

TOMMI TENKANEN

KVANTTI- KILPA- JUOKSU

SUPERTIETOKONEIDEN
VALLANKUMOUS

TAMMI

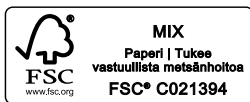
TOMMI
TENKANEN

KVANTTI-
KILPA-
JUOKSU

SUPERTIETOKONEIDEN
VALLANKUMOUS



TAMMI
HELSINKI



Ensimmäinen painos

© Tommi Tenkanen ja Tammi 2025

Tammi on osa Werner Söderström Osakeyhtiötä

Lönnrotinkatu 18 A, 00120 Helsinki

ISBN 978-952-04-7049-4

Painettu EU:ssa

Tuoteturvallisuuteen liittyvät tiedustelut: tuotevastuu@tammi.fi

SISÄLLYS

1. Kvanttitietokone muuttaa maailmaa	7
2. Kvanttifysiikan valtakunta	27
3. Kvanttifysiikasta kvanttilaskentaan	45
4. Kylmän teknologian kuuma ala	65
5. Kvanttietua tavoittelemassa	95
6. Kvanttialgoritmit hyötykäytössä	125
7. Kvanttilaskennan monet sovellukset	157
8. Murtuvatko tietojärjestelmien salaukset?	189
9. Kilpajuoksu kvanttiturvalliseen maailmaan	213
10. Kilpailu maailman herruudesta	239
11. Kvanttilaskennan tulevaisuus	269
 Kiitokset.....	287
Kirjallisuutta ja muita lähteitä	290
Sitaattien lähteet	292
Hakemisto	296

LUKU 1

KVANTTITIETOKONE MUUTTAA MAAILMAA

”Mitään riittävän kehittynyttä tekniikkaa
ei voi erottaa taikuudesta.”

– ARTHUR C. CLARKE

Kun Kalifornian osavaltion Valtatie 1:tä ajaa Los Angelesista pohjoiseen, törmää ennen pitkää Santa Barbaraan. Idyllisessä merenrantakaupungissa taivas on useimmiten kirkas, sillä auringonpaistetta nähdään kaupungin hiekkarantojen yllä yli 300 päivänä vuodessa. Rannoilta aukeava Tyyni valtameri välkehtii kirkkaana, ja aaltojen seasta voi löytää niin surffarin kuin pintaan nousevan delfininkin.

Rannalta ei tarvitse edetä kauas kohti sisämaata, kun vastaan tulee kaksi merkittävää rakennusta. Niissä kehitetään täysin uudenlaiseen teknologiaan perustuvaa tietokonetta, joka saattaa jo lähitulevaisuudessa mullistaa useita tärkeitä teollisuudenaloja ja toisaalta vaikuttaa merkittävästi jokaisen yksilön tietosuojan ja viestintäsalaisuuden säilymiseen.

Kysymys on kvanttietokoneista, jotka hyödyntävät toiminnassaan luonnon perustavimpia lainalaisuuksia ennennäkemättömillä tavoilla. Tulevaisuudessa ne voivat

olla parempia kuin parhaimmatkaan kuviteltavissa olevat tavalliseen fysiikkaan pohjautuvat eli klassiset supertietokoneet, sillä kvanttietokoneet eivät ole vangittuja arkipäivän fysiikan asettamiin rajoihin. Atomien maailmaan kuuluvan kvanttifysiikan avulla ne saattavat tulevaisuudessa ratkoa ongelmia, joihin ei ehkä koskaan muuten löydetäisi vastausta.

Kvanttitietokoneen rakentaminen on vaikeaa, mutta siinä onnistuminen on tavoittelemisen arvoinen haaste. Laitteilla mahdollisesti ratkaistavien ongelmien joukkoon lukeutuvat poikkeuksellisen tehokas ja halpa tapa kehittää uusia lääkkeitä, kyky luoda uusia, ilmastopäästöjä merkittävästi vähentäviä ratkaisuja energian- ja ruoantuotantoon sekä kyky optimoida tuotantoketjuja, sähkön hintaa ja esimerkiksi meri- tai lentoliikenteen reittejä. Uudet ratkaisut voivat säästää yrityksiltä ja yhteiskunnilta parhaimmillaan miljardeja euroja ja luoda merkittävää lisäarvoa. Säästöjen ja muiden kaupallisten hyötyjen lisäksi ne tuovat lisää ilmastoystävällisiä vaihtoehtoja monille aloille ja parantavat myös siten jopa miljardien ihmisten elämänlaatua.

Toisaalta kvanttietokoneen pelätään uhkaavan tiedonvälitystä ja -tallennusta mittakaavassa, jollaista ei ole koskaan ennen nähty: yksittäisten tietomurtojen sijaan kvanttietokoneilla saattaa jo lähitulevaisuudessa olla mahdollista murtaa kaikki tavanomaiset internetin ja muun viestiliikenteen tiedonsalaukseen käytetyt menetelmät. Vaarassa murtua on paitsi viestintäsalaisuus myös yksilöiden terveys- ja tilitietojen sekä esimerkiksi valtiosalaisuuksien tallentamiseen käytettyjen tietokantojen salaus.

Käynnissä on kilpajuoksu kohti tulevaa, ja pelissä on lähes kaikki yritysten ja yhteiskuntien talouskasvusta yksilöiden

tietoturvaan ja fysiikan perustavimmista lainalaisuuksista suurvaltojen väliseen kilpailuasetelmaan.

Toisaalta kvanttietokoneisiin liittyy paljon katteettomia odotuksia ja lupauksia, kuten niin usein uusiin teknologioihin. Kvanttitietokoneella on mahdollista toteuttaa ennennäkemättömiä asioita ja hyödyttää tai haitata yhteiskunnan toimintaa merkittävästi, mutta aivan kaikkeen sekään ei pysty. Kvanttitietokoneiden myötä aivan kaikki ei yhteiskunnassa ja ihmiselämässä muutu, mutta tietyissä asioissa ne saattavat muuttaa tekemisen tavat lähes täysin. Kvanttitietokoneet ovat lupaava ja merkitykseltään monitahoinen teknologia, jota meidän kaikkien on hyvä ymmärtää paremmin.

Yhteiskunnallisen merkittävyytensä ja puhtaasti teollisen kiinnostavuutensa ohella kvanttietokoneet ovat kaupallisesti kiinnostava teknologia. On poikkeuksellista, että kehityksen maailmanlaajuisessa kärjessä kulkee tällä hetkellä muutamien muiden maiden joukossa myös Suomi. Kvanttitietokoneet ja niiden ympärille kehittyneet erilaiset kvanttiteknologian osa-alueet tarjoavat Suomelle juuri nyt ennennäkemättömän herkullisen tilaisuuden, jota ei kannata jättää hyödyntämättä.

Siksi seisoin joulukuussa 2024 Santa Barbaran keskustassa ja katselin ympärilläni leviävää vaaleaa hiekkarantaa ja aurinkoisia kukkuloita sekä niiden lomassa sijaitsevaa kahta kvanttietokoneiden kannalta merkittävää rakennuskompleksia. Niissä majaansa pitävät Kalifornian yliopisto Santa Barbarassa sekä teknologiajätti Google, jonka tärkeimpiin tutkimus- ja kehityssuuntiin kvanttietokoneet ja niillä toteutettava kvanttilaskenta ovat jo useamman vuoden ajan kuuluneet. Yhdessä ja erikseen nämä organisaatiot ovat pysyneet viemään teknologian tasolle, josta ei ole enää pitkä

matka arvokkaiden ongelmien ratkaisuun soveltuvan kvantti-tietokoneen rakentamiseen.

Santa Barbarassa asuu myös tutkija, joka yhdistää kaksi organisaatiota toisiinsa: hänen nimensä on John Martinis. Juuri hän alkoi ensimmäisenä tavoitella sitä, kuinka kvantti-tietokoneet saadaan tekemään jotain, mihin parhaimmatkaan klassiset supertietokoneet eivät koskaan tule pystymään.

KUBITIT MAHDOLLISTAVAT TÄYSIN UUDENLAISEN TAVAN RATKOA ONGELMIA

Jo nuorena John Martinis tiesi haluavansa rakentaa jotain mielenkiintoista. ”Minulla on rakentajan mielenlaatu. Tieteen ymmärtäminen on aina ollut minulle hankalaa”, hän sanoo nyt, 67-vuotiaana fysiikan emeritusprofessorina kotonaan Santa Barbarassa.

Silti halu tuntee luonnon toimintaa mahdollisimman tarkasti vei nuoren Martinisin tutkimaan erilaisia kvantti-ilmiöitä – sitä, mitä tapahtuu, kun luonnonilmiöiden kuvaus viedään atomitasolle asti. Se on mittakaava, jossa tavanomaiset fysiikan lait eivät enää riitä kuvailemaan tarkasti, miten atomit ja niiden ytimiä kiertävät elektronit vuorovaikuttavat toistensa kanssa.

Sen sijaan, että atomit voisivat vaihtaa viestejä vapaasti keskenään kuin kaksi kadulla toisensa kohtaavaa kulkijaa, luonto on valinnut niiden voivan vaihtaa viestejä vain silloin, kun se tapahtuu juuri tietyn kokoisissa paketeissa kerrallaan. Muuten lähetetty viesti karkaa avaruuteen eikä koskaan saavuta toista atomia, vaikka se sijaitsisi viestin lähettäneen naapurissa. Näitä paketteja kutsutaan kvanteiksi ja niitä kuvaavaa

luonnontieteen haaraa kvanttifysiikaksi. Koska rakkaalla lapsella on monta nimeä, toisinaan kvanttifysiikkaa kutsutaan myös kvanttimekaniikaksi.

Vaikka atomien välinen viestinvaihto voi kuulostaa mielenkiintoiselta ja rakkaalta lapselta lähinnä fyysikoille, kvanttifysiikan merkitys on järisyttävä. Luonnon perustavimpien lainalaisuuksien kuvaajana se määrittää koko olemassaolomme perustan. Samalla se on lähes rajaton lähde erilaisille sovelluksille, joiden ympärille moderni yhteiskuntamme on rakennettu. Jos luet tai kuuntelet tätä elektroniselta laitteelta, hyödynnät siihen kvanttifysiikkaa.

Kvanttifysiikka on kuitenkin arkijärjen näkökulmasta hyvin erikoinen teoria. Vaikka luonto on asettanut tiukat rajat atomien ja muiden pienhiukkasten väliselle viestinvaihdolle, samalla luonnossa asioiden ei täydy olla vain niin tai näin – esimerkiksi atomia kiertävän elektronin vain yhdessä paikassa kerrallaan. Todellisuudessa elektroni voi asettua myös niin kutsuttuun superpositiotilaan, jolloin se on tietystä mielessä kaikkialla yhtä aikaa. Tuloksena atomien mikroskooppinen maailma on hyvin toisenlainen kuin arkipäivän makroskooppinen maailmamme.

”Nuorena sitä ottaa kvanttimekaniikan yhtenä fysiikan opiskelijauran kohokohdista, koska se on niin kummallinen teoria. Siinä on todella paljon kiinnostavaa matematiikkaa ja fysiikkaa taustalla”, John Martinin kuvailee. Kysymys ei kuitenkaan ole vain arkikielen teoriasta eli arvauksesta tai hienommin sanottuna hypoteesista, sillä kvanttifysiikka on kokeellisesti äärimmäisen tarkasti varmennettu teoria.

”Pidin siitä, että kvanttifysiikassa sai tehdä kokeita ja siten ymmärtää kvanttimekaniikkaa paremmin”, John sanoo. ”Kun tein väitöskirjaa 1980-luvun puolivälissä Berkeleyssä,

yritimme nähdä kvantti-ilmiöitä mikrotason sijaan makrotasolla. Kvanttitietokoneista opin siinä kohtaa kun olin valmistumassa. Richard Feynman tuli silloin Berkeleyhyn ja piti puheen kvanttitietokoneista”, John muistelee aikaa, jolloin päätti lopullisesti siirtyä aiheen pariin.

Vaikka Richard Feynman ei ole yhtä laajasti tunnettu kuin fyysikkokollegansa Albert Einstein, häntä voi kiistatta kutsua tämän ohella yhdeksi 1900-luvun merkittävimmistä tieteentekijöistä. Poikkeuksellisen originaalina ajattelijana ja useita lähes taianomaisia laskentamenetelmiä kehittäneenä tutkijana Feynman kuului paitsi teoreettisen fysiikan kirkkaimpiin tähtiin myös tieteen nobelistien joukkoon. Häntä on usein kutsuttu kvanttitietokoneen isäksi, sillä hän näki ensimmäisenä potentiaalin, joka atomitasolla piilee.

Feynman ymmärsi, että atomien tasolla vallitsevan kvanttifysiikan lait voisi erilaisten elektronisten komponenttien rakentamisen ohella valjastaa myös abstraktimmalla tasolla laskennan käyttöön. Sen sijaan, että laskentaa tehtäisiin tietokoneilla, joissa erilaiset virtapiirit ja kytkimet operoivat ykkösillä ja nollilla eli klassisilla biteillä, kvanttifysiikan lainalaisuuksia noudattavat kvanttitietokoneet operoisivat kvanttibiteillä eli kubiteilla.

Toisin kuin klassisten bittien, joiden tila on aina joko selvästi ykkönen tai nolla – käytännössä siis esimerkiksi kytkin päällä- tai pois-asennossa – kubittien tila voi kvanttifysiikan arkijärkeen nähden nyrjähtäneistä säännöistä johtuen olla molempia samaan aikaan. Yhdessä kubittien superpositio ja muut kvanttifysiikan säännöt voivat jonain päivänä mahdollistaa useiden erilaisten ongelmien ratkaisun tavalla, joka voi olla eksponentiaalisen paljon nopeampi kuin parhaimpinaan klassisten supertietokoneiden tapauksessa.

Yleensä supertietokoneiksi kutsutaan järjestelmiä, jotka koostuvat useista toisiinsa kytketyistä tietokoneista. Ne käsittelevät tietoa rinnakkain ja muihin klassisiin menetelmiin verrattuna ylivoimaisella teholla ja muistikapasiteetilla. Yhdessä supertietokoneen laskentasoimut ja ytimet kykenevät käsittelemään suunnattoman määrän tietoa valtavalla nopeudella.

Kvanttitietokone ei kuitenkaan ole vain tehokas tietokone tai niiden verkosto vaan täysin uudenlainen tapa toteuttaa laskentaa. Se on supertietokoneiden supertietokone, jolla on potentiaalia muuttua vallankumoukselliseksi teknologiaksi.

Kuinka tehokas kvanttitietokone sitten olisi? Sen sijaan, että esimerkiksi sähkön optimaalisen hintatarjouksen laskeminen veisi sähköyhtiöltä tavanomaisella supertietokoneella lähes vuorokauden, kvanttitietokoneella laskenta voidaan tulevaisuudessa suorittaa vain sekunneissa. Toimiessaan kvanttitietokone olisi niin tehokas, että nopeinkin kuviteltavissa oleva mutta edelleen vain klassisilla biteillä toimiva supertietokone olisi sen rinnalla kuin muinainen helmitaulu.

Olemassa olevien ongelmien nopeamman ratkaisun lisäksi kvanttitietokoneet saattavat tulevaisuudessa mahdollistaa myös sellaisten ongelmien ratkaisun, joihin ei tänä päivänä pääse käsiksi millään keinoin. Siinä missä monien lääkemolekyylien tarkka simulointi on käytännössä mahdotonta supertietokoneenkaan avulla, kvanttifysiikkaa hyödyntävä kvanttitietokone kykenee tehtävään parhaimmassa tapauksessa vaivatta. Tuloksena tehokkaiden lääkeaineiden tunnistamiseen ja niiden vaikutuksen testaamiseen kuluva aika voi lyhentyä vuosilla.

”Feynmanin puhe oli todella mielenkiintoinen, vaikka en oikein ymmärtänytäkään kaikkea”, John naurahtaa viitaten

aihetta kohtaan 1980-luvulla virinneeseen innostukseen. ”Hän kuitenkin teki selväksi, että kvanttietokoneen rakentaminen olisi todella jännittävää.”

Vuosikymmeniä edistys oli hidasta. Vaikka tiettyjen kvantti-ilmiöiden hyödyntäminen mahdollistaa myriadien elektronisten laitteiden ja niihin perustuvien sovellusten kehittämisen, atomitasolla on edelleen paljon ilmiöitä, joita ei joko ymmärretä tai osata kontrolloida täsmällisesti. Elektronien superpositio eli niiden tilan jakautuminen useaan samanaikaiseen vaihtoehtoon on tästä yksi esimerkki.

Edistystä hidastaa se, että kvanttifysiikan maailmassa atomit, elektronit ja muut hiukkaset kykenevät pysyttelemään niin kutsutussa kvanttillassa vain silloin, kun mitään ulkopuolisia häiriöitä ei ole. Kvanttifysiikan erikoisten mutta kokeellisesti erittäin hyvin varmennettujen lainalaisuuksien takia kvantti-ilmiöitä ei saa häiritä eikä edes katsoa, sillä havaitseminen pakottaa hiukkaset pois kvanttillastaan. Sen jälkeen niiden kvanttifysiikan lakeja hyödyntävä yhteispeli ei enää onnistu.

Mistä sitten tiedetään, että kvantti-ilmiöitä ylipäättään on olemassa? Katsomalla tai täsmällisemmin ilmaistuna mittaamalla hiukkasten kvanttilita voidaan kyllä lukea, mutta ongelma on siinä, että mittauksen jälkeen kvanttiominaisuuksia ei voi enää palauttaa. Tuloksena kvanttietokoneen kubitit ovat hyvin herkkiä ja niiden kvanttilitat alttiita sammumaan kuin hento liekki myrskyn keskellä.

Ulkoisten häiriöiden johdosta kvanttietokoneella suoritettavaan laskentaan syntyy virheitä, jotka tekevät nopeasti lyhyistäkin laskutoimituksista käyttökelvottomia. Tiedon tallennuskaan ei onnistu, sillä kvantti-informaatio voi kadota minkä tahansa ympäristön aiheuttaman värinän, värinän,

lämpöliikkeen tai ylimääräisen valonsäteen ansiosta. Siksi toimiva kvanttietokone on piinallisen vaikea rakentaa.

Tilanne ei kuitenkaan ole toivoton, sillä ympäristön tuottamia häiriöitä voidaan pyrkiä vähentämään suojakuorilla tai jäädyttämällä kubitit lähelle absoluuttista nollapistettä, jossa kaikki liike lakkaa. Sen lisäksi kvanttietokoneen virheitä voidaan pyrkiä korjaamaan erilaisten menetelmien avulla. Yksi niistä on pintakoodina tunnettu menetelmä. ”Kirjoitimme 2000-luvun lopulla artikkelin siitä, kuinka pintakoodi toimii”, John innostuu. ”Se oli vallankumouksellinen idea minulle. Silloin tajusin, miten kvanttietokone rakennetaan.”

KVANTTITIEKONEET OVAT JO TÄMÄN PÄIVÄN TEKNOLOGIAA

Vuonna 2014 hakukoneyhtiö Google julkaisi tiedemaailmaa kohahduttaneen uutisen: se oli palkannut Santa Barbaran yliopiston fysiikan professorina toimineen John Martinisin ja hänen koko tutkimusryhmänsä rakentamaan Googelle kvanttietokoneen.

Uudempien, suurempien ja entistä tehokkaammin toisiinsa kytkettyjen supertietokoneiden sekä tekoälyn kehityksen ohella Google halusi tehdä jotain, mitä yksikään toinen yritys ei ollut ennen tehnyt: näyttää kvanttietokoneiden pystyvän ratkaisemaan ongelmia nopeammin kuin mihin tehokkaimmakaan klassiset supertietokoneet missään järkevässä ajassa pystyisivät.

Samoihin aikoihin myös tietokonevalmistaja IBM alkoi rakentaa ensimmäistä omaa kvanttietokonettaan. Käynnistyi kilpajuoksu, jossa teknologiajätit ottivat mittaa

toisistaan samalla kun tutkijat ja insinöörit pohtivat, kuinka ajatus uudesta teknologiasta sovitettaisiin kvanttifysiikan maailmaan.

Vuonna 2019 Martinisin tutkimusryhmä sai työnsä valmiiksi. Suuren mediahuomion saattelemana Google ja Martinis julkistivat rakentaneensa kvanttietokoneen, joka päihitti ongelmanratkaisussa nopeimmatkin klassista laskentaa hyödyntävät supertietokoneet. Siinä missä parhaimmiltakin supertietokoneilta kestäisi valitun ongelman ratkaisemisessa vähintään 10 000 vuotta, Martinis tiimeineen kykeni ratkaisemaan ongelman tuliterällä kvanttietokoneellaan vain reilussa kolmessa minuutissa. Kubitit olivat voittaneet klassiset bitit.

”Minulle se oli huippukohta matkalla, joka alkoi virheenkorjausta käsitelleestä artikkelistamme”, John muistelee. Matka palkittiin paitsi teknologisella saavutuksella itsellään myös maailman arvostetuimpiin kuuluvan *Nature*-tiedelehden tunnustuksella. Lehti valitsi Martinisin maailman kymmenen merkittävimmän tieteentekijän joukkoon vuonna 2019.

Vaikka Googlen ja Martinisin saavuttama tulos sai paljon huomiota, myös kritiikkiä alkoi sataa nopeasti. Valittu ongelma ei ollut hyödyllinen eikä edes alan teoreetikoille kovin kiinnostava. Tehtävä oli valittu niin, että juuri kvanttietokone voisi selvittää sen ratkaisemisesta nopeasti. Kilpailijaksi ryhtynyt IBM myös kiisti koko tuloksen pian ja osoitti, että sopivamman laskentatavan valinnalla myös klassisen supertietokoneen saisi ratkaisemaan kyseisen ongelman 10 000 vuoden sijaan kahdessa päivässä. Kvanttietokoneella saavutettu ylivoimainen etu oli vähintäänkin kyseenalainen.

Martinisin ja Googlen saavuttama tulos kuitenkin osoitti, että kvanttietokone ei ole teoreettinen konsepti eikä kaukaista tulevaisuutta vaan vahvasti jo tätä päivää.

Googlen toimitusjohtaja Sundar Pichai on verrannut kvanttietokoneen kehityksen ensiaskelia Wrightin veljesten ensimmäiseen lentoon. Se, mikä alkoi kahdentoista sekunnin mittaisena kömpelönä liitona pohjoiscarolinalaisen hiekkadyynin yllä joulukuussa 1903, kasvoi vain vähän reilussa vuosikymmenessä matkustajaliikenteen ja rahtilentojen verkostoksi sekä teknologiaksi, jonka avulla valtiot pystyivät hallitsemaan maa-alueidensa ja vesistöjensä lisäksi viimein myös ilmatilaansa.

Kvanttietokoneen kanssa voi olla samoin. Vaikka kvanttietokoneilla ei ole vielä kyetty selättämään ongelmia, joiden ratkaisemisesta on käytännön hyötyä, teknologia kehittyy vauhdilla. Kvanttietua eli kvanttietokoneen kykyä voittaa nopeimmatkin klassiset supertietokoneet on sittemmin demonstroitu useassa eri ongelmassa usean eri kehittäjän laitteilla, ja todennäköisesti myös sen käytännön hyödyt saadaan käyttöön hyvin pian.

Suurimpia hyötyjä odotetaan ennen kaikkea erilaisten luonnonilmiöiden, kuten ilmastonmuutoksen, ja erilaisten molekyylien, kuten lääkeaineiden, simuloinnista sekä optimointitehtävistä, joissa lasketaan esimerkiksi kustannustehokkainta ratkaisua logistiikkaketjuille, optimaalista hintatarjousta sähköille tai tapaa pienentää osakesalkun riskejä. ”Se voi olla valtava markkina”, John sanoo.

Kvanttilaskennan on povattu olevan globaalisti yli biljoonan eli tuhannen miljardin dollarin bisnes ennen kulu-
van vuosikymmenen loppua. Jo tänään markkinan koko on hieman yli miljardi dollaria, joten aivan vähäpätöisestä

toiminnasta ei ole kysymys. Liiketoimintaa on syntynyt niin kvanttietokoneiden komponenttien, laitteiston kuin ohjelmiston ja sovellustenkin kehittämiseen. Myös Suomi on merkittävä tekijä niissä kaikissa, kuten tulemme näkemään.

John näkee erityisesti optimoinnilla arvoa mutta pitää muita osa-alueita kiinnostavampina. ”Minusta kaikkein kiinnostavimpia ovat molekyylien ja erilaisten kvanttimateriaalien simulaatiot. Kokeet ja simulaatiot ovat tieteen ja teknologian tärkein osa-alue. Minusta on jännittävää, että kvanttietokoneen avulla voi kiihdyttää niiden tekemistä. Se on vaikeaa, mutta ihmisillä on hyviä ideoita siitä, miten tehdä parempia materiaaleja, lääkekehitystä tai vaikkapa uusia akkuja”, hän pohtii.

Kvanttilaskentaa ja sen mahdollistamaa simulointia on ennustettu voitavan hyödyntää niiden lisäksi myös hiilidioksidin sitomiseen ilmakehästä, lentokoneiden ja autojen aerodynamiikan parantamisessa, uusiutuvan energian tuotantomuotojen, kuten aurinkoenergian tai fuusioydinvoiman, kehittämisessä sekä tehokkaamman ruoantuotannon mahdollistamisessa. Yhdet sovellusalueista ovat hyvin lupaavia ja mahdollisesti jo lähiaikoina saavutettavissa, toiset taas erittäin futuristisia.

”Ihmiset myös puhuvat kvanttietokoneen käytöstä tekoälyn apuna. Sen eteen tehdään paljon töitä”, John kertoo.

Yhdessä kvanttietokone ja laajaan tietokoneiden verkkoon perustuva tekoäly voivat tulevaisuudessa muodostaa symbioosin, jonka avulla molemmista saadaan irti vielä paljon enemmän kuin tänä päivänä. Tulevaisuudessa kvanttietokone voi antaa muskelit tekoälylle, joka oppii kvanttietokoneen suuren laskentatehon ja uusille ongelmanratkaisun alueille yltävien ominaisuuksien avulla yhä

uusia ja monimutkaisempia taitoja. Vastaavasti tekoäly korjaa kvanttietokoneen virheitä ja pohtii, mikä osa ongelmanratkaisusta kannattaa antaa kvanttietokoneelle ja mikä on hyödyllisempää toteuttaa klassisen supertietokoneen avulla.

Onkin mahdollista, että tulevaisuudessa kvanttietokoneet, klassiset supertietokoneet ja niiden avulla koulutettu tekoäly luovat hybridijärjestelmän, jonka avulla monet teknologian ja liiketoiminnan osa-alueet muuttuvat ennennäkemättömillä tavoilla. Kaikkiin muutokset ei vaikuta, mutta toisille uudet menetelmät tulevat olemaan elintärkeitä.

Supertietokoneita on ollut olemassa pitkään, ja laajaan käyttöön tarkoitettuja tekoälysovelluksiaikin jo muutamia vuosia. Yhdessä niistä on muodostunut numeerisen ongelmanratkaisun peruskallio. Sen sijaan kvanttietokoneet ovat vielä pinnan alla kuplivaa magmaa, jolla on potentiaalia saada laskennan peruskalliota kannattelevat mannerlaatat järjestyseen useilla toimialoilla. Vielä odotukset eivät kuitenkaan ole realisoituneet käytännön hyödyiksi.

Hyödyllisen kvanttietokoneen rakentamisen tiellä on edelleen merkittävä määrä haasteita, joista suurimmat liittyvät laskentaa suorittavien kubittien määrään ja laatuun. Niiden virhealttius on edelleen ongelma, jota ei osata kunnolla ratkaista kehitetyistä menetelmistä huolimatta.

”Meidän täytyy pystyä skaalaamaan suureen kubittimäärään ja tekemään kubiteista parempia ja luotettavampia”, John kuvailee. ”Sen tekeminen on todella vaikeaa, mutta minusta on aivan fantastinen tekninen haaste keksiä, miten tämä monimutkainen systeemi kootaan. Kukaan ei ole koskaan ennen tehnyt sitä. Se on täysin uutta.”

Kvanttietokoneiden kehitykseen liittyvät tekniset haasteet eivät ole olleet Johnille ainoita kipukohtia matkan

varrella. Reilu puoli vuotta ensimmäisen kvanttietua demonstroineen kokeen jälkeen *Wired*-lehti paljasti, että Martinis on jättänyt Googlen ja siirtynyt takaisin tutkijaksi Kalifornian yliopistoon Santa Barbarassa.

”Onnistuneen kvanttietukokeen jälkeen Googlen johto päätti vaihtaa tittelini laboratorion päätutkijaksi, mutta minulla ei ollut enää päätäntävaltaa projektiin”, hän kertoo nyt. ”Se oli vähän kuin olisin saanut arvonalennuksen ylennyksen myötä. Siihen oli perusteita, mutta sanotaan näin, että ryhmässäni oli opiskelijoita ja valmistuneita tohtoreita ja he tietenkin halusivat tehdä omia juttujaan erillään ohjaajastaan. Tällaisia ihmisiä oli ehkä 10–15, ja sitten oli yksi minä. Johtamistapani on vähän kuin Elon Muskilla, eikä se ole yhteensopiva sen kanssa, miten Googlella tehdään asioita”, John kertoo suoraan.

Hän ei kuitenkaan vaikuta katkeralta Googlen päätöksestä eikä harmittele lähtöään. ”He halusivat vaihtaa projektin suuntaa ja tehdä asioita omalla tavallaan. Roikuin mukana yhdeksän kuukautta ja opin niiden aikana, että minulla oli negatiivista auktoriteettia muuhun ryhmään. Se oli stressaavaa, ja minusta tuntui, että edistys ei ollut tarpeeksi nopeaa. Rakastan vaimoani enkä halunnut kuolla sydänkohtaukseen, joten kun koronapandemia tuli, päätin lähteä”, hän kertoo.

Vaikka John on sittemmin eläköitynyt professorintehtävästään Santa Barbaran yliopistosta, hän ei ole jäänyt aloilleen. Monien muiden alan asiantuntijoiden tavoin hän on vastikään perustanut oman kasvuyrityksen. Sen tavoitteena on rakentaa toimiva, hyödylliseen ongelmanratkaisuun kykenevä kvanttietokone ennen kuin muut pystyvät samaan. Yrityksen nimi on Qolab.

”Tällä alalla liiketoiminta ja teknologia kohtavaat. Minusta on ollut todella hauska miettiä, mitä meidän täytyy Qolabissa tehdä. Me olemme kasvuyritys, ja silloin varsinkin täytyy olla todella luova ajattelussaan. On ollut fantastinen älyllinen haaste miettiä, kuinka saada tämä kaikki toimimaan ja kuinka selittää se ymmärrettävästi muille. Se on todella hauskaa.”

Oman yrityksen perustaminen on saanut Johnin ajattelemaan myös yhteisöä ympärillään. ”Olin Googlella, jossa asiat eivät toimineet, mutta Yhdysvalloissa on edelleen ekosysteemi, jossa voin keksiä asioita ja uusia suunnitelmia, saada rahoitusta ja vaikuttaa asioihin. Kilpailu ja hankaluudet vahvistavat meitä ja aikaansaavat uusia ideoita. Se ei ole aina miellyttävää, mutta loppujen lopuksi se toimii todella hyvin”, hän pohtii.

Yhdysvallat ei ole kuitenkaan ainoa paikka, jossa rakennetaan kvanttietokoneita. Sen lisäksi mukaan kilpailuun ovat hypänneet muun muassa Kiina, Japani, Australia ja useimmat suuret EU-maat. Vaikka kvanttietokoneilla on vallankumouksellisen laskentakykynsä ansiosta suurta kaupallista potentiaalia, valtiolliset intressit kehittää kvanttiteknologiaa kohdistuvat myös kansalliseen turvallisuuteen.

KVANTTITIE TOKONE LUO MYÖS UHKIA

Kvanttietokoneella ja laajemmin kvanttiteknologioilla on potentiaalia mullistaa lääkekehitys, logistiikka, materiaalien kehitys ja simulointi, tekoäly, kaupankäynti sekä rahaliikenne monella alueella mutta niiden lisäksi myös viestintä, yksityisyyden suoja sekä valtioiden kyky suojella kansalaisiaan ja hallintonsa salaisuuksia.

”YHDESSÄ TEKOÄLYN KANSSA
KVANTTITIE TOKONEET SAATTAVAT
OLLA UUDEN TEKNOLOGISEN
VALLANKUMOUKSEN ALKU. NE HAASTAVAT
MAHDOLLISEN RAJOJA JA KOETTELEVAT,
MIHIN ASTI TIETEEN JA SITÄ SOVELTAVAN
TEKNOLOGIAN VOI VIEDÄ.”

Kvanttikilpajuoksu – Supertietokoneiden vallankumous kertoo uudenlaisen kvanttitietokoneen parissa ponnistelevien tutkijoiden, yritysten ja suurvaltojen kilpajuoksusta kohti maailmaa, jossa nykyiset supertietokoneet vertautuvat helmitauluihin, viestintäsalaisuus on vaarassa rikkoutua ikiajoiksi ja lääkkeitä kehitetään laboratorion sijaan tietokoneilla.

Ajankohtainen tietokirja paljastaa, millaista taistelua kullisseissa käydään uuden teknologian ja globaalin etulyöntiaseman saavuttamiseksi. Ääneen pääsevät niin teknologian kehittäjät, hyödyntäjät kuin sen vaikutuksilta suojautuvat tahotkin.



www.tammi.fi

53.12

ISBN 978-952-04-7049-4