedeće kategorije:

- resursi za računarstvo visokih performansi (HPC – engl.: *High Performance Computing*),
- resursi za računarstvo s velikom propusnošću (HTC – engl.: *High Throughput Computing*),
- resursi za visoko skalabilno računarstvo (HSC -engl.: *High Scalability Computing*), odnosno za usluge po paradigmi računarstva u oblaku (engl.: *cloud computing*),
- računalna spremišta (engl. *storage*) za pouzdanu kratkoročnu i dugoročnu pohranu velikih količina podataka, uključujući sustave za pohranu velikih količina podataka kod uporabe HPC, HTC i HSC resursa putem datotečnih i objektnih protokola i sustave za sigurnosnu pohranu i arhiviranje podataka.



Slika 13. Mrežna povezanost podatkovnih centara HR-ZOO-a
Figure 13. Network connection of HR-ZOO data centers

Navedeni resursi dostupni su korisnicima kroz usluge Srca "Napredno računanje" [23] i "Virtualni podatkovni centri" [24].

Za izvođenje aplikacija s vrlo visokim zahtjevima za performansama i kapacitetom resursa, kao što su procesorske jezgre, grafički procesori, radna memorija, spremišta i mreža koja interno povezuje sve te resurse, kao središnja računalna komponenta HR-ZOO-a instalirano je **superračunalo "Supek"** – prvo petaskalarno superračunalo u Hrvatskoj. Taj važni resurs za računarstvo visokih performansi računalne je snage od 1,25 PFLOPS-a, a ostvaren je tehnologijama *HPE Cray EX2500*, *HPE ClusterStor 1000s* i *HPE Slingshot* [25] s ukupno 8.384 procesorske jezgre i 81 grafičkim procesorom, 32 TB radne memorije i 580 TB iskoristivog kapaciteta pridruženog spremišnog prostora izmjerene propusnosti 238 GB/s pisanja i 450 GB/s čitanja. Sve komponente "Supeka" povezane su brzom mrežom *Sligshot* propusnosti 200 Gbit/s. Superračunalom se upravlja putem sustava *HPE Performance Cluster Manager*.



Slika 14. Superračunalo "Supek" – prvo petaskalarno računalo u Hrvatskoj
Figure 14. Supercomputer "Supek" – the first petascale computer in Croatia

Važna računalna komponenta HR-ZOO-a jest i **sustav za napredno računanje u oblaku "Vrančić"**, koji predstavlja prilagodljivu, elastičnu i svestranu heterogenu računalnu okolinu, koja je po svojoj arhitekturi predstavnik računarstva s velikom propusnošću. "Vrančić" "isporučuje" velike količine računalne snage tijekom duljeg razdoblja dajući mogućnost istovremenog pokretanja kopija nekog softvera na većem broju računala. Namijenjen je širem skupu korisničkih aplikacija i sustava iz različitih znanstvenih područja, a koji zahtijevaju specifičnu programsku okolinu i značajnije procesorske i memorijske resurse. Sustav "Vrančić" raspolaže s ukupno više od 11.500 procesorskih jezgri, 48 TB radne memorije i 3 PB spremišnog prostora visokih performansi. Sustav se temelji na platformama otvorenog koda *OpenStack* [26] (sustav za upravljanje i pristup virtualnim resursima u oblaku) i *Ceph* [27] (sustav za upravljanje raspodijeljenim spremištem), koje se često koriste za implementaciju sustava po paradigmi računarstva u oblaku.



Slika 15. Računalni sustav "Vrančić" za napredno računanje u oblaku
Figure 15. "Vrančić" computer system for advanced computing in the cloud

Ustanovama iz akademske i istraživačke zajednice unutar HR-ZOO-a osigurana je mogućnost izgradnje vlastitih **virtualnih podatkovnih centara** te uporabe virtualnih poslužitelja u skladu s njihovim aktualnim potrebama. Usluga je zasnovana na tehnologijama računarstva u oblaku, oslanja se na tehnologiju *VMware Cloud Foundation* [28] i realizira se na **računalnom sustavu "Štampar"**, koji omogućava izvođenje do 1.800 redundantnih virtualnih poslužitelja koji imaju na raspolaganju 10 PB spremišnog prostora.

U okviru projekta HR-ZOO nabavljena je veća količina **znanstvenog softvera**, tj. softvera potrebnog za istraživanja u različitim znanstvenim područjima, a koja se oslanjaju na resurse za napredno računanje i na takav softver. Kod definiranja popisa softvera polazilo se od analize aktualnih i budućih potreba istraživačkih timova u akademskim i istraživačkim ustanovama, znanstvenim centrima izvrsnosti te na istraživačkim projektima koji se financiraju javnim sredstvima.

Od samih početaka osmišljavanja i izgradnje HR-ZOO-a bilo je jasno da napredna i sofisticirana e-infrastruktura nove generacije neće moći u potpunosti ostvariti svoju svrhu bez adekvatne **stručne podrške** uporabi te infrastrukture. Zbog toga je formiran **tim stručnjaka**, tzv. e-znanstvenika, čija je trajna zadaća olakšati istraživačima iz različitih područja znanosti da započnu i da učinkovito koriste napredne IKT resurse, a da pri tome ostanu fokusirani na ciljeve svojeg istraživanja, a ne toliko na svladavanje uporabe nove tehnologije ili na prilagodbu svojih programskih alata novim IKT okruženjima. Tim e-znanstvenika u Srcu na raspolaganju je istraživačima iz različitih područja da zajednički

osmisle i ostvare učinkovitu primjenu naprednih IKT komponenti i usluga HR-ZOO-a, a što uključuje i primjenu raspoloživih HR-ZOO resursa za napredno računanje za alate i metode koje dolaze iz novih, brzorastućih područja kao što su umjetna inteligencija, strojno učenje, visokoučinkovita analiza velikih podataka (engl.: *big data / high performance data analytics*) i dr.



Slika 16. Radni prostor u zgradi HR-ZOO ZG2 za tim e-znanstvenika Srca koji daje podršku pri uporabi resursa za napredno računanje u HR-ZOO-u
Figure 16. Work space in the HR-ZOO ZG2 building for the team of SRCE e-scientists that provides support in the use of advanced computing resources in the HR-ZOO

5. POGLED U BUDUĆNOST: OTVORENE ISTRAŽIVAČKE INFRASTRUKTURE ZA OTVORENU ZNANOST I OTVORENO OBRAZOVANJE

Iako je od prvih promišljanja Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka do njegove izgradnje i puštanja u rad prošlo više od deset godina, usluge koje se danas nude u okviru HR-ZOO-a i mogućnosti te infrastrukture u tehnološkom smislu potpuno su aktualne i u skladu s onim što se danas, pa i sutra, može i treba očekivati od moderne e-infrastrukture u sustavu znanosti i visokog obrazovanja. I organizacija projekta te način i pravila funkcioniranja i uporabe izgrađenih komponenti e-infrastrukture unutar HR-

ZOO-a u skladu su s očekivanjima koja danas u odnosu na e-infrastrukturu postoje u modernom istraživačkom i visokoobrazovnom prostoru.

A taj se prostor danas najbolje opisuje pojmovima otvorene znanosti i otvorenog obrazovanja, koje se, između ostalog, oslanja i na uporabu otvorenih obrazovnih sadržaja.

"Otvorena znanost je poimanje znanosti koje podrazumijeva da je cijeli istraživački proces transparentan i otvoren za sudjelovanje, suradnju i doprinos svih zainteresiranih dionika, pri čemu se istraživački rezultati, metode, svi prikupljeni i obrađeni podaci i ostali elementi istraživačkog procesa, kao i publikacije proizašle iz istraživanja, slobodno dijele i dostupni su pod uvjetima koji dopuštaju njihovu ponovnu upotrebu, daljnje dijeljenje, kao i reproducibilnost samog istraživanja.

Otvorena znanost obuhvaća aktivnosti i istraživačke prakse kojima je cilj učiniti znanstvene spoznaje, rezultate i informacije otvoreno dostupnima svima za daljnju uporabu, poticati suradnju i dijeljenje informacija u znanosti, a sve s ciljem unapređenja znanosti i ubrzavanja napretka društva u cjelini. Otvorena znanost obuhvaća sve znanstvene discipline i sve aspekte znanstvene prakse, a temelji se na otvorenim podacima, informacijama i znanju, otvorenim istraživačkim infrastrukturama, otvorenoj znanstvenoj komunikaciji, znanstvenoj čestitosti, novim sustavima vrednovanja i nagrađivanja, otvorenosti prema angažmanu većine društvenih aktera i na otvorenom dijalogu s drugim sustavima znanja izvan sustava znanosti." [29]

Otvorena znanost i otvoreno obrazovanje znatno se oslanjaju na otvorene istraživačke infrastrukture, kakva je upravo i HR-ZOO. Naime, otvorenim infrastrukturama smatramo one infrastrukture koja podržavaju provođenje otvorene znanosti, uključujući prikupljanje i obradu FAIR (od engl.: *Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*) podataka, a obavezno je karakteriziraju transparentnost pravila i uvjeta uporabe i mogućnost pristupa i uporabe sukladno tako objavljenim pravilima, održivost i stabilnost rada, interoperabilnost s drugim infrastrukturama, sustavima i alatima te uključenost svih dionika, posebno istraživača, u upravljanje infrastrukturom.

Od samih početaka promišljanja HR-ZOO-a u fokusu interesa bilo je osiguravanje svim dionicima sustava znanosti i visokog obrazovanja potrebnih IKT kapaciteta i omogućavanje kvalitetne i učinkovite brige za podatke i informacije tijekom cijelog njihova životnog ciklusa. Utoliko rezultati i usluge Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka čine neraskidivu i logičnu cjelinu s ciljevima Inicijative za Hrvatski oblak za otvorenu znanost (HR-OOZ) [30], koji su definirani u nacrtu ranije navedenog Hrvatskog plana za otvorenu znanost. U tom sjedinjenju usluga i resursa HR-ZOO-a i HR-OOZ-a hrvatski sustav znanosti i visokog obrazovanja, odnosno istraživački, razvojni i inovacijski sustav imaju pouzdan i dugoročan temelj za napredak, povezivanje sa sličnim sustavima u Europi i svijetu te za ostvarenje svoje izvrsnosti i međunarodne relevantnosti.

Neupitna je važnost postojanja i pouzdanog funkcioniranja HR-ZOO-a te sinergije HR-ZOO-a i HR-OOZ-a i za razvoj brzorastućih novih područja važnih za sustav znanosti, obrazovanja i inovacija, ali i za društvo u cjelini, kao što su umjetna inteligencija, strojno učenje, ulančani blokovi (engl. *blockchain*), visokoučinkovita analiza velikih podataka i sl.

Uvažavajući značenje HR-ZOO-a kao temeljne, neupitno potrebne i zajedničke nacionalne e-infrastrukture te polazeći od nužnosti osiguravanja njezine održivosti i zadovoljavanja budućih potreba mnogobrojnih korisnika, potrebno je bez odgode pristupiti planiranju i omogućavanju daljnje nadogradnje i novih razvojnih iskoraka HR-ZOO-a u godinama koje dolaze.

LITERATURA

1. Hey T., Tansley S., Tolle K., Gray J. The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery, Microsoft Research, 2009., https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/fourth-paradigm-data-intensive-scientific-discovery/, pristupljeno 3. 1. 2024.
2. Duarte F. Amount of Data Created Daily (2024), Exploding Topics, 2023., https://explodingtopics.com/blog/data-generated-per-day , pristupljeno 3. 1. 2024.
3. ESFRI web sjedište, https://www.esfri.eu/, pristupljeno 6. 12. 2023.
4. ESFRI infrastrukture, https://roadmap2021.esfri.eu/projects-and-landmarks/view-the-table/, pristupljeno 6. 12. 2023.
5. European Commission – What is ERIC?, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/our-digital-future/european-research-infrastructures/eric_en, pristupljeno 6. 12. 2023.
6. e-IRG – e-Infrastructure Commons, https://e-irg.eu/e-infrastructure-commons/, pristupljeno 7. 12. 2023.
7. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council - A new ERA for Research and Innovation, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0628, pristupljeno 7. 12. 2023.
8. GEANT https://geant.org/, pristupljeno 8. 12. 2023.
9. EOSC, EU Commission, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-2020-2024/our-digital-future/open-science/european-open-science-cloud-eosc_en, pristupljeno 8. 12. 2023.
10. EOSC portal, https://eosc-portal.eu/, pristupljeno 8. 12. 2023.
11. Zajedničko poduzeće za europsko računalstvo visokih performansi (EuroHPC), EU komisija, https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/instituti-

ons-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-high-performance-computing-joint-undertaking-eurohpc-ju_hr, pristupljeno 8. 12. 2023.
12. EuroHPC Joint Undertaking, https://eurohpc-ju.europa.eu/index_en
13. Peruško U., Turk S., Budin L., Stefanini B. i dr., Sveučilišni računski centar Idejni projekt, ožujak 1971., https://50.srce.hr/assets/pdf/stari-dokumenti/idejni-projekt.pdf, pristupljeno 8. 12. 2023.
14. Odluka o osnivanju Sveučilišnog računskog centra u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, travanj 1971., https://www.srce.unizg.hr/sites/default/files/srce/o-srcu/odluka_o_osnivanju_srca.pdf, pristupljeno 8. 12. 2023.
15. Bekić Z., Srce moderne infrastrukture hrvatskoga sustava znanosti i visokog obrazovanja, Hrvatska revija 4, 2019., Matica Hrvatska, https://www.matica.hr/hr/605/srce-moderne-infrastrukture-hrvatskoga-sustava-znanosti-i-visokog-obrazovanja-30258/, pristupljeno 8. 12. 2023.
16. CRO GRID Infrastruktura, Srce, siječanj 2007., https://50.srce.hr/assets/pdf/CRO-GRID.pdf, pristupljeno 18. 12. 2023.
17. Strategija obrazovanja, znanosti i tehnologije Republike Hrvatske, listopad 2014., https://mzo.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Obrazovanje/Strategija%20obrazovanja,%20znanosti%20i%20tehnologije.pdf, pristupljeno 18. 12. 2023.
18. Smjernice razvoja e-infrastrukture sustava znanosti i visokog obrazovanja Republike Hrvatske za razdoblje 2009. – 2011. godine (prijedlog), Srce Novosti, 28, 2009., str. 2-7, https://www.srce.unizg.hr/arhiva_weba/20230317/files/srce/docs/o-srcu/Srce-novosti/sn28.pdf, pristupljeno 18. 12. 2023.
19. Sažetak prijedloga projekta izgradnje Hrvatskog znanstvenog i obrazovnog oblaka HR-ZOO, Arhiva Srca, KLASA: 910-04/12-102/003 URBROJ: 3801-01-12-3, ožujak 2012.
20. Marić I., Izgradnja računalnog i podatkovnog oblaka, Srce Novosti, 43, 2012., str. 5-7, https://50.srce.hr/assets/pdf/novosti/sn43.pdf, pristupljeno 2. 1. 2024.
21. Svečanost otvorenja podatkovnih centara HR-ZOO-a, Web sjedište projekta HR-ZOO, https://www.srce.unizg.hr/hr-zoo/node/119, pristupljeno 3. 1. 2024.
22. Nova nacionalna e-infrastruktura HR-ZOO puštena u rad, Web sjedište projekta HR-ZOO, https://www.srce.unizg.hr/hr-zoo/node/138, pristupljeno 3. 1. 2024.
23. Napredno računanje, Web sjedište Srca, https://www.srce.unizg.hr/napredno-racunanje, pristupljeno 12. 1. 2024.
24. VDC - Virtualni podatkovni centri, Web sjedište Srca, https://www.srce.unizg.hr/vdc, pristupljeno 12. 1. 2024.
25. The next era of supercomputing, Helwett Packard Enterprise, https://www.hpe.com/us/en/compute/hpc/supercomputing/cray-exascale-supercomputer.html, pristupljeno 10. 1. 2024.

26. OpenStack - The Most Widely Deployed Open Source Cloud Software in the World, OpenStack, https://www.openstack.org/, pristupljeno 10. 1. 2024.
27. Ceph – the Future of Storage, Ceph, https://ceph.com/en/, pristupljeno 10. 1. 2024.
28. VMware Cloud Foundation, VMware, https://www.vmware.com/products/cloud-foundation.html, pristupljeno 10. 1. 2024.
29. Prijedlog Hrvatskog plana za otvorenu znanost, 2023., https://www.srce.unizg.hr/sites/default/files/srce/usluge/hr-ooz/Hrvatski_plan_za_otvorenu_znanost-12_travnja_2023_lekt_20230424v3.pdf, pristupljeno 3. 1. 2024.
30. Inicijativa za Hrvatski oblak za otvorenu znanost, 2023., Web sjedište, https://www.srce.unizg.hr/inicijative/hr-ooz, pristupljeno 3. 1. 2024.

CROATIAN SCIENTIFIC AND EDUCATION CLOUD (HR-ZOO) - AN IMPORTANT ACHIEVEMENT ON THE WAY TOWARDS A COMMON CROATIAN E-INFRASTRUCTURE

Summary

The needs of modern science and modern education today imply the availability of advanced and reliable e-infrastructure and digital services, which, as a principle, should be planned, built and used jointly in accordance with international, national and institutional strategies and plans for the development of research and education. For more than fifty years in Croatia there has been a tradition of such an approach to building a common e-infrastructure. An important achievement in this context is the building of the Croatian Scientific and Educational Cloud (abbreviated as HR-ZOO) as a new generation of common national e-infrastructure, that was made available to users in 2023. In the coming years, HR-ZOO will provide the necessary computing, storage and communication resources to all stakeholders in the academic and research community. After the basic facts related to the creation of HR-ZOO, the results of the project and possibilities of this new national e-infrastructure are presented in the paper: a network of new data centres, the ability to set up virtual data centres, the advanced computing possibilities thanks to multipurpose computing and storage resources, including supercomputer "Supek", computer system for advanced cloud computing "Vrančić" and computer system «Štampar» for virtual data centers. HR-ZOO represents a significant national common resource necessary for the development of digital and open science and education and for strengthening the excellence and competitiveness of the Croatian research and higher educational areas and connecting them with the European and global ones.

Keywords: Croatian Scientific and Educational Cloud; HR-ZOO; SRCE, data centers; advanced computing; supercomputer; cloud computing.

Acknowledgement: The HR-ZOO project was co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund (ERDF).

Zoran Bekić
University of Zagreb
University Computing Center (SRCE)
Josipa Marohnića 5, HR10000, Zagreb, Croatia
e-mail: Zoran.Bekic@srce.hr

Ivan Marić
University of Zagreb
University Computing Center (SRCE)
Josipa Marohnića 5, HR10000, Zagreb, Croatia
e-mail: Ivan.Maric@srce.hr