RAZVOJ KVANTNOG RAČUNARSTVA I IMPLIKACIJE NA INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKE SISTEME/ DEVELOPMENT OF QUANTUM COMPUTING AND IMPLICATIONS FOR INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

Ajla Hurem[1], Mladen Radivojević[1], Malik Kadrić[2]
[1]Internacionalni univerzitet Travnik, Aleja-Konzula Meljanac bb. 72270 Travnik,
Bosna i Hercegovina,
[2]Visoka škola „CEPS-Centar za poslovne studije", Josipa bana Jelačića 18, 71250 Kiseljak,
Bosna i Hercegovina,
e-mail: ajla.hurem98@gmail.com, radivojevicmladen60@gmail.com, malikkadric16@gmail.com

UDK / UDC 004.38:004.89:004.4(049.32)
Pregledni članak

Sažetak
Kvantno računarstvo predstavlja revolucionarni pristup utemeljen na principima kvantne mehanike i nudi potencijal za rješavanje složenih problema znatno brže nego što to može tradicionalno računarstvo, koristeći qbite umjesto klasičnih, binarnih bita. Ovaj napredak otvara nove mogućnosti u područjima poput kriptografije, optimizacije algoritama i simulacije kvantnih sistema. Značajne su implikacije kvantnog računarstva na informacijsko-komunikacijske sisteme. Prednosti kvantnih računarskih tehnologija uključuju mogućnost bržeg rješavanja složenih problema, unaprijeđenu sigurnost komunikacija putem kvantne kriptografije te optimizaciju algoritama za analizu podataka i umjetnu inteligenciju. Razvoj kvantnog računarstva donosi i nove izazove. Integracija kvantnih računarskih tehnologija u postojeće informacijsko-komunikacijske sisteme zahtijeva nove pristupe u hardverskoj arhitekturi, programiranju i upravljanju podacima. Potrebno je razmotriti i implikacije po sigurnost podataka i privatnost korisnika, s obzirom na potencijalne prijetnje koje kvantno računarstvo može predstavljati za tradicionalne kriptografske sisteme. Analizirajući razvoj kvantnog računarstva i njegovih implikacija na informacijsko-komunikacijske sisteme, rad pruža uvid u budućnost računarskih tehnologija i potencijalne promjene u načinu na koji se podaci obrađuju i pohranjuju.
Ključne riječi*: Kvantno računarstvo, Informacijsko-komunikacijski sistemi, Kriptografija*

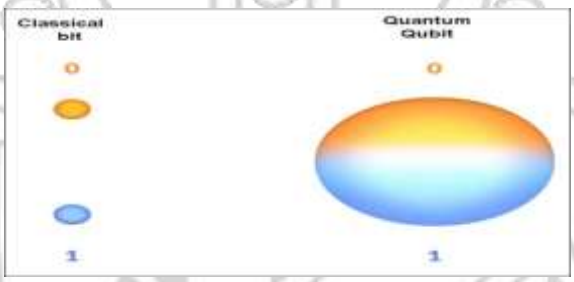
Abstract
Quantum computing represents a revolutionary approach based on the principles of quantum mechanics, offering the potential to solve complex problems significantly faster than traditional computing by using qubits instead of classical, binary bits. This advancement opens up new possibilities in areas such as cryptography, algorithm optimization, and quantum system simulation. The implications of quantum computing on information and communication systems are significant. The advantages of quantum computing technologies include the ability to solve complex problems more quickly, enhanced communication security through quantum cryptography, and algorithm optimization for data analysis and artificial intelligence. The development of quantum computing also brings new challenges. Integrating quantum computing technologies into existing information and communication systems requires new approaches in hardware architecture, programming, and data management. It is also necessary to consider the implications for data security and user privacy, given the potential threats that quantum computing may pose to traditional cryptographic systems. By analyzing the development of quantum computing and its implications on information and communication systems, this paper provides insight into the future of computing technologies and potential changes in how data is processed and stored.
Keywords: *Quantum computing, Information and communication systems, Cryptography.*

UVOD

Kvantno računarstvo, kao interdisciplinarna grana računarstva koja se temelji na principima kvantne mehanike, predstavlja izazovno, ali iznimno perspektivno područje istraživanja. U posljednjih nekoliko desetljeća, rapidni napredak u razumijevanju i manipulaciji kvantnim fenomenima doveo je do stvaranja novih paradigmi računarstva koje obećavaju revolucionarne promjene u načinu na koji obrađujemo informacije. Ovaj rad je usmjeren na istraživanje razvoja kvantnog računarstva i njegovih implikacija na informacijsko-komunikacijske sisteme. Polazeći od osnovnih koncepta kvantnog računarstva, kao što su kvantni bitovi. Razumijevanje temeljnih principa ključno je za shvatanje potencijalnih prednosti i izazova koje kvantno računarstvo donosi. Jedno od ključnih područja koja će biti obrađena u ovom radu je utjecaj kvantnog računarstva na sigurnost informacionih sistema. Kvantni računari imaju potencijal narušiti temelje klasične kriptografije zbog svoje sposobnosti brzog faktoriziranja velikih brojeva i rješavanja drugih problema koji su teški za klasične računare. Stoga će biti analizirani sigurnosni izazovi s kojima se suočavaju informacioni sistemi u eri kvantnog računarstva te mogući pristupi razvoju kvantno otpornih kriptografskih sistema. Kroz rad ćemo istražiti i potencijalne primjene kvantnih tehnologija u informacionim sistemima, uključujući optimizaciju algoritama, simulaciju kvantnih sistema te poboljšanje performansi računarskih sistema kroz primjenu kvantnih principa. Kroz pregled osnovnih koncepta, tehničkih izazova, sigurnosnih pitanja i potencijalnih primjena kvantnog računarstva, ovaj rad će pružiti sveobuhvatan uvid u trenutno stanje i perspektive razvoja ove inovativne discipline te njen utjecaj na informacijsko-komunikacijske sisteme.

1. KVANTNE TEHNOLOGIJE

Naučnici iz različitih regiona svijeta smatraju da će kvantna tehnologija, za razliku od već postojećih, radikalno i revolucionarno promijeniti IT svijet kakav poznajemo, a naročito malo poznatu oblast koju obuhvata kvantna fizika, jer ona duži niz decenija predstavlja veliki naučni i tehnološki izazov. Razlike između klasičnog i kvantnog računara su vidljive i ogromne ako posmatramo neke tehničke parametre. Na klasičnom računaru za izvođenje proračuna procesor koristi tranzistore i binarni sistem, dok kvantni računari koriste „Kubite" koji imaju jednu dodatnu funkciju u odnosu na bitove. Najkraće rečeno, oni nisu predstavljeni kao jedinice i nule, već zapravo mogu biti i jedno i drugo u isto vrijeme.



Slika 3. Prikaz razlika između binarnog i kvantnog računara
(*Izvor: https://www.indiatechonline.com/viewimage.php?id=1839*)

Uvođenjem kvantnih računara u IK sisteme, uspostavljena je tzv. kvantna nadmoć u odnosu na dosadašnje generacije računara, obzirom da kvantni računari mogu obraditi više informacija istovremeno, budući da poseduju takozvanu kvantnu superpoziciju u kubitima, dok binarni računari to ne mogu. Kvantna nadmoć daje mogućnost da ovi računari, kada bude uspostavljena njihova potpuna funkcionalnost, da čak i oni slabiji od 100 kubita, mogu bez posebnih teškoća zaobilaziti bezbjednosne sisteme kod svih binarnih računara. Na osnovu saznanja i razvoja kvantne fizike, kvantne mehanike I kvantne informatike, istraživački napori i inovativni potencijali podržani opštim tehnološkim trendom, težišno su usmjereni na razvoj kvantnog računarstva kao jednog od brojnih segmenata iz domena kvantne tehnologije radi njene primjene u praksi. Prvi talas kvantne revolucije donio je teoriju koja daje deskripciju mikroskopskog svijeta sa neverovatnom preciznošću i revolucionarnom tehnologijom poput tranzistora, lasera, GPS-a i magnetne rezonance.

Drugi talas se trenutno bavi mikroskopskim svijetom kvantnih tehnologija koje nose potencijal za inovacije. Na tom planu ostvaren je ogroman napredak u pripremi, manipulaciji, kontroli i

detekciji kvantnih pojava u materijalima i supstancama, kvantnim elektronskim sistemima, hladnim atomima, kvantnim tačkama i isprepletenim fotonima. Kvantne tehnologije, trenutno uključuju kvantne atomske satove, kvantne senzore, simulatore komunikacije i kvantne računare. U odnosu na druga tehnološka rješenja, kvantni računari su najzahtjevniji i imaju vjerovatno najširu oblast primjene kvantnih tehnologija, jer posjeduju mogućnosti i performanse za rješavanje najšireg spektra problema. Prema Microsoft-u, procesi optimizacije koje izvodi kvantni računar predstavljaju važan i odlučujući korak u daljem razvoju robotike, automatike, fabrika budućnosti, transportu i mašinskom učenju. Iako se kvantni računari još uvijek nisu pojavili na tržištu, drugi uređaji iz ove tehnologije, prema ocjeni stručnjaka, mogu biti za kratko vrijeme dostupni za savršeno sigurnu komunikaciju, dakle bez mogućnosti prisluškivanja. Ti uređaji se baziraju na fenomenu kvantnog ispreplitanja gdje se uspostavljaju posebno jake veze između dvije prostorno odvojene kvantne čestice. Primjena tih sofisticiranih uređaja vidljiva je u nekoliko područja. Između Šangaja i Pekinga konstruiše se 2000 km duga veza sa kvantnom enkripcijom za bezbijedan prijenos podataka. U Evropi i SAD slične veze takođe su uspostavljene, ali na manjim rastojanjima. Sudeći po najavama vodećih tehnoloških inovatora, uz dovoljno sredstava za nastavak istraživanja, proizvodnja, a time i upotreba kvantnih računara može se očekivati za 5-10 godina. Još osamdesetih godina prošlog vijeka, poznati fizičar Richard Feynman objavio je svoju teoriju o kvantnom računaru. Generacije naučnika poslije njega nastavile su istraživanja o računaru koji koristi kvantno stanje radi rješavanja određenih problema koji su klasičnim računarima nerješivi. Najdalje u tom pravcu otišao je Mikhail Lukin sa Univerziteta Harvard, budući da je sa svojim timom razvio kvantni računar koji koristi 51 kvantni bit da bi obavljao proračune i pravio algoritme, što ga čini najsnažnijim proizvedenim kvantnim računarom. Jedan od najvećih rezultata u stvaranju kvantnog računara zabilježen je u novoj Microsoft-ovoj laboratoriji koja radi istraživanje i razvoj na tehnološkom univerzitetu Delft u Holandiji. ErnstJan Stigter, generalni direktor „Microsoft Netherlands" smatra da su ulaganja u resurse i infrastrukturu putem javno-privatnog partnerstva ključni za kvantnu budućnost i da će ova laboratorija biti ključna za razvoj kvantne ekonomije. Za razliku od sadašnjih, kvantni računari će moći obavljati proračune i zadatke mnogo brže i na višem nivou složenosti, nego današnji najmoćnjiji superkompjuteri.

Primjena ove računarske moći ima potencijal da revolucionira društvo i svijet u kome živimo. Razvoj kvantnih računara ide u dva pravca: otkrivanje i primjena novih tretmana protiv bolesti, te rješavanje izazova u ekološkoj oblasti, kao što su efikasno korištenje oskudnih materijala ili

ekonomično korištenje prirodnih resursa, što bi moglo pomoći u borbi protiv globalnog zagrijavanja.

2. TEHNOLOŠKI ASPEKTI KVANTNOG RAČUNARSTVA

Tehnološki aspekti kvantnog računarstva obuhvataju različite fizičke platforme, tehnologije i izazove povezane s izgradnjom i održavanjem kvantnih računarskih sistema. Većina današnjih kvantnih računarskih sistema koristi superprovodničke qubite, koji se nalaze u vakuumskim komorama na izuzetno niskim temperaturama blizu apsolutne nule. Ovi qubiti su osjetljivi na vanjske smetnje, ali omogućavaju visoku preciznost i skalabilnost. Drugi pristup koristi jone zarobljene u elektromagnetnim poljima kao qubite. Jonski qubiti su manje osjetljivi na smetnje okoline, ali zahtijevaju složenije sisteme kontrole. Koriste se i fotoni kao qubiti, što omogućava brzu komunikaciju između kvantnih procesora. Međutim, izazov je ostvariti visoku gustoću qubita zbog problema s integracijom fotonskih komponenti. Tehnike za kontrolu qubita uključuju primjenu mikrotalasa, lasersko hlađenje i elektromagnetno polje. Očitanje stanja qubita zahtijeva posebne tehnike detekcije, kao što su mjerenje količine energije, mjerenje spinova ili promatranje fluorescencije. Qubiti su izuzetno osjetljivi na vanjske smetnje, poput vibracija, elektromagnetnih polja ili fluktuacija temperature. Održavanje stabilnosti qubita ključno je za pouzdano izvođenje kvantnih operacija. Interakcija qubita s okolinom može dovesti do gubitka kvantne superpozicije i entanglementa, fenomena poznatog kao decoherence. Smanjenje efekata decoherence ključno je za održavanje kvalitete kvantnih operacija. Kvantni računari podložni su različitim vrstama grešaka, poput grešaka u qubitima, grešaka u kontrolnim sklopovima ili grešaka u mjerenju. Razvoj tehnika korekcije grešaka od ključne je važnosti za pouzdanu izvedbu kvantnih algoritama. Jedan od najvećih izazova u kvantnom računarstvu je postizanje skalabilnosti, tj. povećanje broja qubita i kompleksnosti kvantnih sklopova. Potrebno je razviti nove metode izrade i kontrolisanja qubita kako bi se postigao željeni nivo skalabilnosti.

3. KVANTNO RAČUNARSTVO I KRIPTOGRAFIJA

Kvantno računarstvo ima značajan utjecaj na područje kriptografije, budući da kvantni algoritmi imaju potencijal narušiti klasične kriptografske protokole koji se temelje na složenosti

faktorizacije brojeva ili diskretnog logaritma. Jedna informacija može biti izražena i reprezentirana na mnogo različitih načina i pritom zadržati svoja osnovna obilježja, što otvara mogućnost automatske manipulacije informacijama. Mašina mora biti u mogućnosti upravljati samo krajnje jednostavnim faktorima, poput binarnih brojeva, kako bi izvodila prilično složene procese procesuiranja informacija kao što su priprema dokumenta ili prevođenja prirodnih jezika. Danas su ovi fenomeni poznati svima, ali prije samo pola stoljeća ovolika važnost automatskog upravljanja informacijama nije se mogla ni naslutiti. Sve metode izražavanja informacije koriste se fizičkim fenomenima za obavljanje funkcije. Zvuk i glas prenose se fluktuacijama u pritisku zraka, pisani tekst zavisi o rasporedu molekula tinte na papiru, a ljudske misli o neuronima. Može se reći da nema informacije bez njene fizičke reprezentacije. Nezavisnost o načinu izražavanja i mogućnost slobodnog mjenjanja oblika informaciju čine očitim kandidatom za bitnu ulogu u fizici, uz energiju, moment sile i ostale slične apstrakcije. Velik dio rada u polju fizike bio je usmjeren na otkrivanje najmanjih čestica u prirodi i jednačina koje opisuju njihovo kretanje i interakcije. Danas se čini da bi drugačiji pristup mogao biti od jednake važnosti: otkriti načine na koje priroda omogućava izražavanje i manipuliranje informacijama. Praksa matematičkog procesiranja informacija postoji tek od sredine dvadesetog stoljeća, dok je prava važnost tretiranja informacije kao osnovnog koncepta fizike nedavno otkrivena. Ta je važnost vidljiva pri proučavanju koncepata kvantne mehanike, a teorija o kvantnoj informaciji i kvantnom računarstvu dovela je do istinski uzbudljivih saznanja o načinu na koji prirodni svijet funkcioniše. Neki od procesa kvantne obrade informacija su korištenje kvantnih stanja za siguran prijenos klasičnih informacija (kvantna kriptografija), korištenje fenomena kvantne prepletenosti u svrhu pouzdane transmisije kvantnog stanja (teleportacija), mogućnost očuvanja kvantne koherentnosti uz prisutnost buke u komunikacijskom kanalu i korištenje kontrolisane kvantne evolucije za izvođenje računarskih algoritama. Zajedničko ovim procesima je upotreba fenomena kvantne prepletenosti kao računarskog resursa.

Područje kvantne kriptografije za cilj ima opisati procese ostvarivanja sigurne komunikacije i zaštite podataka upotrebom fundamentalnih principa fizike poput kvantno mehaničkog fenomena kvantne prepletenosti i Heisenbergovog načela neodređenosti. Posljednjih desetljeća ostvaren je značajan napredak u teorijskom razumijevanju kvantne kriptologije, a sve bržim tehnološkim napretkom i razvojem kvantnih računara njezin je potencijal i eksperimentalno dokazan. Područje kvantne kriptografije se smatra jednim od najperspektivnijih kandidata za

široku implementaciju kvantnih tehnologija. Shorov algoritam, kvantni algoritam razvijen od strane Petera Shora, može faktorizirati velike brojeve u polinomijalnom vremenu. Ovo je značajno jer je faktorizacija brojeva temeljni matematički problem na kojem počiva većina klasičnih kriptografskih protokola, poput RSA kriptosistema. Ako kvantni računar uspije efikasno faktorizirati velike brojeve, to bi ugrozilo sigurnost komunikacije koja se temelji na ovim klasičnim protokolima. Kvadriranje brojeva modulo n i određivanje diskretnog logaritma su ključni koraci u mnogim kriptografskim algoritmima, poput Diffie-Hellmanovog sporazuma o tajnom ključu i ElGamalovog kriptosistema. Kvadriranje brojeva modulo n i određivanje diskretnog logaritma temelj su teških problema u klasičnom računarstvu. Međutim, Shorov algoritam može rješavati ove probleme u polinomijalnom vremenu na kvantnom računaru. Kako bi se izbjegle prijetnje koje predstavljaju kvantni računari za klasične kriptografske protokole, istražuju se kvantno sigurni kriptografski protokoli. Ovi protokoli se temelje na matematičkim principima koji su otporni na napade kvantnih računara, poput korištenja kvantno otpornih kriptografskih algoritama, McEliece-ovog kriptosistema ili kvantno sigurnih tajnih ključeva. Post-kvantna kriptografija je područje istraživanja koje se bavi razvojem kriptografskih algoritama i protokola otpornih na napade kvantnih računara. Cilj je stvoriti kriptografske sisteme koji će biti sigurni i u svijetu u kojem su kvantni računari široko dostupni. To uključuje istraživanje novih tehnika šifriranja, digitalnih potpisa i tajnih dijeljenja ključeva koji su otporni na kvantne napade. Kako bi se osigurala sigurnost komunikacije u budućnosti, istražuju se strategije za prijelaz s klasičnih na kvantno sigurne kriptografske protokole. Ovaj proces uključuje implementaciju novih algoritama, provjeru sigurnosti postojećih sistema i osposobljavanje korisnika za nove sigurnosne prakse.

4. IMPLIKACIJE KVANTNOG RAČUNARSTVA NA INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKE SISTEME

Implikacije kvantnog računarstva na informacijsko-komunikacijske sisteme su duboke i obuhvataju niz promjena u načinu na koji se podaci obrađuju, prenose i štite. Kvantno računarstvo može dovesti do razvoja novih algoritama koji su znatno brži od klasičnih algoritama za određene zadatke, što može rezultirati značajnim poboljšanjima u područjima optimizacije procesa, analize podataka i simulacije kompleksnih sistema. Kvantno računarstvo pruža temelje za razvoj kvantno sigurnih kriptografskih protokola otpornih na napade kvantnih računara. Kvantno sigurni protokoli omogućavaju sigurnu komunikaciju i razmjenu informacija

čak i u prisutnosti napadača s kvantnim računarima. Kvantna teleportacija informacija omogućava prijenos kvantnog stanja između dva qubita na udaljenim lokacijama bez fizičkog prijenosa same informacije. Ova tehnologija ima potencijal za razvoj sigurnih i brzih kvantnih komunikacijskih mreža. Kvantno računarstvo omogućava simulaciju i analizu kvantnih sistema, poput molekularnih struktura i hemijskih reakcija, na način koji nije moguć klasičnim računarima. Ovo ima potencijalne primjene u područjima poput razvoja novih lijekova, materijala i katalizatora. Kvantno računarstvo donosi značajne promjene u informacijsko-komunikacijske sisteme, uključujući brže računanje, sigurnije komunikacije, mogućnost simulacije kompleksnih sistema te izazove u sigurnosti.

5. BUDUĆNOST KVANTNOG RAČUNARSTVA

Izazovi i budućnost kvantnog računarstva su tijesno povezani s nizom tehničkih, tehnoloških i teorijskih prepreka koje treba prevladati kako bi se ostvario puni potencijal ove revolucionarne tehnologije. Današnji kvantni računari, sa svojim postavkama i superhladnim temperaturama, mogli bi ostati zaključani u visokotehnološkim trezorima. Ali baš kao što su glomazni računari prošlih godina ustupili mjesto elegantnim laptopima i moćnim pametnim telefonima, kvantni hardver budućnosti će postati pristupačniji, kompaktniji i lakši za upotrebu. Mogli bismo biti svjedoci proliferacije kvantnih platformi kao usluge, demokratizirajući pristup kvantnim mogućnostima. Algoritmi sutrašnjice neće biti samo kvantne verzije klasičnih. Oni će iskoristiti inherentna svojstva kvantne mehanike, kao što su superpozicija i isprepletanje, da istraže računske teritorije za koje se ranije smatralo da su nedostižni.

Ovi algoritmi će biti efikasniji, svestraniji i prilagodljiviji, otvarajući nove vidike u mašinskom učenju. Bliskom budućnošću će vjerovatno dominirati sistemi koji kombinuju prednosti klasičnog i kvantnog računarstva. Ovi hibridni modeli će osigurati da zadaci koji su prikladni za klasične sisteme ne budu nepotrebno prebačeni na kvantne, optimizirajući računarsku efikasnost i resurse. Kako kvantni računari predstavljaju potencijalnu prijetnju klasičnim metodama šifriranja, budućnost će vidjeti uspon kvantno sigurnih kriptografskih tehnika koje će osigurati da naša digitalna komunikacija ostane sigurna, čak iu post-kvantnom svijetu. Sa porastom kvantnih tehnologija, obrazovne institucije će uvesti sveobuhvatnije kvantno računarstvo što će stvoriti novu generaciju kvantno pismenih profesionalaca, istraživača i programera, podstičući globalnu radnu snagu upućenu i u klasične i u kvantne paradigme. Spajanje kvantnog računarstva sa vještačkom inteligencijom dovest će do naprednijih modela vještačke inteligencije. Ovi modeli će biti sposobni za rukovanje ogromnim skupovima

podataka i efikasnije rješavanje složenih problema, što bi potencijalno moglo dovesti do AI proboja koji može razumjeti svijet i komunicirati sa njim na načine o kojima smo samo sanjali. Uz veliku moć dolazi i velika odgovornost. Široko usvajanje ove tehnologije će donijeti etičke i društvene izazove, od zabrinutosti za privatnost podataka u postkvantnom svijetu do širih implikacija ultra-inteligentnih AI modela. Društva će se boriti s pozitivnim I negativnim posljedicama ovog kvantnog skoka. Budućnost kvantnog mašinskog učenja nije samo u bržim proračunima ili rješavanju složenih matematičkih zagonetki, nego i u stvaranju svijeta u kojem kvantno i klasično koegzistiraju i sarađuju. Kako se kvantna talasna funkcija urušava u stvarnost sutrašnjice, jedno je sigurno: naš digitalni univerzum je postavljen za transformativnu, kvantnom inspiriranu evoluciju.

ZAKLJUČAK

Kvantne tehnologije, a prije svega kvantni računari, nude revolucionarna i kvalitativna poboljšanja u pogledu kapaciteta, osetljivosti i brzine, tako da će biti primarni faktor uspjeha u mnogim industrijama i na mnogim tržištima. Prije komercijalizacije ovih računara, potrebno je izgraditi platformu, koja će ključnim idejama i inovacijama društva omogućiti znanje o tome kako izgraditi sigurnije, brže i pametnije uređaje, proizvode i protokole.

Sumirajući dosadašnje rezultate, naučnici, obzirom na revolucionarnost pojedinih rješenja, ocjenjuju da svaki ozbiljniji pomak ili korak u razvoju kvantne tehnologije, u stvari predstavlja jedan svojevrsni kvantni skok. Evropska Unija, nastojeći da održi korak sa najrazvijenijim zemljama na zapadu i istoku, veoma je rano prepoznala potrebu za velikim ulaganjima, a zatim i razvijanju istraživačkih kapaciteta u oblasti kvantne tehnologije. Iz tih razloga, institucije EU pokrenule su inicijativu pod nazivom „Quantum Technologies Flagship", vrijednu više od milijardu eura, koja će kroz sljedećih 10 godina finansirati više od 5000 istraživača u naučnim institucijama i sve projekte usmjerene na razvoj kvantne tehnologije. U tom kontekstu predstavljen je i manifest koji opisuje značaj novih tehnoloških projekata, te važnost novih tehnologija u čijem se središtu nalazi kvantna revolucija. Koliki je značaj ove tehnologije, vidi se i po tome što se ona upoređuje sa otkrićem tranzistora 1940-ih i uvođenjem interneta 1990-tih. Realizacija programa je počela 2018. godine i obuhvata 22 države članice, dok istraživačke projekte podržavaju globalni tehnološki giganti poput: Google, Intel, Microsoft, Airbus Defense i Space, Alcatel Lucent, ASML, Bosch, IBM, Nokia, IMEC, Safran, Siemens i Thales. Time je postalo jasno da je Evropa odlučila da bude predvodnik u razvoju kvantne tehnologije u svijetu. Prema dosadašnjim istraživačkim dostignućima, može se bez većih rizika zaključiti

da kvantna tehnologija osigurava veliki tehnološki napredak u područjima kao što su računarstvo, simulacije, kriptografija, telekomunikacije, dok se konkretne koristi od njene primjene već vide kroz veoma precizne senzore u medicini, proizvodnji lijekova, energetici, ekologiji i ostvarivanju veće bezbjednosti digitalnih podataka. Pored navedenih, posebna vrijednost kvantne tehnologije i mogućnost šire primjene, ogleda se u njenoj kompatibilnosti sa drugim naprednim tehnologijama, što će otvoriti širok prostor za razvoj nove generacije naprednih tehnologija čiji se obrisi samo naziru, ali još uvijek ne i konkretna rešenja i mogućnosti primjene.

LITERATURA

[1] Aaronson S. 2013 - "Quantum Computing Since Democritus" , Cambridge University Press, Ujedinjeno Kraljevstvo.

[2] Hidary J. D., 2019 "Quantum Computing: An Applied Approach" , Springer, SAD.

[3] Rieffel E. G., Polak W. 2011 - "Quantum Computing: A Gentle Introduction", The MIT Press, SAD.