

# Evropa z milijardami poganja kvantno revolucijo. Slovenije ni zraven

Nova kvantna revolucija je primerljiva z odkritjem tranzistorja v 40. letih in vpeljavo interneta v 90. letih prejšnjega stoletja.

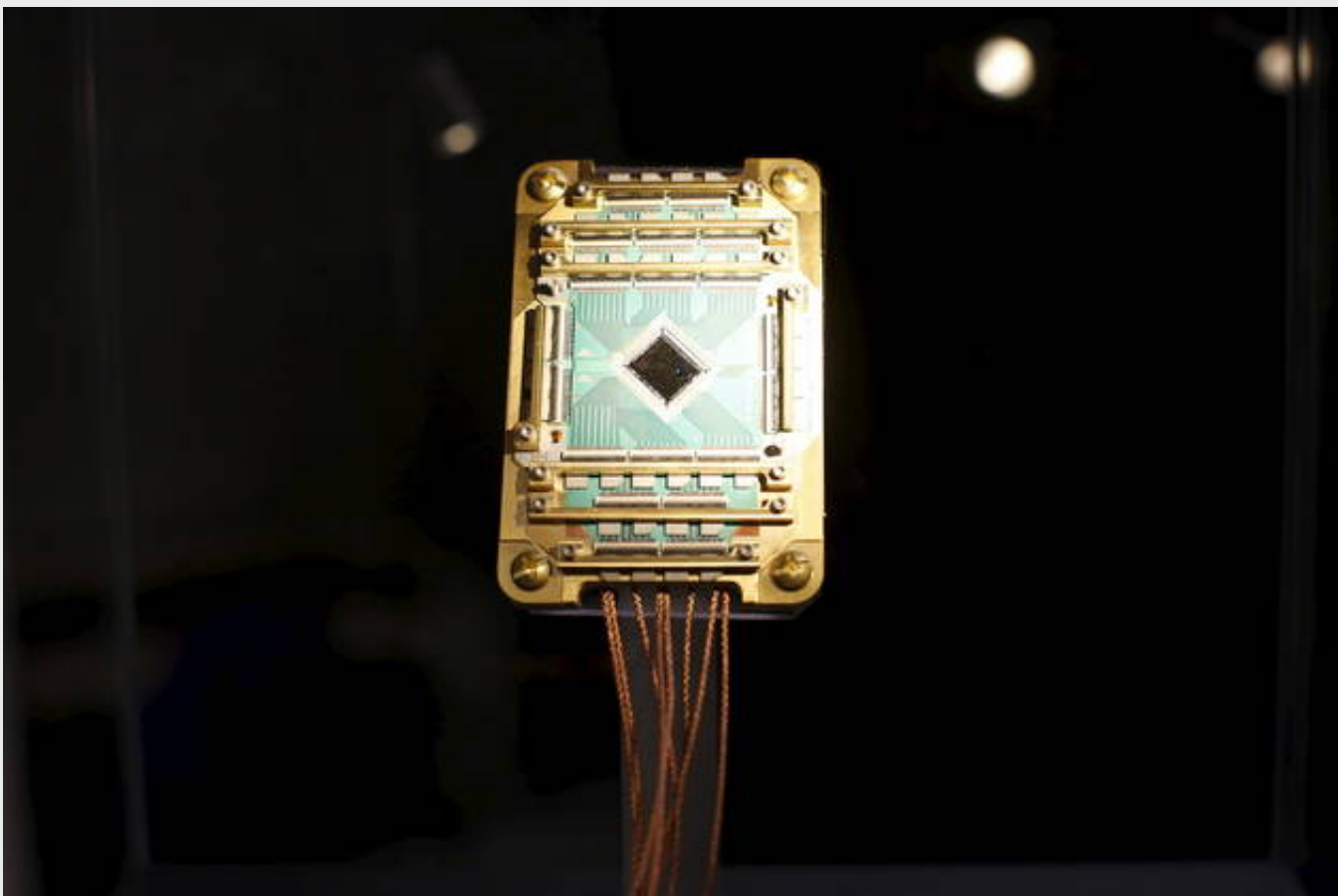
*Anton Ramšak, Anton Jeglič, Tomaž Prosen, Rok Žitko, Dragan Mihailović*

sobotnaPRILOGA

sob, 28.05.2016, 06:00

## Ključne besede:

• kvantna revolucija, • Quantum Europe: a New Era of Technology, • IoT, • Internet of Things, • internet stvari



Procesor D-Wave Vesuvius Foto: Stephen Lam/Reuters

Nizozemska, predsedujoča Evropski uniji, je 17. in 18. maja v Amsterdamu nekaj tisoč

Slovenija ena od redkih v EU, ki ni vključena v oblikovanje programa kvantnih tehnologij.

predstavnikom politike, vrhunskih svetovnih podjetij in znanstvenikom na dogodku Quantum Europe: a New Era of Technology, skupaj z evropsko komisijo, napovedala nov, milijardo evrov vreden program raziskav na področju kvantnih tehnologij. Ob tem je izdala tudi Quantum Manifesto, manifest z opisom pomena novih tehnologij, ki naznanjajo novo kvantno revolucijo.

*Sloveniji je s to odločitvijo onemogočeno delo, črpanje sredstev in prijava projektov.*

Nova kvantna revolucija je, kot ugotavlja manifest, primerljiva z odkritjem tranzistorja v 40. letih in vpeljavo interneta v 90. letih prejšnjega stoletja. Program, ki ga oblikuje 22 držav, se bo začel v letu 2018.

Pobudo je sprožila Nizozemska v okviru predsedovanja Evropski uniji, saj je trenutno na tem področju ena od vodilnih držav v Evropi in program oblikuje skupaj z Nemčijo, Veliko Britanijo in Italijo. Nacionalne vlade in Evropski raziskovalni sklad (European Research Council) se zavedajo pomembnosti prihajajoče revolucije in tovrstne raziskovalne projekte čedalje močneje podpirajo, v zadnjih dveh letih pa so se z velikimi investicijami vključila tudi podjetja, kot so Google, Intel, Microsoft, Airbus Defence and Space, Alcatel Lucent, ASML, Bosch, IBM, Nokia, IMEC, Safran, Siemens in Thales.

Na dogodku je bil izkazan izjemen interes podjetij za nove kvantne tehnologije. Google je, na primer, opisal kvantne tehnologije kot največji izziv v zgodovini podjetja! Microsoft je predstavil svoje obsežne načrte, ki obsegajo vse od raziskav na področju kemije, biokemije, okoljskih raziskav, kvantnih senzorjev, strojnega učenja, predvsem pa procesiranja ogromne količine podatkov, ki jih obeta IoT (Internet of Things, internet stvari – vse inteligentne naprave, povezane z internetom). Intel že intenzivno sodeluje z nizozemskimi laboratoriji pri gradnji širokega spektra kvantnih in spremljajočih klasičnih tehnologij. Bosch poudarja svoje usmeritve v senzorje za IoT, kvantne senzorje, kvantno kriptografijo in kvantno računalništvo.

Podobno podporo iz javnih sredstev kažejo tudi države članice EU. Samo Velika Britanija je odobrila 460 milijonov evrov za obdobje petih let, ki že teče, Nizozemska pa 260 milijonov. Rečeno je bilo: »Današnja podpora v inovacije prinese gospodarsko moč jutri.« Predvsem pa je bilo poudarjeno, da evropska komisija pričakuje podporo programa na nacionalni ravni, saj želi na tem pomembnem področju ustvariti skupno evropsko premoč v svetu.

## Kaj so kvantne tehnologije?

Prva kvantna revolucija nam je prinesla kvantno mehaniko, teorijo, ki opisuje mikroskopski svet z neverjetno natančnostjo in z revolucionarno tehnologijo, kot so tranzistorji, laserji, GPS in slikanje z magnetno resonanco. Druga kvantna revolucija zdaj naslavlja makroskopski svet s kvantnimi tehnologijami, ki imajo neverjeten potencial za inovacije tako na osnovni ravni kot tudi za vsakodnevne aplikacije. To nam je omogočil izjemen napredek v pripravi, manipulaciji, kontroli in detekciji kvantnih pojavov v snovi, kvantnih sistemih elektronskih naprav, s hladnimi atomi, v kvantne pike in prepletenimi fotoni. Kvantne tehnologije vključujejo kvantne atomske ure, kvantne senzorje, kvantne simulatorje, kvantno komunikacijo in kvantne računalnike. Primer kvantnih senzorjev so atomski interferometri, s katerimi bom lahko izmerili pospešek, rotacijo, gravitacijo in magnetno polje z nekaj redov velikosti večjo natančnostjo, kot jo imajo klasični senzorji, kar bo imelo velik vpliv na navigacijo.

## Kvantni računalniki

Računalniške zmogljivosti so do leta 2000 bliskovito naraščale: vsako leto se je procesorska moč skoraj podvojila. Potem se je napredek počasi začel ustavljati. Procesorska ura se že skoraj deset let giblje okrog 2 GHz in prenosniki danes niso bistveno hitrejši kot pred desetimi leti. Povečanje kapacitet računalniškega spomina, ne pa hitrosti, je trenutno že posledica razvoja nanotehnologije. Klasični pristopi k obdelavi podatkov so blizu tehničnih in fizikalnih omejitev. Povsem naravno je torej, da začnemo obravnavati procesiranje na ravni atomov, za kar pa moramo uporabiti kvantne informacijske tehnologije. Zato v zadnjih nekaj letih opažamo pospešen napredek različnih kvantnih tehnologij.

Kvantni računalniki so najbolj zahtevno, a tudi najbolj obetajoče področje kvantnih tehnologij. Pomembnost tega področja se kaže tudi v nedavnem govoru kanadskega predsednika vlade Justina Trudeaua, kjer je prisrčno predstavil osnovne pojme kvantne tehnologije (na viralnem videoposnetku [www.youtube.com/watch?v=Eak\\_ogYMprk](http://www.youtube.com/watch?v=Eak_ogYMprk)). Principi kvantnega računalništva so znani že nekaj časa in tudi nekaj praktičnih demonstracij je bilo že prikazanih (med njimi je tudi slovenska – glej spodaj). Način delovanja tovrstnih računalnikov ne omogoča programiranja kar vsega počez, kot to lahko delamo s klasičnimi računalniki. Primerni so predvsem za reševanje določenih problemov. Dobro znana sta na primer faktorizacije celih števil in iskanje po neurejenih seznamih, z algoritmoma, poimenovanima po izumiteljih (Shorov in Groverjev). Shorov algoritem je še posebej problematičen, saj tako rekoč izniči uporabnost današnjih sistemov za enkripcijo podatkov, ki jih uporabljajo banke (npr. Klik) ali državne ustanove (npr. vojska). Kot primer, ki ga navaja Microsoft, za zlom 2048-bitne enkripcije kvantni računalnik potrebuje 100 sekund. Za primerjavo: klasični računalnik bi potreboval več milijard let. Zato je povsem jasno, da bodo kmalu morali vsi, ki želijo biti varni pred vdorom nepripravov, uporabiti kvantno enkripcijo.

Vodilno na trgu kvantnih računskih naprav je kanadsko podjetje [d-wave](#), ki je prvi prototip nekakšnega kvantnega računalnika predstavilo že leta 2007 (slika 1). Kupci so pretežno ameriška vojska in računalniška podjetja, npr. Google. Tovrstne naprave še niso pravi univerzalni kvantni računalniki, saj jih lahko programiramo samo z nekaterimi izbranimi kvantnimi algoritmi in se zato imenujejo kvantni simulatorji (oz. natančneje Quantum annealer). Temeljijo na relativno majhnem številu superprevodnih kvantnih interferenčnih elementov (Superconducting quantum interference devices ali SQUIDs) na enem samem relativno majhnem ohlajenem čipu, ki deluje blizu absolutne ničle, pri – 273,135 stopinje Celzija (slika 2). Podjetje je do zdaj demonstriralo nekaj primerov rešitev posebnih problemov, kjer tovrstni računalnik z le 1000 elementi tekmuje s klasičnimi superračunalniki z več milijardami tranzistorjev. Razumevanje delovanja teh računalnikov je še stvar strokovne razprave, ampak prihodnost kvantnega računalništva je zelo očitno nakazana. IBM je pred nekaj dnevi omogočil odprt dostop do svojega pravega, četudi majhnega kvantnega računalnika (slika 3) v [oblaku](#).

Po poročanju Microsofta so optimizacijski procesi, ki jih izvajajo kvantni računalniki, pomemben naslednji korak v robotiki, avtomatiki (v tovarnah prihodnosti), transportu (npr. raztovarjanje in usmerjanje tovora) in strojnem učenju (»machine learning«). Ne potrebujemo veliko domišljije za napoved uporabe v inteligentnih robotih za optimizacijo gibanja in nekoč tudi v možganih umetno inteligentnih sistemov (kvantni roboti).

Medtem ko čisto pravih velikih kvantnih računalnikov še ni na trgu, se že lahko dobi naprave za

povsem varno komuniciranje, kjer ni popolnoma nobene možnosti za prisluškovanje. Temeljijo na pojavu kvantne prepletenosti, nekakšni posebno močni povezavi med dvema prostorsko ločenima kvantnima delcema. O tem je pred kratkim na Institutu **Jožef Stefan** predaval Anton Zeilinger z dunajske univerze. Praktična uporaba je vidna že na več področjih: na primer med Šanghajem in Pekingom na Kitajskem konstruirajo 2000 km dolgo povezavo s kvantno enkripcijo za varen prenos podatkov. Podobne, le krajše povezave so že v uporabi na več mestih v ZDA in Evropi.

Povsem jasno je, da je kvantna tehnologija še v povojih, v fazi, podobni začetku razvoja interneta ob koncu prejšnjega stoletja. Udeležba na začetku – kot pri podobnih tehnoloških revolucijah – obeta velike komercialne dobičke. V uvodnem govoru ob inavguraciji konference Quantum Europe je nizozemski minister za gospodarstvo g. Henk Kamp podrobno in s spodobno mero tehničnih podrobnosti naštel gospodarske učinke nove tehnologije. Predvsem si Evropa z novim programom želi zagotoviti vodilno mesto v svetu s celovitim pristopom, ki vključuje izobraževanje, raziskave, inovacije in inženiring.

### Slovenskim znanstvenikom so uradniki preprečili sodelovanje

Pri kvantnih tehnologijah imamo v Sloveniji nekaj skupin na različnih ustanovah, ki kažejo rezultate v samem svetovnem vrhu. Še več, neravnovesni kvantni sistemi so področje, kjer ima Slovenija edina dva projekta Evropskega raziskovalnega sveta (ERC) za vrhunske znanstvenike – prestižno nagrado, ki jo evropska komisija vsako leto podeli le peščici raziskovalcev na tem področju v vsej Evropi. Tudi eno od pionirskih del v kvantnem računalništvu je slovensko. Delo ene od teh skupin iz leta 2002 prikazuje praktično demonstracijo prvega ultrahitrega kvantnega simulatorja z uporabo Groverjevega iskalnega algoritma (glej sliko 3). Iskalne algoritme uporabljamo vsak dan za iskanje pojmov in rudarjenje po podatkih (npr. Google search). Groverjev algoritem je kvantna različica le-tega, ki omogoča pospešeno iskanje in kvadratno pohitritev v primerjavi s klasičnimi algoritmi. Kvantne tehnologije so, glede na odlično izhodiščno pozicijo, izvrstna priložnost za mlade slovenske znanstvenike in inženirje na področju fizike, elektrotehnike in računalništva.

Sodelovanje v omenjenem programu evropske komisije na področju kvantnih tehnologij je slovenskim raziskovalcem ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport (MIZŠ) odklonilo brez strokovne razprave ali obrazložitve. Tako je Slovenija ena od redkih v EU (glej zemljevid), ki ni vključena v oblikovanje programa kvantnih tehnologij. Sloveniji je s to odločitvijo onemogočeno delo, črpanje sredstev in prijava projektov na novem programu, kar še posebej nerazumljivo glede na uspehe slovenskih znanstvenikov. Ne pozabimo, da so podporo temu programu slovenski davkoplačevalci že plačali s članstvom v EU, sredstev pa v Sloveniji ne bomo mogli črpati, če ne bomo sodelovali pri tem projektu. Vprašujemo se, kdo in kako o tem pri nas odloča?

Takšne nepremišljene odločitve imajo dolgoročne strateške posledice. Za ponazoritev: kaj bi se zgodilo, če bi se v zgodnjih 90. letih preteklega stoletja državni uradniki odločili, da Slovenija ne bo sodelovala pri razvoju interneta? Kvantne tehnologije se bodo razvile, ne glede na to, ali bo Slovenija sodelovala ali ne. Z odrekanjem podpore svojim znanstvenikom se odreka tudi bodočim tržnim dobičkom na področju z najvišjo možno dodano vrednostjo. Pri tem je zelo umestno vprašanje, na kakšni osnovi se na državni ravni odloča o osnovnih usmeritvah v znanosti in tehnologiji?

Paralela z Evropo. Leta 1948 je bil tranzistor skoraj sočasno izumljen v Evropi in v ZDA. Američani so prepoznali potencial in razvili globalno premoč v elektronski industriji. Ta še vedno traja. Američani so

---

dobili tudi Nobelove nagrade za njegov izum, Evropejci nič. Ključ do ameriškega uspeha je bila neomajna podpora inovacijam, ki pa ne morejo živeti brez ekstenzivne infrastrukture tako v opremi kot intelektualnih sposobnostih. Evropa v povojnem obdobju tega ni zmogla, ampak se je – vsaj pod nizozemskim predsedovanjem –, kot kaže, nekaj naučila. Ravno pri tem pa je Slovenija povsem izgubila kompas.

*Prof. dr. Anton Jeglič, prof. dr. Dragan Mihailović, prof. dr. Tomaž Prosen, prof. dr. Anton Ramšak in doc. dr. Rok Žitko kot univerzitetni učitelji in raziskovalci delujejo na Univerzi v Ljubljani in/ali na Inštitutu Jožefa Stefana.*