

Olli Hatakka & Jarmo Talvivaara

Kvanttilaskentapalvelun mahdollisia sovelluksia Pohjois-Karjalassa



Julkaisusarja Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu C: Raportteja, 113

Tekijät Olli Hatakka, Karelia-ammattikorkeakoulu
Jarmo Talvivaara, Karelia-ammattikorkeakoulu

Kansikuva Jarno Artika

© Tekijät ja Karelia-ammattikorkeakoulu



Tämä julkaisu on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiMuutoksia 2.0 Kansainvälinen -lisenssillä.

ISBN 978-952-275-394-6

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2023

KvanttiKarelia -Kvanttilaskentaan perustuvat tulevaisuuden liiketoiminta- ja palvelumahdollisuudet -lump sum selvityshanke 2020-2022

Quantum Karelia"-Quantum Computing Services - future technology for business and service applications -lump sum 2020-2022



Euroopan unioni
Euroopan sosiaalirahasto

Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020

Sisällys

Esipuhe.....	4
Foreword.....	6
1 Johdanto	8
1 Mitä kvanttilaskennan yleistymisen edellyttää?	9
1.1 Kvanttilaskennan kokonaiskehitys: Kvanttilaskennan aktiivinen tutkimus ja kehitys ovat edelleen avainasemassa	9
1.2 Kvanttilaskentaan liittyviä käynnissä olevia aktiivisia tutkimussuuntia	9
1.3 Kansallinen ja kansainvälinen kehittämisrahoitus ja muu resurssointi.....	10
1.4 Kvanttilaskentaan liittyvä aktiivinen budjetointi nousee tärkeään rooliin	11
1.5 Ranskan panostus esimerkkinä muille maille	11
1.6 Yhdysvallat on investoinut voimakkaasti kvanttilaskentaan.....	12
1.7 Ja muuallakin investoidaan	13
2 Kvanttiekosysteemit ja tiekarttamallit.....	16
2.1 Tanskan malli	16
2.2 Eurooppalainen ekosysteemimalli (Quantum Flagship - Quantum Technology Ecosystem).....	17
2.2.1 Koulutus	18
2.2.2 Teollisuus	19
2.2.3 Kansainvälinen toiminta ja yhteistyö.....	19
2.2.4 Kvanttaviestintäinfrastrukturi	19
2.2.5 Kvanttilaskennan infrastrukturi.....	19
2.3 Suomalainen kvanttiagenda (VTT ja InstituteQ).....	20
3 Kvanttilaskennan "Quantum Stack"	22
3.1 Yksinkertaistettu "Quantum Stack"-malli auki purettuna.....	22
3.2 Mitä elementtejä kvanttipinosta kannattaa toteuttaa paikallisesti	23
4 Kvanttiekosysteemi Pohjois-Karjalassa	26
4.1 Suomalainen kvanttiekosysteemi ja sen mahdollisuudet Pohjois-Karjalassa	26
4.1.1 Kysymyksiä Pohjois-Karjalan kehittymisestä kvanttilaskennan ja -tietotekniikan avulla.....	29

4.1.2 Kysymyksiä kvanttilaskennan mahdollisuuksista pk-yrityksen liiketoiminnassa	30
4.2 Kommenttipuheenvuoro: Cristina Andersson	31
5 Lopuksi.....	35
6 Kiitosten aika	36
Liitteet	39
Liite 1. KvanttiKarelia-webinaarin "Kvantilla tulevaisuuteen" 10.2.2021 ohjelma	
Liite 2. KvanttiKarelia-webinaarin " Kvanttilaskentapalveluita, sovellutuksia ja ongelmanratkaisua eri toimialoille" 18.5.2021 ohjelma	
Liite 3. KvanttiKarelia-seminaarin " The Quantum Era is here –The Quantum Karelia Closing Seminar" 14.12.2022 ohjelma	

Esipuhe

Karelia-ammattikorkeakoulun koordinoima KvanttiKarelia-hanke on vastannut haasteeseen, jonka ammattikorkeakoulut kohtaavat pyrkiessään kehittämään ICT-opetusta kvanttilaskennan alueella. Tällä hetkellä ei ole olemassa yleistajuista, riittävän kattavaa tai soveltuvaa materiaalia, joka auttaisi laajaa yleisöä alan kehityksen seuraamisessa ja sovellusalueiden ymmärtämisessä. Lisäksi tarvittavat kehittämisverkostot ovat puuttuneet.

Haasteen ratkaisemiseksi KvanttiKarelia-hanke on perehtynyt erityisesti pilvipalveluina tarjottaviin kvanttilaskentapalveluihin ja niiden mahdollistamiin sovelluksiin. Hankkeen tavoitteena oli myös verkostoitua kansallisten ja kansainvälisten alan asiantuntijoiden, tutkijoiden, alan yritystoiminnan ja muiden kvanttiteknologiaverkostojen kanssa sekä luoda kuvaa suomalaisesta kvanttilaskentatoimialasta ja ekosysteemin edellytyksistä ja mahdollisuuksista myös maakuntien näkökulmasta.

KvanttiKarelia-hanke on myös pyrkinyt lisäämään tietämystä kvanttilaskennasta ja sen sovelluksista. Hankkeen aikana on järjestetty useita webinaareja ja online-tilaisuuksia, joissa on käsitelty kvanttilaskentaa ja sen mahdollisuuksia. Tarkoituksena on pohtia muun muassa ammattikorkeakoulujen mahdollisuuksia tukea koulutusalojen ja eri toimialojen yritysten perustietämyksen, mahdollisuuksien ja osaamisen hankintaa ja kehittämistä kvanttilaskennan ja -teknologian osalta.

KvanttiKarelia-hanke on luonut hyvän pohjan kvanttilaskentapalveluiden mahdollisimman hyvin tapahtuvan ennakoinnin tietämyksen hankkimiseksi ja sen pohjalta tapahtuvan koulutuksen suunnittelemiseksi ja alueen toimijoiden osaamisen vahvistamiseksi. Tavoitteena on vastata tulevaisuuden teknologioiden, erityisesti kvanttilaskennan, korkea-asteen soveltavien osaamistarpeiden haasteisiin.

Kvanttilaskentaa pidetään ratkaisevan tärkeänä teknologiana kaikkialla maailmassa. Tästä osoituksena suunnaton määrä tutkimus- ja kehittämispanostuksia, joita on käynnissä niin Aasiassa, Euroopassa, Amerikassa kuin muullakin, tavoitteena tämän ilmiön mahdollisuuksien ja potentiaalın selvittäminen. Tämä paradigmaattisesti täysin erilainen, klassisesta tietotekniikasta poikkeava, laskentamenetelmä, voi muuttaa radikaalisti kykyämme torjua ilmastonmuutosta, köyhyyttä ja sairauksia. Se voi tehdä tavanomaisesta salaustekniikasta vanhentunutta. Toisaalta se mahdollistaa lähes purkamattoman kvanttilaskentaan perustuvan kryptografian. Lisäksi se tarjoaa uusia taloudellisia mahdollisuuksia jo nyt ja kiihtyvällä tahdilla monilla aloilla, kuten digitaalitaloudessa, energiateknologiassa, monimutkaisten ilmiöiden ymmärtämisessä, tekoälyssä, koneoppimisessa sekä teollisuudessa ja muilla tehokkaasta laskennallisesta optimoinnista ja mallintamisesta hyötyvillä aloilla.

Kehittyviin teknologioihin liittyvien epävarmuustekijöiden ja nopeasti muuttuvan ja hajanaisen kokonaiskuvan hallitseminen on kuitenkin haasteellista. Erilaisten organisaatioiden, yritysten ja julkisen sektorin päättäjien on vaikea ylläpitää riittävää tietoisuutta ja ymmärrystä ja oikea-aikaista päätöksentekokykyä siitä, milloin ja miten reagoida.

Tämän KvanttiKarelia-hankkeen kolmannen raportin tavoitteena on tarjota mahdollisimman kattava yleiskatsaus teemaan **”Kvanttilaskentapalvelun mahdollisia sovelluksia Pohjois-Karjalassa”**. Se pyrkii tarjoamaan perustietoa lisäarvoa tuottavasta kvanttilaskennasta esimerkkien avulla kerrottuna eri toimialueilta, sekä luomaan helposti ymmärrettävän kokonaiskuvan muun muassa yritysjohtajille ja muille päättäjille, sekä kaikille muille asiasta kiinnostuneille. Tällä raportilla pyrimme vahvistamaan tietoon ja tosiasioihin perustuvaa ymmärrystä tästä ilmiöstä ja siten antamaan eväitä kvanttilaskennan merkityksen ja mahdollisuuksien ymmärtämiseen, erityisesti maakuntien, kuten Pohjois-Karjalan näkökulmasta.

Kvanttilaskenta saattaa olla avain parempaan huomiseen, mutta tässä raportissa pyritään välttämään sekä siihen liittyvää liiallista innostusta että toisaalta mahdollisten vaikutusten vähättelyä.

KvanttiKarelia-hankkeen tavoitteena on ollut myös vähentää kvanttilaskentaan liittyvää yleistä tietämättömyyttä sekä lisätä kvanttilukutaitoa kaikkien aihealueesta kiinnostuneiden henkilöiden, yritysten, päättäjien, vaikuttajien sekä kaikkien aiheesta kiinnostuneiden keskuudessa.

Toivomme että tämä kolmas raportti antaa perustietoa kvanttilaskennasta, sen soveltamisen taustalla olevista teknologioista, niiden monipuolisuudesta ja tarjoamista mahdollisuuksista sekä luo ilmiöstä, sen vaikutuksista, esimerkkien avulla, eri toimialueille, mahdollisuuksista nyt ja tulevaisuudessa ja etenkin rohkaisee tutustumaan tähän ilmiömaailmaan avoimin mielin ja uteliaisuudella. Emme pysty ennustamaan milloin kvanttilaskenta muuttuu valtavirtojen teknologiaksi, mutta siihen varautuminen kannattaa ja antaa eväitä uusille ideoille ja ajatuksille siitä, miten ”minä liityn kvanttilaskentaan ja kvanttilaskenta liittyy meihin”.

Joensuussa 27.4.2023

Olli Hatakka ja Jarmo Talvivaara

KvanttiKarelia -Kvanttilaskentaan perustuvat tulevaisuuden liiketoiminta- ja palvelumahdollisuudet -hanke, Karelia-ammattikorkeakoulu

Foreword

The QuantumKarelia project, coordinated by Karelia UAS, has responded to a challenge where universities of applied sciences face a massive challenge to develop ICT education in the field of quantum computing. Currently, there is no comprehensive or suitable material to help follow developments in the field and understand the application areas. Moreover, the necessary development networks are lacking.

In order to address this challenge, the QuantumKarelia project has focused in particular on cloud computing services and the applications they enable. The project also aimed at networking with national and international experts, researchers, industry and other quantum technology networks, and at creating a picture of the Finnish quantum computing industry and the ecosystem conditions and opportunities, also from a regional perspective.

The QuantumKarelia project has also sought to increase knowledge about quantum computing and its applications. During the project, several webinars and online events have been organised on quantum computing and its potential. The aim is to explore, among other things, how universities of applied sciences can support the acquisition and development of basic knowledge, capabilities and competences in quantum computing and technology in educational sectors and enterprises in different industries.

The QuantumKarelia project has provided a good basis for acquiring the best possible knowledge of the anticipation of quantum computing services and for designing training based on this knowledge and strengthening the skills of actors in the region. The aim is to meet the challenges of the applied skills needs of higher education in future technologies, in particular quantum computing.

Quantum computing is considered a crucial technology worldwide. This is evidenced by the huge amount of research and development efforts underway in Asia, Europe, America and beyond to explore the possibilities and potential of this phenomenon. This paradigmatically completely different method of computing, which is distinct from classical computing, could radically change our ability to combat climate change, poverty and disease. At the same time, however, it can render conventional cryptography obsolete, but on the other hand, it can enable near-uncompressible quantum computing-based cryptography, and offer new economic opportunities, already, and accelerating, for the global digital economy, energy technology, understanding complex phenomena, artificial intelligence, machine learning, and many industrial and other sectors that benefit in particular from efficient computational optimisation and modelling.

However, managing the uncertainties associated with emerging technologies and the rapidly changing and fragmented landscape is a challenge. It is difficult for different organizations, companies and public sector decision-makers to maintain sufficient awareness and understanding and timely decision-making ability on when and how to react.

The aim of this third report is to provide a concise mapping of Quantum Computing as a Service in North Karelia and similar rural regions or settings. It aims to provide basic information on value-added quantum computing, illustrated with examples from different domains, and to provide an easy-to-understand overview for business leaders and other decision-makers, as well as anyone else interested. With this report, we aim to strengthen the knowledge and fact-based understanding of this phenomenon, and thus to provide a basis for understanding the importance and potential of quantum computing.

Quantum computing may hold the key to a better tomorrow, but this report seeks to avoid both over-enthusiasm and underplaying its potential impact.

The QuantumKarelia project has also aimed to reduce the general lack of knowledge about quantum computing and to increase quantum literacy among all interested individuals, businesses, policy makers and influencers.

We hope this fairly short third report will provide basic information about quantum computing and will create an open-minded and curious approach to the phenomenon, its implications, with examples, the possibilities for different domains, now and in the future, and encourage people to explore this phenomenal world. We cannot predict when quantum computing will become a mainstream technology, but being prepared for it is worthwhile and will stimulate new ideas and thoughts on how "I relate to quantum computing and quantum computing relates to us".

Joensuu 27 April 2023

Olli Hatakka and Jarmo Talvivaara

Quantum Karelia - Quantum Computing Services – future technology for business and service applications project, Karelia UAS

1 Johdanto

Tässä raportissa oli tarkoitus esitellä hankkeen aikana syntyneitä tai mahdollisesti syntyneissä olevia kvanttilaskentapalveluiden käyttökohteita ja käyttömahdollisuuksia. Tätä raporttia kirjoitettaessa, Pohjois-Karjalaan ei ole vielä syntynyt kvanttilaskentaa hyödyntäviä yrityksiä tai muita organisaatioita. Tiettyjen toimialojen ja tahojen kanssa on käyty alustavaa keskustelua mahdollisuuksista ottaa kvanttilaskentapalveluja käyttöön osana erilaisia optimointi- ja logistiikkaongelmia, joiden ratkaisemiseen liittyvä laskennallinen tehokkuus voisi parantua kvanttilaskennan avulla.

Tässä raportissa käsittelemme niitä yleisiä edellytyksiä, jotka vaikuttavat kvanttilaskennan käyttöönoton yleistymiseen niin kansainvälisesti, kansallisesti, kuin alueellisesti. Pohdimme erityisesti Pohjois-Karjalan ja vastaavien alueiden mahdollisuuksia toimia osana tällaista kvanttilaskentaekosysteemiä, sekä kuvaamme suomalaisen kvanttiekosysteemin kehityksen tilaa ja vaikutuksia alueellisesta, maakunnallisesta näkökulmasta. Samalla teemme valistuneita ennakoiteja Pohjois-Karjalan kvanttilaskennan tulevaisuuden kehitysaskelista "roadmap"-tyyppisesti. Tämän tiekarttamallin avulla voidaan suunnitella ja toteuttaa kvanttilaskentaan liittyvää yleistiedon lisäämistä, tarvittavien koulutus- ja osaamisen siirtoon liittyvien resurssointien toteutusedellytyksiä, hahmottaa alueellisen liiketoimintaympäristön laskentaparadigmoihin liittyviä pullonkauloja, sekä systemaattisesti edesauttaa alueellisesti vahvan kvanttilaskentayhteisön syntymistä ja edelleen kehittymistä.

- **Ensimmäisessä luvussa** tarkastellaan yleisesti kvanttilaskennan edellytysten "kriittisiä" tekijöitä ja vertaillaan erilaisia vaihtoehtoja kvanttilaskennan alueellisten hyötyjen syntymiseen Pohjois-Karjalassa. Tässä osassa arvioidaan kvanttilaskenta-alan kokonaiskehittymistä ja maailmanlaajuisista kehittämisasihioista ja budjetointia.
- **Toisessa luvussa** esitellään joitakin kvanttilaskenta-alan kansainvälisiä ja kansallisia kvanttiekosysteemiäihioita ja -hankkeita, sekä esitellään muutamia "roadmap"-malleja kvanttilaskennan teknologisen kehityksen arviontiin, kuten myös muiden asiaan vaikuttavien tekijöiden tilaa ja kehittämistarpeita eri sidosryhmissä.
- **Kolmannessa luvussa** tarkastellaan kvanttilaskentaympäristöä niin sanotun "Quantum Full Stack" -mallin avulla ja verrataan sitä alueellisiin mahdollisuuksiin.
- **Neljännessä luvussa** tehdään ennakoiteja Pohjois-Karjalan kvanttiekosysteemin syntymisen edellytyksistä, sekä arvioidaan kvanttilaskennan mahdollisuuksia alueen elinvoimaisuuden osatekijänä.
- **Viidennessä luvussa** on kiitosten aika.

1 Mitä kvanttilaskennan yleistyminen edellyttää?

Ensimmäisessä osassa tarkastellaan yleisesti kvanttilaskennan edellytysten kriittisiä tekijöitä ja vertaillaan erilaisia vaihtoehtoja kvanttilaskennan alueellisten hyötyjen syntymiseen Pohjois-Karjalassa. Tässä osassa arvioidaan kvanttilaskenta-alan kokonaiskehittymistä ja maailmanlaajuisista kehittämisrahoitusta ja budjetointia.

1.1 Kvanttilaskennan kokonaiskehitys:

Kvanttilaskennan aktiivinen tutkimus ja kehitys ovat edelleen avainasemassa

Kvanttilaskennan tutkimus ja kehitys ovat edelleen aktiivisia, ja alalla on havaittavissa nopeaa edistymistä. Kvanttitietokoneet ovat edelleen kehittyviä laitteita, ja niiden käyttömahdollisuudet ovat laajenemassa. Tutkimus ja kehitystyö ovat avainasemassa riippumatta siitä missä kvanttilaskentaa hyödynnetään. Siksi on hyvä tietää mitä erilaisia kokonaisuuksia ja tutkimushankkeita kvanttilaskentaan liittyy. Suuri osa tästä tutkimuksesta tapahtuu muualla, mutta on tärkeää olla selvillä kehitystä ja yleistymistä vahvistavista tutkimustuloksista. Tulosten seuraaminen edesauttaa ymmärtämään missä vaiheessa tähän teknologiaan on syytä ryhtyä perehtymään tarkemmin, että emme jää kehityksestä ja pääsemme mukaan teknologian kypsyessä ja yleistyessä.

1.2 Kvanttilaskentaan liittyviä käynnissä olevia aktiivisia tutkimussuuntia

- Kaikkien nykyisten kvanttilaskentateknologioiden jatkokehittäminen niiden rajoitusten ymmärtämiseksi ja kiertämiseksi (lähinnä olemassa olevat ja tunnetut ongelmat).
- Eri kvanttilaskentatekniikoiden skaalautuvuus (Kubitit, QV, CLOPS-arvo).
- Virheenkorjauskoodauksen suorituskyvyn optimointiin liittyvä tutkimus sekä nostamalla virhekynnystä, että vähentämällä tarvittavien "aitojen" NISQ-kubittien "määrää", loogisia virhevapaampia kubitteja ohjelmallisesti tuotettaessa ("Surface code" (implementointiin liittyvä variointi, joka johtuu eri tekniikoiden erilaisista mahdollisuuksista käyttää kvanttiportteja) ja "Magic state" (kubittien erityiskäsittelyä tai "virittämistä" virhesietoisemmiksi). Samalla pyritään nostamaan myös kubittien, että loogisten porttien fideliteettiä. Tätä kirjoitettaessa se on

tyypillisesti, Transmon-kubiteilla, luokkaa 99,9% (noin yksi virhe tuhannesta) ja jos loogisten (portti)operaatioiden määrä kasvaa, kokonaisvirhemäärä kasvaa helposti liian suureksi.

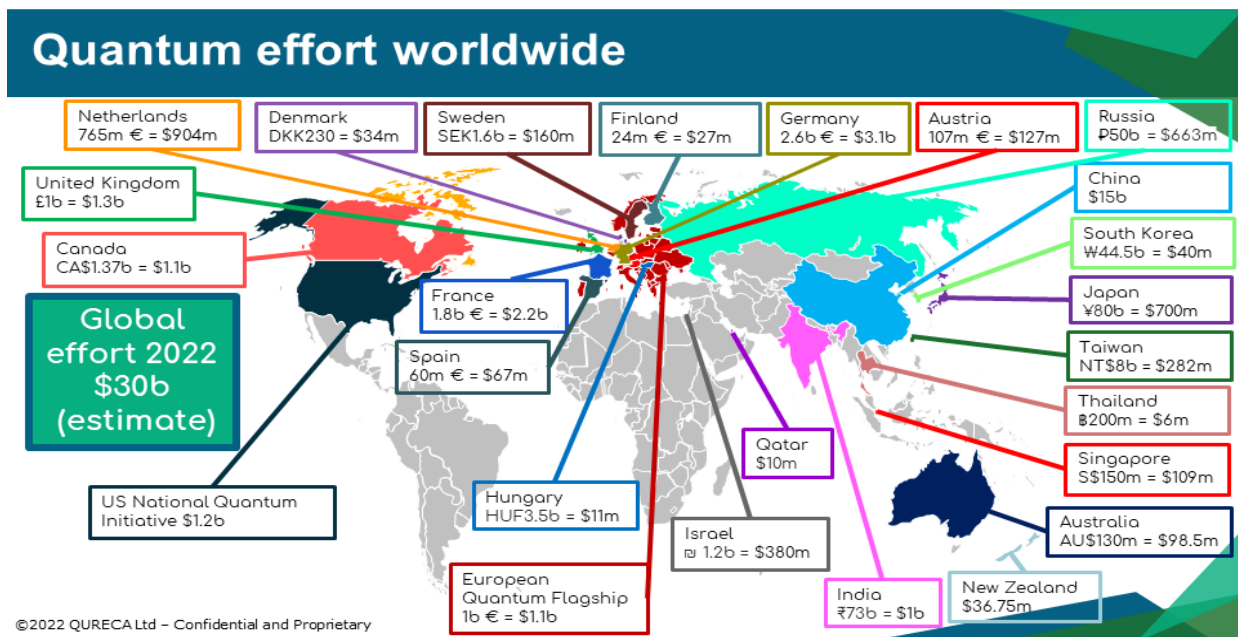
- Etsitään ja tutkitaan uusia tapoja suorittaa kvanttilaskentaa erityisesti itsekorjautuvien ohjelmistokoodien avulla (sellaisina kuin ne esiintyvät topologisissa järjestelmissä).
- Myös jatkuva uusien kvanttialgoritmien kehittäminen ja sellaisten ongelmien etsiminen, joissa saadaan erityistä hyötyä kvanttitietokoneiden käyttämisestä (ja voidaan saavuttaa mahdollinen kvanttietu) on tärkeää.
- Kvanttikompleksisuusteorian kehittäminen ja näiden kehitystulosten soveltaminen kvanttilaskentaan ja sen kehittämiseen.
- Kvanttitietokoneiden ja -järjestelmien välisten rajapintojen kehittäminen ja entistä tarkoituksenmukaisempi kontrollilogiikan toteuttaminen.
- Kvanttitietoliikennettä ja -dataa suojaavan kryptografian kehittäminen, tavoitteena saavuttaa turvallisuus, myös aiemmin salatun tallennetun tiedon, mahdollista tulevaa (kvanttitietokoneiden suorittamaa) purku-uhkaa vastaan.

1.3 Kansallinen ja kansainvälinen kehittämisrahoitus ja muu resurssointi

Useat maat ovat ottaneet kvanttilaskennan kehittämisen painopisteeksi tulevaisuuden teknologian ja kilpailukykyyn turvaamiseksi. Tämä näkyy myös budjetoinnissa, jossa varoja osoitetaan kvanttilaskennan tutkimukseen ja kehittämiseen sekä siihen liittyvään infrastruktuuriin ja sen kehittämiseen.

Kvanttitutkimukseen ja -innovaatioihin liittyvät maailmanlaajuiset hankkeet lisääntyvät jatkuvasti, ja investointien kokonaismäärä nousikin viime vuonna (2022) lähes 30 miljardiin dollariin. Kasvu jatkuu ja kokonaisuudessaan maailmanlaajuisen kvanttitekniologiamarkkinoiden ennustetaan nousevan 42,4 miljardiin dollariin vuoteen 2027 mennessä.

Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty vuoden 2022 kvanttitutkimukseen ja -kehitykseen tehdyt investoinnit maailmanlaajuisesti (Qureca 2022).



Kuva 1. Yhteenveto tärkeimmistä ohjelmista ja hankkeista eri puolilla maailmaa. Maa- ja aluekohtaisesti tarkemmat tiedot löytyvät [Qureca, Quantum resources & careers](https://www.ureca.com) -sivustolta.

1.4 Kvanttilaskentaan liittyvä aktiivinen budjetointi nousee tärkeään rooliin

Useat maat ovat ottaneet kvanttilaskennan kehittämisen painopisteeksi tulevaisuuden teknologisen kilpailukyvyyn turvaamiseksi. Tämä näkyy myös budjetoinnissa, jossa varoja osoitetaan kvanttilaskennan tutkimukseen ja kehittämiseen sekä siihen liittyvään infrastruktuuriin. Investoinnit tapahtuvat lähinnä kansallisella tasolla pitkäjänteisesti, mutta varsinaista tutkimus- ja kehittämistyötä voidaan hajauttaa usean yliopiston tai muun tutkimuslaitoksen yhteiseksi hankkeeksi. Pohjois-Karjalalla on merkittävää kansainvälistä ja kansallista osaamista mm. fotonikan ja tarkkuustekniikan aloilla, jotka molemmat liittyvät keskeisesti myös kvanttilaskentateknologioiden kehittämiseen ja tutkimukseen.

1.5 Ranskan panostus esimerkkinä muille maille

Monet eurooppalaiset valtiot ovat käynnistäneet tai ovat käynnistämässä omia kansallisia kvanttiohjelmia, yksi merkittävimmistä varhaisista liikkeelle lähtijöistä on ollut Ranska. Presidentti Emmanuel Macron virallisti Ranskan kvanttiteknologiastrategian tammikuussa 2020, esittämällä 1,8 miljardin euron ja viiden vuoden investointisuunnitelman kvanttiteknologioiden kansalliseen tutkimukseen ja kehittämiseen.

Ranskan suunnitelmassa tarkoituksena on osoittaa lähes 800 miljoonaa euroa tietokoneisiin, antureihin, kvanttikryptografiaan ja kvantti viestintään. Tutkimus on kuitenkin

suunnitelman suurin rahoituskohde, jonka lisäksi vuosittain rahoitetaan vielä yli 150 nuoren tutkijan koulutusta alalle. Tällä investointisuunnitelmalla ja satsauksella kvanttialan tutkimukseen ja kehittämiseen, Ranska nousi, Yhdysvaltojen ja Kiinan jälkeen, kolmanneksi.

Lähde: Business France. <https://www.businessfrance.fr/en/>

1.6 Yhdysvallat on investoinut voimakkaasti kvanttilaskentaan

Yhdysvallat on edelleen johtava toimija kvanttiteknologian alalla, ja sekä liittovaltio, että yksityinen sektori investoivat merkittävästi tutkimukseen ja kehittämiseen. Presidentti Donald Trumpin allekirjoittama **“National Quantum Initiative Act of 2018”** on ollut merkittävä hallituksen aloite kvanttiteknologian, ja erityisesti kvanttilaskennan, edistämiseksi Yhdysvalloissa.

Yhdysvaltain keskushallinto on myös perustanut useita kansallisia, kvanttilaskennan tutkimukseen keskittyviä laboratorioita. Myös yksityinen sektori ja teollisuus rahoittavat huippuyliopistojen, kuten MIT, Caltech, Harvard ja Stanford, tutkimusyksikköjen toimintaa kvanttiteknologian alalla. Tämän lisäksi Yhdysvalloissa pääkonttoriaan pitää moni johtavan kvanttilaskentayritys, kuten IBM, Google, Microsoft, ja AWS sekä joukko itsenäisiä kvanttialan startup-yrityksiä, kuten IonQ ja Quantum Computing Inc. Näistä IonQ oli ensimmäinen New Yorkin pörssiin listautunut, puhtaasti kvanttilaskentaan perustuva yritys. Yritysten lisäksi Yhdysvalloista löytyy useita alalla merkittävästi vaikuttavia tutkijoita, kuten John Martinis ja John Preskill, jotka aktiivisesti ylläpitävät kvanttilaskentaan liittyvää keskustelua yllä. Yhdysvallat pysynee lähitulevaisuudessa kvanttiteknologian edelläkävijä, sillä valtio investoi merkittävästi ja yksityinen ekosysteemi kukoistaa.

Biden-Harrisin hallinto on sitoutunut nopeuttamaan Yhdysvaltojen johtoaseman saavuttamista tieto- ja viestintäteknikan alalla, ja se on painottanut koko hallituksen ja koko yhteiskunnan kattavaa lähestymistapaa samalla kun se on lieventänyt mahdollisia riskejä. Lisäksi Yhdysvallat on tehnyt huomattavia ja pitkäkestoisia investointeja QIS-tutkimukseen ja -teknologiaan, sillä QIS-tutkimukseen ja -tekniikkaan osoitetut talousarviomenot ovat kasvaneet 449 miljoonasta dollarista vuonna 2019 918 miljoonaan dollariin vuonna 2022 ja vuodelle 2023 on budjetoitu 844 miljoonan dollarin määräraha Kvanttilaskennan ja teknologian alalle.

Lähteet:

Qureca 2022. <https://qureca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-2022/>

Dargan, J. 2023. A Brief Overview of Quantum Computing in the US. <https://thequantuminsider.com/2023/04/13/a-brief-overview-of-quantum-computing-in-the-us/>

1.7 Ja muuallakin investoidaan

Eurooppa on edelleen akateemisen kvanttitutkimuksen suurin rahoittaja, vaikka Einsteinin, Schrödingerin ja muiden vallankumoukselliset ideat julkaistiin yli sata vuotta sitten. Vuonna 2018 Euroopan komissio myönsi kymmenen vuoden aikana miljardi euroa rahoitusta Euroopan lippulaiva (FlagShip)-aloitteen käynnistämiseen, jonka päätavoitteena on "vahvistaa ja laajentaa Euroopan tieteellistä johtoasemaa ja huippuosastamista tällä tutkimusalalla ja käynnistää eurooppalainen kvanttiteknologiateollisuus". Yli 3500 akateemista ja teollisuuden edustajaa on hyväksynyt virallisen FlagShip-asiakirjan, jossa kehoitetaan EU:ta investoimaan kvanttiteknologiaan tulevaisuuden avainteknologiana.

Kiinan uskotaan olevan yksi johtavista maista kvantti-informaatiotieteessä, koska se investoi jo varhain kvanttitutkimukseen ja -kehitykseen 1990-luvun lopulla. Kahden viime vuosikymmenen aikana kvantti-informaatiotiede on saanut Kiinassa merkittävää huomiota ja tunnustuksia, ja alalle on myönnetty kansallinen luonnontieteellinen palkinto vuosina 2013 ja 2015. Vuoteen 2030 mennessä Kiina pyrkii laajentamaan kansallista kvantti- viestintäinfrastruktuuriaan, kehittämään universaalien kvanttitietokoneiden prototyyppiä ja rakentamaan käytännön kvanttisimulaattorin. On arvioitu, että Kiinan hallitus on investoinut noin 10 miljardia dollaria kvanttiteknologiaan, mutta tätä lukua ei ole vahvistettu virallisesti.

Venäläiset tutkijat ovat kehittäneet kvanttiteknologian perusteita vuosikymmeniä sekä valtion että teollisuuden tuella. Vuonna 2019 Venäjän hallitus ilmoitti investoivansa seuraavien viiden vuoden aikana noin 50 miljardia ruplaa (663 miljoonaa dollaria) perustamaan ja soveltamaan tutkimukseen maan johtavissa kvanttilaboratorioissa osana Kremlin 258 miljardin ruplan investointeja digitaaliteknologian tutkimukseen ja kehittämiseen. Ohjelmassa pyritään yhdistämään meneillään oleva tutkimustoiminta neljällä alalla: kvanttilaskenta ja -simulointi, kvantti- viestintä, kvanttimetrologia ja -anturointi sekä mahdollistavat teknologiat. Ohjelmaan odotetaan osallistuvan yli 120 tutkimusalan- tuntijaa johtavista tutkimuslaitoksista.

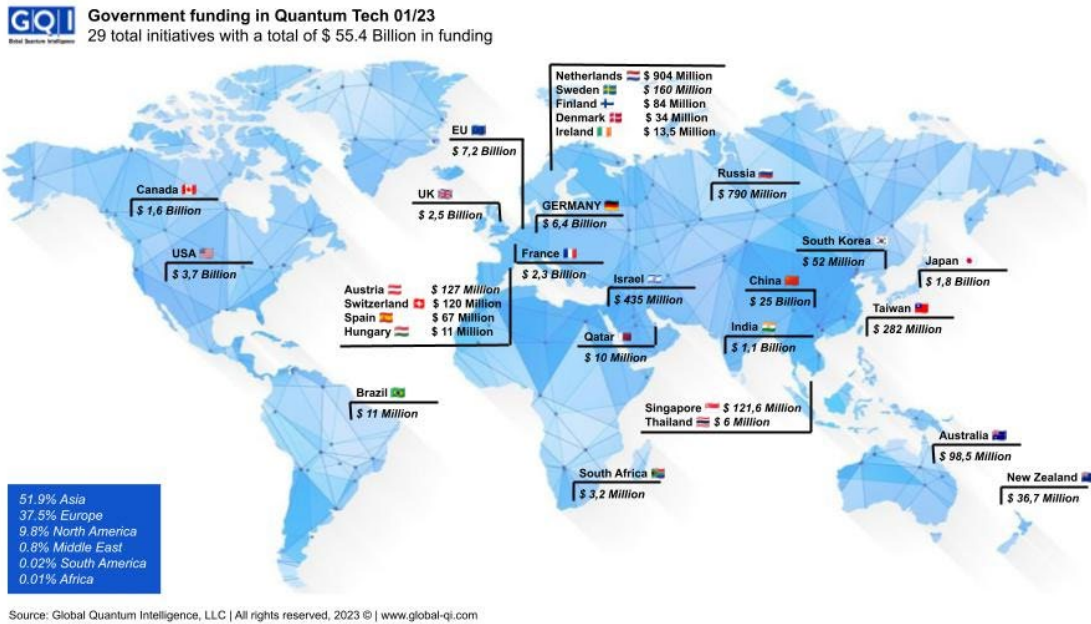
Luodakseen laajan tietämisperustan kvanttiteknologian alalla **Ruotsissa** sijaitseva Wallenberg Center for Quantum Technology (WACQT) on yhteistyössä Ruotsin tutkimusneuvoston kanssa käynnistänyt vuosikymmenen mittaisen tutkimusohjelman, johon on investoitu 1,6 miljardia Ruotsin kruunua (160 miljoonaa dollaria) kansallisen kvanttitutkimuskeskuksen perustamiseksi. Ohjelmassa keskitytään neljään

ydinalueeseen: kvanttilaskenta, kvanttisensorit, kvanttisimulaattorit ja kvanttiviestintä. Sitä hallinnoidaan ja se sijaitsee pääasiassa Chalmersin yliopistossa, ja muut osallistuvat yliopistot ovat KTH Royal Institute of Technology ja Lundin yliopisto.

Tanskan innovaatorahasto investoi 80 miljoonaa Tanskan kruunua (12 miljoonaa dollaria) kvantti-innovaatiokeskukseen (Quantum Innovation Centre, Qubiz), jossa on mukana kolme yliopistoa: Kööpenhaminan yliopiston Niels Bohr -instituutti, Tanskan teknillinen yliopisto (DTU) ja Århusin yliopisto. Ne rahoittivat myös FIRE-Q:tä 17,8 miljoonalla Tanskan kruunulla (2,6 miljoonaa dollaria) ja Crypt Q:ta 22,5 miljoonalla Tanskan kruunulla (3,3 miljoonaa dollaria) turvallisen kvanttiviestintäteknologian kehittämiseen. Tanskan ekosysteemi- ja roadmap-hankkeita koordinoi Novo Nordisk Foundation, joka on yksi maailman suurimmista säätiöpohjaisista tieteellisen tutkimuksen rahoittajista.

Suomessa hallitus on myöntänyt VTT:lle ja IQM:lle 20,7 miljoonan euron rahoituksen maan ensimmäisen kvanttietokoneen rakentamiseen. Myös Business Finland, hallituksen innovaatorahoitusorganisaatio, on kerännyt 3,3 miljoonaa euroa.

Suomi on siis hyvin mukana eurooppalaisessa kvanttiyhteisössä. **Pohjois-Karjalan kaltaisten alueiden** mahdollisuudet hyödyntää suomalaista huippuosaamista ja huipputehokkaita Kajaanissa sijaitsevan supertietokoneen (tätä kirjoitettaessa maailman 3. tehokkain) (LUMI) ja kvanttiresurssien (Helmi- ja konsortion kautta tulevaisuudessa myös muita tehokkaita kvanttietokoneita) hybridiyhdistelmää. Tämä mahdollisuus on syytä pitää mielessä, kun pohditaan alueen erityisosaamisiin liittyviä laskentaintensiivisiä "pullonkauloja". EuroHPC-konsortio, joka hallinnoi LUMI-supertietokonetta, järjestää säännöllisesti koulutusta myös tämän hybridiyhdistelmän akateemiseen ja yrityskäyttöön. Alustavan tiedon mukaan Pk-yrityksille on varattu de minimissääntöjen alaista tukea laskennan käyttöönottoon ja laskentakustannuksiin.



Kuva 2. Valtioiden panostukset kvanttiteknologiaan. (Lähde: Global Quantum Intelligence, LLC)

Tuorein hieman erilainen laskentatapa, jota GQI (Global Quantum Intelligence), Kvantti-tiedon kerääjä ja analysoija on tässä varsin tuoreessa arvioissa päätynyt noin 55,4 miljardin maailmanlaajuiseen, lähinnä valtiollisten hallitusten rahoitukseen, joka perustuu tietoihin käynnistyneisiin tai käynnissä oleviin kvanttikehitystoimiin. Suomen osuus tuosta kokonaisuudesta on kuvan 2 perusteella 84 miljoonaa dollaria. Asukaslukuun suhteutettuna se tekee Suomesta yhden kvanttiteknologiaan eniten panostavista valtiosta maailmassa.

Lähteet:

Danish Quantum Community. 2022. Danish Quantum Agenda.

LUMI. Introduction to Quantum Computing & Hybrid HPC-QC Systems <https://lumi-supercomputer.eu/events/introduction-to-quantum-computing-hybrid-hpc-qc-systems/>

Press, G. 2023. New Funding For Quantum Computing Accelerates Worldwide. Forbes. www.forbes.com/sites/gilpress/2023/01/31/new-funding-for-quantum-computing-accelerates-worldwide/?sh=6a7c9e24b35b

Qureca 2022. <https://qureca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-2022/>

2 Kvanttiekosysteemit ja tiekarttamallit

Tässä osassa esitellään joitakin kvanttilaskenta-alan kansainvälisiä ja kansallisia kvanttiekosysteemiäihioita ja -hankkeita, sekä muutamia "roadmap"-malleja kvanttilaskennan teknologisen kehityksen arviontiin. Tässä osassa käsitellään myös muiden asiaan vaikuttavien tekijöiden tilaa ja kehittämistarpeita eri sidosryhmissä. Lopuksi tarkastellaan Pohjois-Karjalan ja muun itäisen Suomen roolia ja mahdollisuuksia toimia osana kehitteillä olevaa kansallista kvanttiekosysteemiä.

2.1 Tanskan malli

Tanska on lähtenyt liikkeelle pohtimalla eri osa-alueiden yhteistyötä ja mahdollisuuksia rakentaa kvanttiosaamiseen kolmevaiheinen klusterimalli:

Ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus edistää korkeakoulujen ja teollisuuden välistä yhteistyötä perustamalla kvanttiklusteri. Klusteri toimii kansallisena yhteys- ja koordinaationipisteenä, ja se pyrkii aktiivisesti vahvistamaan yhteistyötä tanskalaisten yritysten, teollisuuden ja korkeakoulujen välillä, sekä rakentaa kvanttiekosysteemiä ja lisää tietoisuutta kvanttitutkimuksesta Tanskassa.

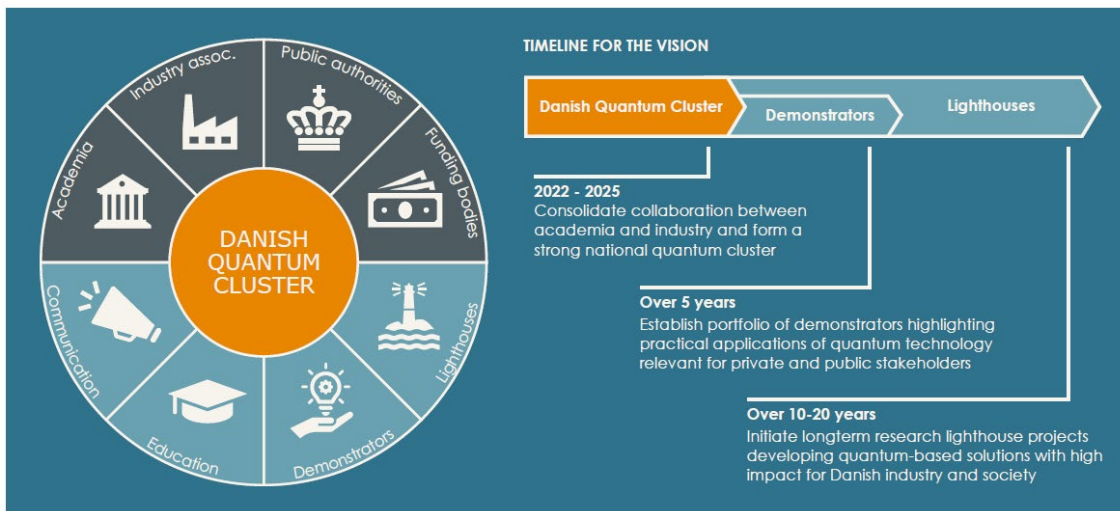
Klusteri ylläpitää myös suhteita vastaaviin kansainvälisiin organisaatioihin, esimerkiksi alankomaalaiseen Quantum Delta NL -verkostoon ja Euroopan kvanttiteollisuuskonsortioon (Quantum Industry Consortium). Klusterin pitäisi olla 3-4 vuoden kuluttua niin vahva, että se voi saada myös julkisia kansallisia ja EU-tukia sekä hankerahoitusta.

Toisessa vaiheena luodaan niin sanottujen demonstraatiohankkeiden salkku, johon valitaan Tanskan yksityisen ja julkisen sektorin organisaatioiden kannalta merkittäviä kvanttiteknologioiden käytännön sovellusesimerkkejä. Kvanttiklusteri auttaa tunnistamaan, sovittamaan yhteen sekä loppukäyttäjät, yritykset että tanskalaiset tutkimusryhmät ja saada nämä muodostamaan konsortioita, jotka suunnittelevat ja muotoilevat demonstraatiohankkeet, joille nämä konsortiot sitten hakevat erikseen rahoitusta. Tanskassa julkisten ja yksityisten säätiöiden merkitystä painotetaan rahoituksen suunnittelussa ja varsinaisessa hankerahoituksessa.

Demonstraatiohankkeita on tarkoitus toteuttaa neljällä tärkeimmällä kvanttiteknologian alalla: näitä ovat kvanttisensorit, kvanttiaviestintä, kvanttisimulointi ja kvanttilaskenta. Demonstraatiohankkeiden avulla on tarkoitus lisätä tietoisuutta kvanttiteknologiasta, sen mahdollisuuksista Tanskassa ja nopeuttaa kvanttiteknologian ja kvanttipohjaisten innovaatioiden käyttöönottoa konsortioiden yrityksissä. Lopputavoitteena on aikaansaada riittävä tietoisuus ja tietotaito Tanskassa koko yhteiskunnan tasolla, jotta

voidaan varmistaa, että Tanska voi ottaa käyttöön ja hyödyntää täysimääräisesti kehittyvän kvanttiteknologian tarjoamia taloudellisia ja yhteiskunnallisia mahdollisuuksia.

Kolmannessa vaiheessa käynnistetään kourallinen kunnianhimoisia, pitkän aikavälin, monia eri toimijoita käsittäviä "majakkatutkimushankkeita", joiden tavoitteena on kehittää kvanttiteknologiaan perustuvia ratkaisuja, joilla on pitkäkestoista merkitystä Tanskan tulevaisuudelle, teollisuudelle ja yhteiskunnalle 10–20 vuoden kuluttua. Tällaisia "majakkahankkeita" voisivat olla esimerkiksi optinen kvanttietokone, jonka algoritmiikka ja ohjelmistot on dedikoitu biotieteiden sovelluksiin, tai kvanttsimulaattori, jonka avulla voidaan kehittää energiatehokas tapa hiilidioksidin talteenottoon.



Kuva 3. Tanskan kolmivaiheinen malli kvanttiekosysteemin luomiseksi. (Lähde: Danish Quantum Community 2022)

Lähde:

Danish Quantum Community. 2022. Danish Quantum Agenda.

2.2 Eurooppalainen ekosysteemimalli (Quantum Flagship – Quantum Technology Ecosystem)

Quantum Technologies Flagship on pitkän aikavälin tutkimus- ja innovointialoite, jonka tavoitteena on asettaa Eurooppa toisen kvanttivallankumouksen kärkeen.



Kuva 3. Quantum Flagship (Lähde: Euroopan komissio)

Euroopan kvanttiteknologian ekosysteemi ulottuu paljon laajemmalle kuin vain T&K-hankkeisiin ja itse kvanttikentän "lippulaivaan". Kvanttiteknologian Flagship toimii kuitenkin keskeisenä keskuksena erilaisille aloitteille, joilla varmistetaan tehokas koordinaatio ja toimien yhdenmukaisuus. Tähän lukeutuu koulutus – kouluasteelta aina ammatilliseen (uudelleen)koulutukseen asti – sekä kukoistava eurooppalainen kvanttiteknologiateollisuus. Ekosysteemiin liittyy myös aloitteita, jotka liittyvät kvanttilaskennan ja -viestinnän infrastruktuurin käyttöönottoon. Kansainvälinen yhteistyö kuuluu tärkeänä osana Euroopan kvanttistrategiaan.

2.2.1 Koulutus

Toinen kvanttivallankumous Euroopassa tapahtuu kvanttilippulaivan (Flagship) johdolla. Onnistuminen edellyttää sekä työvoimaa, jolla on tarvittavat taidot kehittyvän kvanttiteollisuuden vauhdittamiseksi, että yhteiskuntaa, joka on tietoinen kvantti-ilmiöistä ja joka suhtautuu myönteisesti niiden mahdollisiin syvällisiin vaikutuksiin. Koulutus on keskeinen tekijä näiden molempien tavoitteiden saavuttamisessa.

Koulutus on vahvasti yhteisöpohjainen aloite, jonka järjestää QTedu Coordination and Support Activity.

Eurooppalainen kvanttiteknologian osaamispuite on kartta kvanttiteknologian osaamisesta ja taidoista, jonka avulla oppimistulokset ja teollisuuden vaatimukset tehdään läpinäkyviksi.

QTedu-työryhmät ja yhteisölliset pilottihankkeet koostuvat viidestä työryhmästä ja 11 kokeellisesta yleiseurooppalaisesta koulutusohjelmasta, jotka laajentavat kvanttiteknologian opetuksen rajoja. Jokaisella hankkeella on omat painopistealueensa ja tavoitteensa.

2.2.2 Teollisuus

Euroopan kvanttiteknologian kaupallista kvanttiteollisuussektoria edustaa pääasiassa European Quantum Industry Consortium (QuIC), joka on voittoa tavoittelematon toimialajärjestö, johon kuuluu yli 170 jäsentä. QuIC on myös lippulaivan koordinointi- ja tukitoimen kumppani.

Lisätietoja: [Flagship's Coordination and Support Action](#)

2.2.3 Kansainvälinen toiminta ja yhteistyö

Kvanttitutkimuksen lippulaivahankkeen koordinointi- ja tukitoimen QUCATSin yhteydessä, kansainvälisen yhteistyön tavoitteena on tehdä, taloudellista tiedustelua ja tiedonkeruuta, joka tukee EU:n kvanttialan kansainvälistä yhteistyötä koskevaa strategiaa, sekä tukea Euroopan komissiota tekemään asiaan liittyvää aloitteita kansainvälisen kvanttialan vuoropuhelun kehittämiseksi.

Lisätietoja: [Quantum Flagship – International Cooperation](#)

2.2.4 Kvanttaviestintäinfrastrukturi

Euroopan kvanttaviestintäinfrastruktuuria (EuroQCI) koskevan aloitteen tavoitteena on rakentaa turvallinen kvanttaviestintäinfrastrukturi, joka kattaa koko EU:n, myös sen merentakaiset alueet. Se käynnistettiin vuonna 2019 EuroQCI-julistuksella, jonka kaikki 27 EU:n jäsenvaltiota ovat nyt allekirjoittaneet. Aloite perustuu innovatiivisiin kvanttaviestintäteknologioihin, joita kehitetään kvanttialan lippulaivahankkeiden "ramppivaiheessa".

Lisätietoja: [OPENQKD project](#)

2.2.5 Kvanttilaskennan infrastrukturi

Kvantti- ja hybriditietokoneita Eurooppaan – EuroQCS

Osana Euroopan suurteholaskentayhteisyritystä (EuroHPC-yhteisyritys) kuusi Euroopan unionin laitosta valittiin vuonna 2022 käyttämään ensimmäisiä EuroHPC-kvanttitietokoneita:

- Tšekki, hanke LUMI-Q
- Ranska, hanke EuroQCS-France
- Saksa, hanke Euro-Q-Exa
- Italia, hanke EuroQCS-Italia
- Puola, hanke EuroQCS-Puola
- Espanja, hanke EuroQCS-Espanja

Tämän lisäksi on edelleen käynnissä oleva, joulukuussa 2021 aloitettu HPCQS-hanke, jonka tavoitteena on integroida kaksi kvanttisimulaattoria – joista kumpikin ohjaa yli 100 kubittia – Ranskassa ja Saksassa oleviin supertietokoneisiin.

Lisätietoja: [HPCQS project](#)

Lähteet:

Quantum Flagship. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fi/policies/quantum-technologies-flagship>

Quantum Technology Ecosystem. <https://qt.eu/ecosystem/>

2.3 Suomalainen kvanttiagenda (VTT ja InstituteQ)

Syksyn 2022 aikana Suomessa saatiin tiiviisti työskennelleen laaja-alaisen työryhmän linjaukset koottua yksiin kansiin. Työn tuloksena syntyi **Finnish Quantum Agenda** julkaistiin 24.2.2023 kansallisen kvantti-instituutin – InstituteQ – toimesta.

Agenda on koonnut yhteen ne keskeisimmät toimenpiteet, jotka yhteisö näkee tarpeelliseksi alan kehittämisen sekä Suomen teknologisen kilpailukyvyyn turvaamiseksi tulevaisuudessa:

- Koordinoitu tutkimus- ja innovaatio-ohjelmakokonaisuus,
- Pitkäaikainen tutkimus- ja innovaatioinfrastruktuurien kehittämisohjelma ja tiekartta,
- Kohdennettu Suomen kvanttiteknologiaekosysteemin kehittäminen,
- Alan koulutuksen lisääminen ja koulutustarjonnan kehittäminen,
- Kansallisen ja kansainvälisen yhteistyön tukeminen.

Agenda suosittaa myös kansallisen kvanttistrategian laatimista sekä implementointia samalla, kun ehdotettuja toimenpiteitä käynnistetään.

Agendan koostamistyötä ovat koordinoineet:

- Professori Jukka Pekola, Aalto-yliopisto, johtaja, InstituteQ
- Vanhempi akateeminen koordinaattori Minna Günes, Aalto-yliopisto, InstituteQ

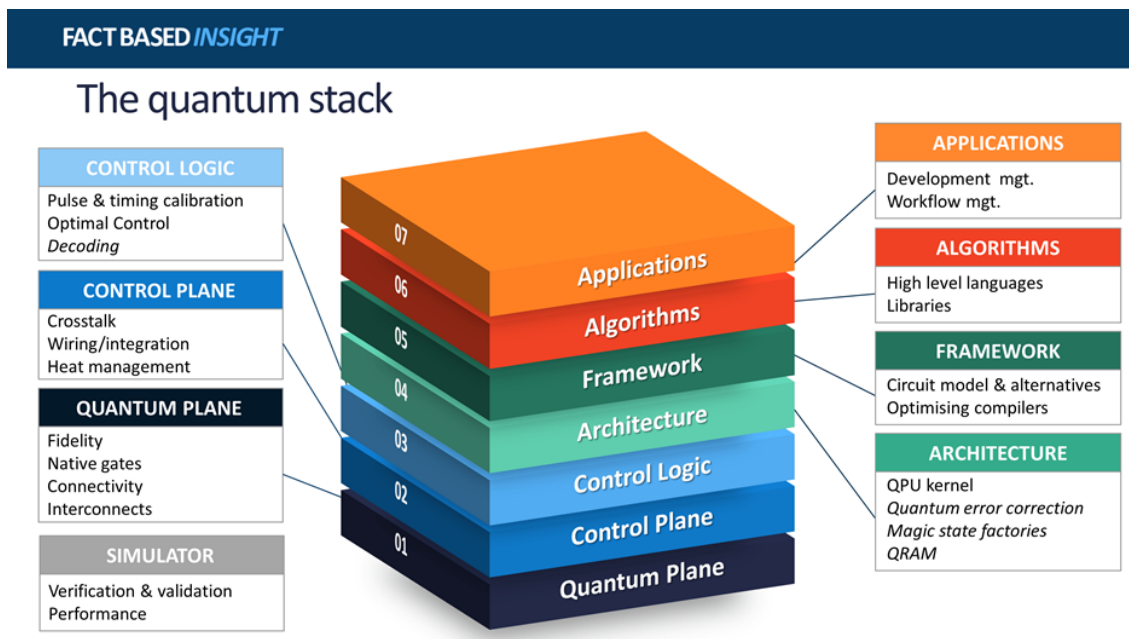
Lisätietoja: [InstituteQ](#)

Kun ryhdymme suunnittelemaan tarkemmin Pohjois-Karjalan roolia ja mahdollisuuksia toimia tämän suomalaisen agendan mukaisesti osana koko Suomen kvanttiekosysteemiä, on hyvä toteuttaa suunnitteluprosessi niin, että näistä tässä osiossa lyhyesti kuvatuista malleista "siivilöidään" alueen kannalta keskeisimmät asiakokonaisuudet. Tätä hahmottelutyötä helpottamaan on tämän raportin lukuun neljä koottu joitakin lähtökohtia, edellytyksiä ja kysymyksiä joiden pohjalta voidaan hahmotella Pohjois-Karjalan paikallista kvanttiekosysteemi, joka toimisi kansallisen ja EU:n kvanttiekosysteemien kanssa koherenttina osa-joukkona.

3 Kvanttilaskennan “Quantum Stack”

Tässä luvussa tarkastellaan kvanttilaskentaympäristöä niin sanotun “Quantum Stack” -mallin avulla ja verrataan sitä alueellisiin mahdollisuuksiin.

3.1 Yksinkertaistettu “Quantum Stack”-malli auki purettuna



Kuva 4. Quantum Stack -malli. (Lähde: Fact Based Insign 2022)

Kerros 7: Sovellukset - Loppukäyttöön suunnatut liiketoimintakohtaiset sovellukset. Nämä ovat suurelta osin vielä keskeneräisiä ja kehittymässä. Monet toimijat ovat painottaneet varhaista tutkimusta ja käyttäjäyhteisön osallistumista konseptointiin ja koekäyttösovellusten kehittämiseen.

Kerros 6: Algoritmit - Erilaiset ainutlaatuiset kvanttilähestymistavat erityyppisten ongelmaluokkien ratkaisemiseksi. Tarkempaa tietoa aiheeseen liittyen linkistä: [Quantum Algorithms Outlook 2022](#).

Kerros 5: Puitteet - Useimmat varhaiset toimijat korostavat kvanttipiirimalliin perustuvaa kvanttilaskentaa (lähestymistavasta on olemassa useita merkittäviä muunnelmia). Eri kvanttikonevalmistajat ja muut toimijat tarjoavat omia tapojaan kuvata ja toteuttaa tarvittavia kvanttipiirejä.

Kerros 4: Arkkitehtuuri – Suoritusaikainen ympäristö, joka koordinoi laskentatoimintoja. Tämä sisältää kvanttiportit, mittaukset ja tiukasti kytketyn klassisen logiikan. Kehitys johtanee lopulta ytimiin, jotka on optimoitu tehokkaaseen kvanttivirheenkorjaukseen sekä koordinoivat ja ohjaava erityisresurssien, kuten vaikkapa "Magic state"-kubittilojen ja QRAM:n, käyttöä.

Kerros 3: Ohjaus – Koostuu matalan tason operaatioista, joita ohjataan analogisilla pulsseilla (tyypillisesti mikroaalto- tai laserpohjaisilla). Koska pulssien muoto ja ajoitus ovat ratkaisevia, tarvitaan kehittyneitä protokollia porttitoimintojen optimoimiseksi ja "ristikkäishäirinnän" (Crosstalk) poistamiseksi.

Kerros 2: Kvantti – Varsinainen kubittilaitteisto. Kvanttikerrokseen keskittyvää keskustelua käsitellään sivulla [Quantum Hardware Outlook 2022](#).

Kerros 1: Simulaattori – Simulaattorit ovat ohjelmistopinon keskeinen lisäelementti, tämä ei pelkästään johdu nykyisten kvanttiprosessoreiden rajallisesta suorituskyvystä, vaan myös algoritmien jatkuvasta tehostamistarpeesta, kehittämisestä sekä virheenkorjauksen tukemisesta.

Huom! Kuva 4 esittää yhdistelmää monista eri lähestymistavoista, yhden yksinkertaisen näkemyksen sijasta. Fact Based Insight on pyrkinyt havainnollistamaan "quantum stack"-mallia ja sen osia tällä yksinkertaistetulla kaaviolla. Koko artikkeli on luettavissa alla olevista lähteistä.

Lähteet:

Fact Based Insight. 2022. Overview of Quantum Software. https://i0.wp.com/www.factbasedinsight.com/wp-content/uploads/2022/01/Overview-of-Quantum-Software-2022-v1_0-1.png?ssl=1

Fact Based Insight. 2022. Quantum Hardware Platforms – a brief overview. <https://www.factbasedinsight.com/quantum-hardware-platforms-a-brief-overview/>

3.2 Mitä elementtejä kvanttipinosta kannattaa toteuttaa paikallisesti

Miten tämä malli voisi auttaa suunniteltaessa esimerkiksi pohjoiskarjalaista maakuntamallia oman alueellisen kvanttistrategian osa-alueiden kehittämisen niin, että tuloksena olisi toimiva sovellus tuosta "stack"-mallista. Tarkastelu pitää aloittaa siitä mitä

toimivia tai helposti räätälöityviä "kerroksia" on jo olemassa tai mitä olisi mahdollista tuottaa alueelle. Kaikkia osia ei kvanttipinoon kannatta tuottaa alueellisesti itse, vaan ne on järkevää ulkoistaa laajemman ekosysteemin kautta toteutettavaksi.

Pohdimme seuraavaksi, miten ja mihin osioihin tässä pinossa pohjoiskarjalainen kvantti-strategia voisi perustua. Käytännössä tässä (alku)vaiheessa olisi tärkeää keskittyä kerroksiin 6 ja 7. Joensuussa sekä Itä-Suomen yliopisto, että Karelia-ammattikorkeakoulu voisivat jo nyt aloittaa kvanttiohjelmointiin ja muuhun algoritmisuunnitteluun perustuvan koulutuksen. Kansallisesti, kuin myös kansainvälisesti osaajapula uhkaa kvanttitekniikan käynnistymistä. Koulutus on avainasemassa, ja tämä viesti on tullut selväksi niin kansainvälisten kuin kansallistenkin asiantuntijoiden kanssa käydyssä keskustelussa.

Bob Sorensen (Hyperion Research) totesi käydyssä sähköpostikeskustelussa, että myös Yhdysvallat kärsii osaajapulasta ja toisaalta myös "maanläheisestä" teollisuudelle ja muille asiakkaille suunnatusta perustietämyksen ja osaamisen levittämisestä. Tämä koulutukseen liittyvä keskustelu nousi esiin useaan otteeseen, kun haastattelimme kansallisia asiantuntijoita KvanttiKarelia-hankkeen raporttien ajankohtaisten sisältöjen varmistamiseksi.

Aalto-yliopiston ja VTT:n professori Mikko Möttönen arvioi, että jo nykyisten kvanttitekniikkaan liittyvien tehtävien hoitamiseen tarvittaisiin noin 100 - 120 ammattilaista vuosittain, eli koulutusta tarvitaan lisää erilaisiin tehtäviin. Aalto yliopisto tuottaa noin 35 kvanttifysikkoo vuosittain, mutta muutakin koulutusta olisi tarpeen järjestää ja hän näkikin juuri ammattikorkeakoulujen roolin koulutuksessa tärkeäksi.

Itä-Suomen yliopiston professori Antti Poso oli samoilla linjoilla ja piti myös tärkeänä kouluttaa kvanttiosaajia "puhtaalta pöydältä", koska ongelmanratkaisulogiikka eroaa bittipohjaisessa kvanttialgoritmiikassa merkittävästi klassisesta bittipohjaisesta. Hän vertasi tilannetta luonnollisen kielen oppimiseen eli äidinkieli opitaan täydellisesti, mutta seuraavan kielen oppiminen ei yleensä onnistu täydellisesti. Myös tutkimuspäällikkö Pekka Pursula, VTT:ltä viittasi, hieman karrikoiden, samaan haasteeseen, toteamalla, että kaksi kvanttialan asiantuntijaa on helppo tunnistaa, koska he keskustelevat koulutuksesta.

Koulutus kahdella tasolla tulee siis olemaan yksi lähiaikojen haasteista. Tarvitsemme systemaattista koulutusta sekä kvanttiasiantuntemuksen välittämiseksi ja osaamisen siirtämiseksi kvanttilaskennan ja -tietotekniikan tarpeisiin. Toisaalta on koulutettava mahdollisia asiakkaita ymmärtämään kvanttilaskennan mahdollisuuksia oman substanssiosaamisen näkökulmasta. Tämä ongelma on tuttu koko globaalissa kvanttiyhteisössä ja kilpailu osaamisesta tulee oletettavasti kiihtymään. Tästä syystä meidän pitäisi ryhtyä varautumaan asiaan systemaattisesti ja mahdollisimman pian. Itäisen

Suomen näkökulmasta meidän olisi hyvä tehdä aktiivista yhteistyötä tämän haasteen taklaamiseksi.

Kvanttipinomallissa matalammille tasoille siirryttäessä painopiste lienee edelleen Espoossa, mutta LUMI-supertietokoneen sijainti Kajaanissa voi resonoida myös kvanttipinon alemmilla tasoilla tapahtuvaan työskentelyyn, uudenlaisten innovaatioiden testaamiseen ja edelleen kehittämiseen. Jo nyt VTT:n Helmi-kvanttitietokoneen ja LUMI-tietokoneen yhteys tarjoaa mahdollisuuksia testata ja kehittää tätä hybridimallia. Oletettavasti LUMI-tietokoneeseen integroidaan tulevaisuudessa myös muita kvanttitietokoneita (muualta Euroopasta), joten riittävän osaamisen hankkiminen, siirtäminen ja ylläpitäminen voisivat olla luonteva osa Itäisen Suomen roolia suomalaisessa kvanttiekosysteemissä.

Kolmas mahdollinen alue "kvanttipinomallissa" voisi olla tarkkuustyöstöosaamisen hyödyntäminen kvanttikonevalmistustekniikoiden saralla. Karelia-ammattikorkeakoulun tarkkuustyöstölaboratorio on saavuttanut merkittävää mainetta tuottamalla CERNin tutkimuslaitteistoon äärimmäistä työstötarkkuutta vaativia komponentteja hiukkastutkimuksen tarpeisiin. Lisäksi Joensuussa Itä-Suomen yliopiston ja Joensuun tiedepuiston yhteydessä toimiva ftoniikan huippuyksikkö, jossa yhtenä osa-alueena voisi olla myös ftoniikkaan perustuva kvanttilaskenta, johon varsinkin kiinalainen kvanttitutkimus ja kehitystyö on panostanut. Myös kanadalainen kvanttitietokonekehittäjä Xanadu on ollut viime aikoina esillä tämän kvanttitietoneteknologian kehittäjänä.

Kvanttipinomalli tarjoaa monia mahdollisuuksia lähteä kehittämään tehokkaampaa ja entistä virhevapaampaa kvanttilaskentaa ja siihen liittyvää tekniikkaa ja infraa. On myös mahdollista keskittää voimavaroja ylimpään kerrokseen, ja hankkia kokemusta, ja kehittää osaamista hankkimalla laskentapalvelut QCaaS-tyyppisesti. Käytännössä mallissa keskitytään ongelmiin ja niiden mahdollisiin kvanttilaskentaratkaisuihin, ja kvanttipinon alempia kerroksia ei pääsääntöisesti tarvitse itse hienosäätää, vaan se tapahtuu muualla ja on osa palvelukonseptia. Tämä olisi ehkä se todennäköisin vaihtoehto, jossa käytännössä mahdolliset asiakkaat ja loppukäyttäjät saataisiin nopeimmin ymmärtämään mahdolliset edut suhteessa omaan substanssiin.

4 Kvanttiekosysteemi Pohjois-Karjalassa

Tässä neljännessä luvussa pohditaan kvanttiekosysteemiä Pohjois-Karjalan näkökulmasta ja mietitään kvanttiteknologian tarjoamia mahdollisuuksia kvanttiekosysteemi-kehitykselle, sekä arvioidaan kvanttilaskennan mahdollisuuksia alueen elinvoimaisuuden osatekijänä.

4.1 Suomalainen kvanttiekosysteemi ja sen mahdollisuudet Pohjois-Karjalassa

Suomessa on kasvava kvanttiteknologian ekosysteemi, joka koostuu useista yrityksistä, tutkimuslaitoksista ja yliopistoista. Suomen vahvuuksia kvanttiteknologian alalla ovat erityisesti vahva osaaminen tietojenkäsittelytieteessä, optiikassa ja materiaalitieteessä, jotka ovat luonteeltaan laskentaintensiivisiä ja sopivat kvanttiteknologian hyödyntämiseen. Suomalainen kvanttiekosysteemi tarvitsee tiettyjä reunaehtoja toteutuakseen. Tällaisia ovat:

- Stabiili ja toimiva yhteiskunta
- Avoin tiede- ja teknologiapolitiikka (kv-ulottuvuus)
- Korkean teknologian osaaminen ja osaamisen kehittäminen
- Vahva perus- ja soveltava tutkimusosaaminen ja -toiminta
- Monipuolinen koulutus
- Hyvä infrastruktuuri (fyysinen, tekninen ja sosiaalinen)
- Toimiva ja monipuolinen liike-elämä
- Innovaatiomyönteinen verkostoituva toimintaympäristö
- Rahoitusjärjestelmä tutkimukseen ja kehittämiseen
- Alueellisten vahvuuksien ja ominaisuuksien hyödyntäminen

Kvanttiekosysteemin toiminnan kannalta on tärkeää, että se saavuttaa riittävän monipuolisen ja laajan kattavuuden. Suomalainen kvanttiekosysteemi edellyttää koko Suomen aktivointia. Siksi on tärkeää pohtia, miksi Pohjois-Karjalassa toimii useita yrityksiä, akateemisia toimijoita ja muita organisaatioita, jotka ovat kiinnostuneita kvanttiteknologian hyödyntämisestä toiminnassaan. Esimerkiksi Joensuussa ja Kuopiossa sijaitseva Itä-Suomen yliopisto, joka tekee jo ansiokasta työtä kvanttiteknologian tutkimuksen ja kehittämisen, liittyen ftoniikkaan, mikro- ja nanokalvorakenteisiin. Mikro- ja nanofotoniikan valmistuksen ja elektronisädelitografian asiantuntija, yliopistotutkija Petri Karvinen on ollut aktiivisesti mukana KvanttiKarelia-hankkeen "roundtable"-tapaamisissa ja

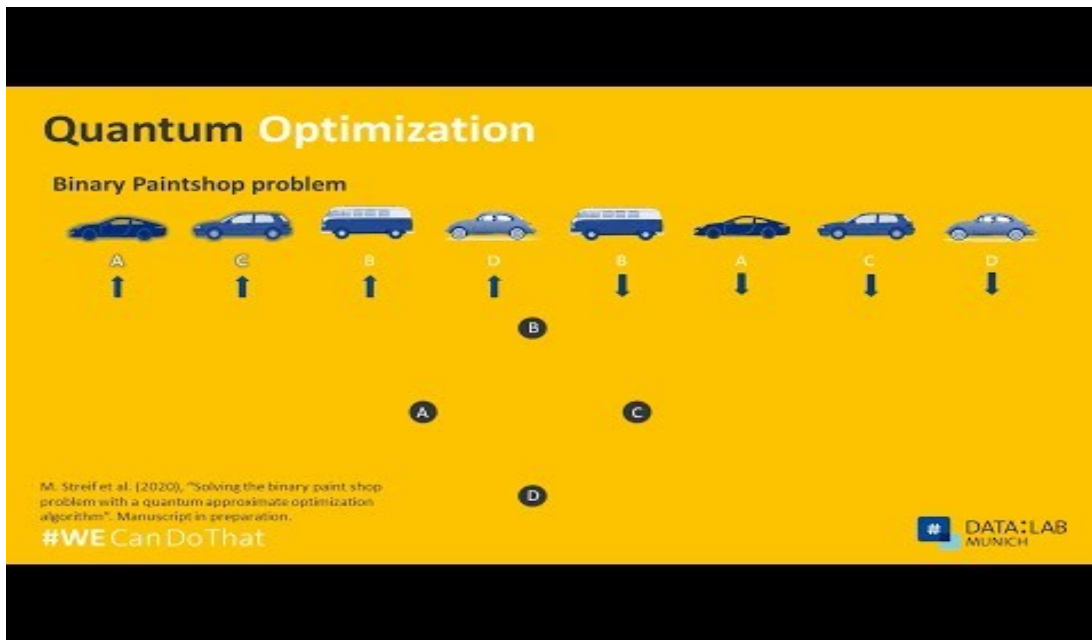
keskusteluissa. Yliopiston ja Joensuun tiedepuiston yhteydessä toimii mm. optiikan huippuyksikkö, joka keskittyy ftoniikkaan liittyvän kvanttiteknologian perustutkimukseen ja sovelluskehitykseen. Kuopiossa toimiva yliopiston Farmasian laitos, Molekyyli-mallinnuksen ja lääkeainesuunnittelun tutkimusryhmä, professori Antti Poson johdolla, on ollut aktiivinen kvanttilaskennan mahdollisuuksien selvittämisessä lääkeainesuunnittelun alalla. Hän on ollut mukana KvanttiKarelia-hankkeen asiantuntijaryhmässä ja esiintynyt sekä hankkeen webinaareissa että "roundtable"-tapaamisissa. UEF:n tietojenkäsittelytieteen laitoksen johtaja, professori Markku Tukiainen on myös ollut mukana asiantuntijaryhmässä hankkeen alusta lähtien, ja hän aktivoikin tietojenkäsittelytieteen laitoksen järjestämän tiettävästi ensimmäisen, kaikille yliopiston opiskelijoille avoimen, kvanttilaskennan perusteet (Introduction to Quantum Computing (4 ECTS)) -koulutuksen marras-joulukuussa 2021. Esimerkiksi tuosta koulutuksesta voisi olla muotoiltavissa aiheesta kiinnostuneille yrityksille ja muille toimijoille suunnattu perehtyminen kvanttilaskentaan.

Itä-Suomen yliopiston lisäksi Karelia-ammattikorkeakoulu, jossa KvanttiKarelia-hanke on toteutettu, on aktivoitunut hankkeen myötä ensimmäiseksi suomalaiseksi ammattikorkeakouluksi, joka on ryhtynyt selvittämään kvanttilaskennan olemusta ja mahdollisuuksia monitieteisenä laskentaparadigmaksi. Karelia-ammattikorkeakoulu on luonut aktiiviset suhteet kansalliseen kvanttilaskentayhteisöön, alalla toimiviin suomalaisiin startup-yrityksiin ja on myös jäsenenä VTT:n ylläpitämässä InstituteQ:n BusinessQ-asiantuntijaverkostossa. Hanke on kerännyt tietoa, verkostoitunut ja tuottanut koulutus- ja muuta materiaalia aiheeseen liittyen. Hanke on koostanut [verkkoportaalin](#), josta on helppo lähteä tutustumaan itsenäisestikin kvanttilaskentaan ja -tietotekniikkaan. Muun muassa nämä hankkeen tuottamat raportit ja paljon muuta aiheeseen liittyvää löytyy portaalista.

Pohjois-Karjalassa on myös joitakin yrityksiä, jotka voivat lähitulevaisuudessa hyödyntävää kvanttiteknologian mahdollisuuksia liiketoiminnassaan. Esimerkiksi Joensuussa sijaitsevan Arbonaut Oy:n toimitusjohtaja Tuomo Kauranne on ollut mukana KvanttiKarelia-hankkeen asiantuntijaryhmässä, esiintynyt webinaareissa ja pohtinut kvanttilaskennan hyötykäyttöä pk-yritysten laskennallisten "pullonkaulojen" ratkaisemiseksi. Tällaisia laskentaintensiivisiä optimointi-, simulointi- ja muita mallinnusongelmia, jotka perinteisellä tietotekniikalla ovat joko hitaita, tai täysin ratkaisemattomissa olevia, voisi tarjota kvanttilaskennalla toteutettavaksi. Aina tehtävän ei tarvitse välttämättä olla mahdoton klassisella tietokonetekniikalla ratkaistavaksi, mutta kvanttilaskentahyöty voi tulla pienestäkin aikasäästöstä klassisiin menetelmiin verrattuna. Tällaisesta esimerkkinä käy vaikkapa Monte Carlo -simulointi finanssialalla, jossa voidaan hyödyntää kvanttilaskennan nopeus suhteessa perinteiseen laskentaan, vaikka itse algoritmi, jolla se toteutetaan, ei olisi täysin kvanttioptimoitu. Varsinkin sähköisessä kaupankäynnissä erilaisten tuotto- ja muiden ennusteiden saaminen hieman nopeammin kuin kilpailija, voi merkitä suurta etua liiketoimintaan. Esimerkiksi logistiikka-ala voisi hyötyä

merkittävästi kvanttioptimoidusta simuloinnista, joka tapahtuisi hyvin reaaliaikaisesti. Maailmalla on paljon esimerkkejä tämäntyyppisistä hankkeista, joissa simuloimalla perinteistä "kauppamatkustajan" ongelmaa (lyhin reitti eri kohteiden välillä) on saatu merkittäviä liiketaloudellisia ja -toiminnallisia etuja.

Esimerkiksi VW-automaalaamo hyödyntää kvanttilaskentaa optimoidakseen tehokkuutta.



Kuva 5. Maalaustoiminnan optimointi kvanttilaskennan avulla. (Lähde: D-Wave)

Lisätietoja: [Volkswagen: Paint Shop Optimization with Quantum Annealing](#)

Samankaltainen ongelma oli satamakentän logististen toimintojen tehostaminen Los Angelesissa. Tämäkin ratkaistiin kvanttilaskennan avulla.



Kuva 6. Los Angelesin satama. (Lähde: SavantX) Lisätietoja: [HONE \(Hyper Optimization Nodal Efficiency\) AI Engine](#)

Kvanttitekniikan hyödyntämisellä voi olla merkittäviä mahdollisuuksia myös Pohjois-Karjalan alueen kehityksessä. Sillä voidaan luoda uusia tuotteita ja palveluita, ja näin parantaa alueen kilpailukykyä ja houkuttelevuutta. Kvanttitekniikka ja -laskenta voi myös auttaa ratkaisemaan monimutkaisia ongelmia, joita esiintyy esimerkiksi terveydenhuollossa, energiateollisuudessa ja ympäristöalalla.

Pohjois-Karjalassa voisi olla mahdollista kehittää paikallisia, kvanttitekniikkaan liittyviä klustereita ja verkostoja, joissa yritykset, tutkimus- ja hanketoiminta sekä julkiset toimijat voisivat yhteistyössä kehittää uusia kvanttitekniikkaan liittyviä sovelluksia ja ratkaisuja. Tällainen toiminta voisi aktivoita ja edistää paikallista innovaatiotoimintaa sekä luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia alueelle.

4.1.1 Kysymyksiä Pohjois-Karjalan kehittämisestä kvanttilaskennan ja -tietotekniikan avulla

- Miten Pohjois-Karjala voisi hyödyntää kvanttilaskentaa ja -tietotekniikkaa alueen kehittämisessä?
- Millaisia mahdollisuuksia kvanttilaskenta tarjoaa Pohjois-Karjalan yrityksille ja miten niitä voitaisiin hyödyntää?
- Miten Pohjois-Karjalan koulutus- ja tutkimuslaitokset voisivat edistää kvanttitekniikan kehitystä alueella?
- Millaisia haasteita ja riskejä kvanttitekniikan hyödyntämisessä Pohjois-Karjalassa voi olla?

- Millaisia investointeja tarvitaan kvanttitekniologian kehittämiseksi Pohjois-Karjalassa?
- Millaisia yhteistyökumppaneita Pohjois-Karjala voisi hakea kvanttitekniologian kehittämiseksi kansallisesti ja kansainvälisesti?
- Millaisia vaikutuksia kvanttitekniologian kehittämisellä voisi olla Pohjois-Karjalan alueen työllisyyteen ja talouteen?
- Miten kvanttitekniologian kehittäminen voisi edistää Pohjois-Karjalan alueen kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamista?
- Miten Pohjois-Karjalan alue voisi profiloitua kvanttitekniologian osaajana ja houkutella alueelle kvanttitekniologian kehittämiseen liittyviä investointeja ja osajia?
- Millaisia kvanttitekniologian sovellusmahdollisuuksia voisi kehittää Pohjois-Karjalan alueen erityispiirteiden ja tarpeiden mukaisesti?

4.1.2 Kysymyksiä kvanttilaskennan mahdollisuuksista pk-yrityksen liiketoiminnassa

- Miten kvanttilaskenta voi auttaa pk-yritystäni ratkaisemaan liiketoimintaan liittyviä ongelmia?
- Miten kvanttilaskenta voi parantaa pk-yrityksen liiketoiminnan tehokkuutta?
- Miten kvanttilaskenta voi auttaa pk-yritystänne kehittämään uusia tuotteita tai palveluita?
- Mitä hyötyjä kvanttilaskennasta on pk-yrityksille verrattuna perinteisiin laskentamenetelmiin?
- Onko kvanttilaskenta jo käytössä joillakin aloilla, joista pk-yritys voisi hyötyä?
- Miten pk-yritys voi aloittaa kvanttilaskennan hyödyntämisen liiketoiminnassaan?
- Millaisia kumppanuuksia pk-yritys voisi hakea kvanttilaskennan alalla toimivien yritysten ja muiden toimijoiden kanssa?
- Miten pk-yritys voi selvittää, onko kvanttilaskennan hyödyntäminen taloudellisesti järkevää?
- Mitä riskejä ja haasteita kvanttilaskennan hyödyntämisessä liiketoiminnassa voi olla?
- Miten kvanttilaskennan kehitys ja tulevaisuuden mahdollisuudet voivat vaikuttaa pk-yrityksen liiketoimintaan tulevaisuudessa (miten varautua muutokseen)?

4.2 Kommenttipuheenvuoro: Cristina Andersson

Cristina Andersson on tietokirjailija, tekoäly- ja robotiikka-asiantuntija, Develor Oy:n omistajayrittäjä, johtamisen konsultti ja KvanttiKarelia-hankkeen asiantuntijaryhmän aktiivinen jäsen. Hän on työskennellyt asiantuntijana tekoälyn ja robotiikan parissa vuodesta 2011 lähtien, useissa EU:n sekä kansallisissa organisaatioissa ja yrityksissä. Andersson kuuluu työ- ja elinkeinoministeriön johtaman Suomen kansallisen tekoäly 4.0-ohjelman ohjausryhmään. Hän on ohjelman Vihreä siirtymä -ryhmän puheenjohtaja, Suomen Standardisoimisliiton tekoälytyöryhmän puheenjohtaja ja Suomen Yrittäjät ry:n hallituksen jäsen. Hän on koordinoanut sosiaali- ja terveysministeriön kansallista ohjelmaa tekoälyn ja robotiikan käytöstä terveydenhuollossa.

KvanttiKarelia -hankkeen kansainvälinen vaikuttavuus ja sen merkitys Pohjois-Karjalalle

Cristina Andersson

KvanttiKarelia -hanke täytti hiljattain kaksi vuotta. Alusta lähtien hanke on kerännyt ympärilleen kansainvälisiä asiantuntijoita. Hankkeen avausseminaarissa puheenvuoron piti Denise Ruffner, joka tuolloin oli IonQ:n palveluksessa liiketoiminnan kehittämisen johtajana ja johtoryhmän jäsenenä. Voidaan sanoa, että Denise edusti heti hankkeen alkaessa sitä, mikä on ollut koko hankkeen ohjenuora: osaamista ja ymmärrystä kvanttietokoneista, näkemystä alan liiketoimintamahdollisuuksista sekä arvoista miten alaa tulisi alusta lähtien kehittää; inklusiosta, vastuullisuudesta ja innovatiivisuudesta.

Kvanttikoneiden kehitys on vielä alkutaipaleella. Yhtä tärkeää kuin alan tutkimus ja kehitys sekä yritystoiminnan kasvu, on monialaisen ja kansainvälisen ekosysteemin sekä uusien oppimispolkujen ja -mahdollisuuksien synnyttäminen. Juuri tätä varten KvanttiKarelia rakentui ja matkan varrella toteutti onnistuneesti.

Denise Ruffnerin jälkeen kansainvälisiä puhujia on ollut toistakymmentä, ei pelkästään hankkeen seminaareissa ja webinaareissa, vaan myös kuukausittaisissa Teams -koontumisissa. Tapahtumissa myös suomalaiset asiantuntijat ovat päässeet kertomaan työstään kansainväliselle yleisölle.

Miksi kansainvälinen ekosysteemi on tärkeä kvanttilaskennan suomalaisella kehitykselle?

Kvanttilaskennan kehittäminen on monimutkainen ja haastava tehtävä, joka vaatii merkittäviä panostuksia tutkimukseen, kehitykseen ja infrastruktuuriin. Kansainvälinen ekosysteemi on tärkeä kvanttilaskennan kehittämisen kannalta, koska se mahdollistaa

yhteistyön ja tiedon jakamisen tutkijoiden, yritysten ja hallitusten kesken ympäri maailmaa.

1. Kvanttikoneen ja -laskennan kehittäminen vaatii huomattavan määrän asiantuntemusta eri aloilta, kuten fysiikasta, tietojenkäsittelytieteestä ja tekniikasta. Kansainvälisen ekosysteemin ansiosta eri maiden tutkijat ja asiantuntijat voivat työskennellä yhdessä, jakaa tietoa ja tehdä yhteistyötä tutkimusprojekteissa ja muissa hankkeissa.
2. Kansainvälinen ekosysteemi on tärkeä kvanttilaskennan kehittämisen kannalta, koska se voi auttaa vastaamaan joihinkin tähän teknologiaan liittyviin haasteisiin ja riskeihin. Esimerkiksi kvanttilaskenta voi rikkoa monia salausmenetelmiä, joita tällä hetkellä käytetään arkaluonteisten tietojen suojaamiseen. Kansainvälinen ekosysteemi voi auttaa kehittämään uusia salausmenetelmiä ja suojausprotokollia, jotka kestävät kvanttihyökkäyksiä.
3. Kvanttilaskenta mullistaa monia eri toimialoja rahoituksesta terveydenhuoltoon. Kansainvälinen ekosysteemi mahdollistaa eri maiden yritysten ja hallitusten yhteistyön ja yhteistyön kvanttilaskentaratkaisujen kehittämisessä ja toteutuksessa. Tämä yhteistyö voi johtaa uusien teollisuudenalojen, uusien työpaikkojen ja uusien taloudellisten mahdollisuuksien syntymiseen.

KvanttiKarelia-hanke on luonut pohjaa yhteistyölle, tiedon jakamiseen sekä ja uusien ratkaisujen kehittämiseksi alan mahdollisuuksiin, haasteisiin ja riskeihin.

Mitä hyötyä hankkeen kansainvälisyydestä on Pohjois-Karjalan alueelle? Ajatuksia jatkohankkeelle

Kvanttikoneiden rakentaminen on hardware-intensiivinen ala. Pohjois-Karjalan alueella on merkittäviä teknologian- ja konepaja-alan yrityksiä, jotka voisivat löytää uusia markkinoita nimenomaan kvanttikoneiden ja niihin liittyvien toimittajien alihankinnoista. Jatkohankkeessa kvanttialan tulevaisuus kannattaisikin pilkkoa "mahdollisuusosiin", joista lähdettäisiin kartoittamaan liiketoimintamahdollisuuksia niin olemassa oleville kuin uusille start-up yrityksille sekä sitä mitä uutta osaamista kyseinen toiminta edellyttäisi.

Kvanttialgoritmien osaajista ja itse algoritmeistakin on pulaa jo nyt, tämä kävi selväksi hankkeen aikana. Voisiko Karelia-ammattikorkeakoulussa järjestää aiheeseen liittyvää koulutusta?

Viimeisimmässä KvanttiKarelian kuukausitapahtumassa yrittäjä, vaikuttaja, asiantuntija ja sijoittaja André M. König esitti katsauksen alan kehitykseen USA:ssa ja Euroopassa. Königin esitys kokosi hyvin yhteen kaiken, mitä tapaamisissa oli aiemmin esitetty.

Tiivistelmä GQI:n toimitusjohtaja André M. Königin esitelmästä:

Kvanttitekniologialla on laaja vaikutus:

- Pohjoisamerikkalaiset keskittyvät pääasiassa pilvilähestymistapaan.
- Startup-yrietykset maailmanlaajuisesti – noin 160 ovat monissa eri kehitysvaiheissa.
- Valtion rahoitus on yli 55 miljardia dollaria 17 maassa.
- Riskipääomalähteet noin 2 miljardia dollaria vuodessa, mikä on vähän verrattuna muihin teknologioihin.

Tarkastelimme tärkeimpiä teknologioita ja tuotteita keskittyen kvanttilaskentaan ja arvioimme nykytilannetta, aukkoja ja mahdollisuuksia – suprajohtavien kubittien skaalauksista, uusia NISQ-lähestymistapoja ioniloukuista neutraaleihin atomeihin sekä nousevaa FTQC ryhmää, joka kilpailee foton- ja piispin-kubittiehdokkailla.

Siitä seurasi keskustelu "kvanttiuhkasta" ja siitä, kuinka se voisi vaikuttaa nykyisiin ratkaisuihin; GQI uskoo, että kohtuullinen pahin skenaario tälle on vuosi 2027.

König totesi, että suomalainen yhteisö on ollut kvanttitekniologian edelläkävijä, jolla on syvät tutkimusjuuret akateemisissa instituutioissa, sillä on suuri rooli tässä tekniologiassa. Esitys tukee hienosti KvanttiKarelian jatkohankkeen tavoitteita.

Loppukaneettina voin todeta, että KvanttiKarelia-hanke on onnistunut sen alkuperäisissä kansainvälisyyteen, kansallisissa verkostoitumiseen liittyvissä tavoitteissa, joista mainittakoon:

- verkoston toiminnan ja yhteistyösuhteiden vakiinnuttaminen (tulevat hankkeet, tiedonvaihto, kv-, ja kansallinen hankeyhteistyö).
- "Quantum Computing as a Service in North Karelia: Kvanttilaskentapalvelun mahdollisia sovelluksia Pohjois-Karjalassa" edistäminen.

I had the pleasure of presenting an overview of the quantum tech ecosystem during the KvanttiKarelia webinar.

Quantum Tech is set to have a wide impact, and we reviewed the current ecosystem with its main vendors - mainly North American and focused on a cloud approach, startups globally - about 160 of them at many different stages of development, government funding - over \$55B globally in 17 countries, and venture capital sources - roughly \$2B a year, which is tiny compared to other technologies.

We took a look at the major technologies and products, with a focus on quantum computing, and assessed the current state, gaps and opportunities - the scaling challenges of superconducting qubits, new NISQ approaches with trapped ion's and neutral atoms, and an emerging group of FTQC contenders with photonic and silicon spin qubit contenders.

From that a discussion of the "quantum threat" and how it might impact current encryptions ensued; GQI believes that the reasonable worst case scenario for this is 2027.

The Finnish community has been at the forefront of quantum technologies, with deep research roots in its academic institutions, and plays an outsized role in this technology. It was a pleasure to be able to share our insights and discuss them with the audience.

André M. König

5 Lopuksi

KvanttiKarelia-hanke päättyi virallisesti 31.12.2023, mutta hankkeen raportointia jatkettiin huhtikuuhun 2023 saakka. Näin haluttiin varmistaa, että nopeasti muuttuvassa kvantti-teknologiatiedossa voidaan tarjota mahdollisimman tuoreita ja ajankohtaisia näkökulmia näiden julkaisujen lukijoille.

Tämä kolmas raportti päättää KvanttiKarelia-hankkeen kirjallisen raportoinnin, mutta jatkamme Kvanttiaiheiden kanssa varmasti myös tulevaisuudessa.

Hankkeen tuotoksina syntynyt kvanttilaskentaan ja -teknologiaan liittyvä verkkoportaali, jota pyrimme päivittämään, löytyy osoitteesta: <https://libguides.karelia.fi/kvantti-karelia>

6 Kiitosten aika

On aika kiittää kaikkia KvanttiKarelia-hankeen toiminnan mahdollistaneita, henkilöitä, yrityksiä, tutkimuslaitoksia ja muita organisaatioita. Hankkeen keskeinen toimintamuoto oli vuorovaikutteinen keskustelu, jota käytiin, koronasta huolimatta, vilkkaasti, innostuneesti ja laaja-alaisen asiantuntemuksen ja innovatiivisen ilmapiirin vallitessa. Ilman teidän innostavaa ja osallistuvaa panostanne hanke olisi jäänyt vaille onnistumisia, jota emme olisi arvanneet hanketta kirjoittaessamme saavuttavamme. Haluammekin esittää parhaat kiitoksemme teille asiantuntijoille ja todellisille monitaitureille. Yhteistyö on myös monien osalta kehittynyt ystävyydeksi, joka osoittaa, että tämä yhteisö on muutakin kuin kovan luokan kvanttiporukka, jota se luonnollisesti ilman muuta on, mutta se on myös mukavien, kiinnostavien ja hauskojen henkilöiden joukko. Koemme, että meidät otettiin vastaan ja toivotettiin tervetulleeksi tähän yhteisöön lämpimästi ja aidosti. Kiitos että otitte meidät mukaan tähän upeaan joukkoon!

Kiitos teille kotimaiset asiantuntijat:

- Cristina Andersson (QC-asiantuntija, tietokirjailija, Develor Oy)
- Noora Archer (os. Heiskanen) (Asiantuntija, Aalto yliopisto)
- Jarkko Elo (Senior Account Manager, Education& Research, at Amazon Web Services (AWS))
- Robin Gustafsson (Asiantuntija, Bluefors Oy)
- Nina Granqvist (Professori, Department of Management Studies, Aalto University School of Business, Aalto yliopisto)
- Raisa Haapala (Public Sector Account Manager, Finland, at Amazon Web Services (AWS))
- Ari Hartikainen (FDF AI Service Manager, Suomen puolustusvoimat)
- Jani Heikkinen (Head of Business Development at IQM Quantum Computers)
- Mervi Heikkinen (Koulutuspäällikkö (ICT-ala), Karelia AMK)
- Teiko Heinosaari (Professori, Jyväskylän yliopisto ja Oulun yliopisto)
- Mika Helsingius (Senior Scientist at Finnish Defence Research, Suomen puolustusvoimat)
- Tua Huomo (Executive Vice President, Sustainable Products and Materials, VTT Oy)
- Timo Hänninen (Education Solutions at Microsoft)
- Mikael Johansson (Manager, Quantum Technologies at CSC - IT Center for Science Ltd)
- Anita Juho (Secretary General of the Finnish Technology Advisory Board, Valtiovarainministeriö)
- Petri Karvinen (Asiantuntija UEF)
- Tuomo Kauranne (Toimitusjohtaja, Arbonaut Oy)

- Ari Koistinen (Asiantuntija, CGI Oy)
- Juha Koljonen (Teknologijaohjaja, Palkeet - Valtion talous- ja henkilöstöhallinnon palvelukeskus)
- Ville Kotovirta (Asiantuntija, team leader, VTT Oy)
- Ilkka Kukkonen (Tietohallintopäällikkö, Kuopion kaupunki)
- Annakaisa Kultima (Asiantuntija, Aalto yliopisto)
- Mika Lintilä (Elinkeinoministeri, Valtioneuvosto, Työ- ja elinkeinoministeriö)
- Sabrina Maniscalco (Professor of Quantum Information, Computing, and Logic, helsingin yliopisto ,Co-founder and CEO, Algorithmiq Ltd)
- Himadri S Majumdar (CEO, SemiCon Tech Oy)
- Mikko Möttönen (Professori, Teknillisen fysiikan laitos, Quantum Computing and Devices, Aalto yliopisto ja VTT OY | Co-Founder of IQM)
- Ossi Niemimäki (Quantum Algorithm Researcher Quanscient Oy)
- Olli Nurmi (Asiantuntija, VTT Oy)
- Satu-Minna Piironen (Asiantuntija, Business Joensuu Oy)
- Laura Piispanen (Asiantuntija, Aalto yliopiston tohtorikoulutettava teknillisen fysiikan ja tietojenkäsittelytieteen laitoksilla)
- Antti Poso (Professori, Terveystieteiden tiedekunta, Farmasian laitos, UEF and University of Tübingen)
- Jyri Pulkkinen (Projektipäällikkö, Productivity Leap Oy)
- Pekka Pursula (Research Manager, Microelectronics, VTT Oy)
- Petri Raivo (Rehtori ja toimitusjohtaja, Karelie AMK)
- Tapani Reijonen (Palvelujohtaja, järjestelmäpalvelut, MEITA Oy)
- Teppo Seesto (Nordic Quantum Ambassador lead and Solution Architect at IBM)
- Markku Tukiainen (Professori, Tietojenkäsittelytieteen laitos, UEF)
- Marika Turkia (Head of Research and Development at Karelia AMK)
- Antti Vikman (COO at Nolventure Ltd. and CTO of our partner Redkik)
- Jarmo Väisänen (Tietohallintopäällikkö, Karelia AMK)

Thank You, our international contributor:

- Denise Ruffner (President, Women in Quantum and CEO, Amara Hill Consulting, USA)
- Morten Bache (Scientific Director - Quantum Technologies, Technical Sciences, Research Infrastructures, MedTech and HealthTech Novo Nordisk Foundation, Denmark)
- Bob Sorensen (Senior Vice President of Research, Chief Analyst for Quantum Computing, Hyperion Research, LLC, USA)
- André M. König (Leading global quantum tech expert, CEO, Global Quantum Intelligence, LLC, USA)
- Enrique Solano (Chief Visionary Officer, Kipu Quantum, Berlin; Founder, Quanvia, Bilbao, Germany/Spain)

- **Jagadeesh Pusabadi** (Principal Solutions Architect at Amazon Web Services (AWS), UK)
- **Fabio Baruffa** (Technical Consulting Lead for Cloud and Quantum Computing, Intel Corporation, Germany)
- **Petar Korponaic** (Founder and CTO at Quantastica)
- **Guillermo García-Pérez** (Co-founder & Chief Scientific Officer at Algorithmiq)
- **Bent Terp** (Senior Solutions Architect at Amazon Web Services (AWS), Sweden)

Lisäksi on suuri joukko muitakin, jotka ovat osallistuneet tai myötävaikuttaneet Kvantti-Karelia-hankkeen onnistumiseen. Kiitos myös teille!

There are also a large number of others who have participated or contributed to the success of the KvanttiKarelia project. Thank you to you too!

Kiitollisin mielin! With gratitude!

Olli Hatakka & Jarmo Talvivaara

Liitteissä 1–3 KvanttiKarelia-hankkeen järjestämien webinaarien ohjelma- ja esiintyjätiedot

Linkit tilaisuuksien tallenteisiin:

1. KvanttiKarelia-webinaari "Kvantilla tulevaisuuteen" 10.2.2021:
<https://youtu.be/wl2okDnJ2IU>
2. KvanttiKarelia-webinaari " Kvanttilaskentapalveluita, sovellutuksia ja ongelmanratkaisua eri toimialoille" 18.5.2021: <https://youtu.be/yyjELX2hek4>
3. The Quantum Era is here –The Quantum Karelia Closing Seminar" 14.12.2022
https://youtube.com/playlist?list=PL2nW_OFXKkTRNgm5KqhFfo88Q-2QkG_Mf

KVANTILLA TULEVAISUUTEEN!

WEBINAARI 10.2.2021 KLO 9.00-12.00

- 9.00 Tilaisuuden avaus. *Rehtori Petri Raivo*
- 9.05 Avauspuheenvuoro, videotervehdys. *Elinkeinoministeri Mika Lintilä*
- 9.15 KvanttiKarelia-hankkeen lyhyt esittely. *Projektipäällikkö Olli Hatakka*
- 9.30 Tilaisuuden ohjelman ja esittäjien lyhyt esittely. *Cristina Andersson*
- 9.40 Kvantilla tulevaisuuteen. *Cristina Andersson*
- 10.00 Kvanttitietokoneen toiminta. *Mikko Möttönen*
- 10.20 Kvanttitietokone: Miksi juuri nyt? *Pekka Pursula*
- 10.40 Kahvitauko
- 10.50 Miten kvanttitietokonetta ohjataan: kvanttialgoritmien alkeet.
Mikael Johansson
- 11.10 Valmisteilla kvanttitulevaisuus. *Tua Huomo*
- 11.30 Paneelikeskustelu *Cristina Andersson*
- 11.50 Tilaisuuden päätös ja tervetuloivotus 18.5.2021 webinaariin.
Projektiasiantuntija Jarmo Talvivaara



Cristina Andersson
Developer Productions Oy



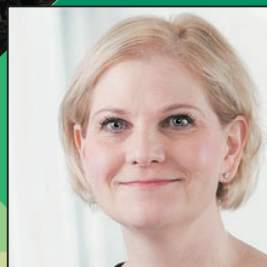
Mikko Möttönen
Aalto-yliopisto



Mikael Johansson
CSC Tieteen tieto-
tekniikan keskus Oy



Pekka Pursula
Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy



Tua Huomo
Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy



TERVETULOA!
KVANTTIKARELIA-HANKE

Lisätietoja: oli.hatakka@karelia.fi



QUANTUMKARELIA WEBINAR 2



Cristina Andersson
Develor Productions Oy



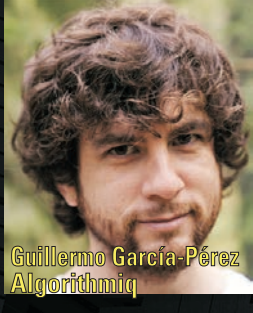
Denise Ruffner
IonQ



Timo Hänninen
Microsoft



Antti Poso
Univ. of Eastern Finland
Univ. of Tübingen



Guillermo García-Pérez
Algorithmiq



Petar Korponaic
Quantastica



Himadri S. Majumdar
VTT Technical Research
Center of Finland Ltd.



Mika Helsingius
Suomen
Puolustusvoimat



Ossi Niemimäki
Didior Oy

KVANTTIKARELIA – Webinaari II 18.5.2021 klo 12 - 17

Kvanttilaskentapalveluita, sovellutuksia ja ongelmanratkaisua eri toimialoille

+ in finnish  **in english**

11:30 – 12:00 "Q-Etkot", lounaskeskustelu **LUNCH "PRE-DISCUSSION"** **+ (UK flag)**

12:00 – 12:20 Tilaisuuden aloitus, avajaisnat (KvanttiKarelia hankkeen edustajat)
 **+ teeman, ohjelman ja esiintyjien esittelyt. Hankkeen tähänastiset tulokset. Tapahtuman juontaa: **Cristina Andersson**  **+****

12:20 – 12:30 **IonQ: the first quantum computing startup to go public**
 **Denise Ruffner**, Vice President / IonQ

12:30 – 13:00 **Azure Quantum**
+ Timo Hänninen, Solution Sales Specialist / Microsoft

13:00 – 13:30 **Quantastica and their robots: Automated Quantum Algorithm Design**
 **Petar Korponaic** / Quantastica

OHJELMALLINENTAUKO 15 min BREAK + (UK flag)

13:45 – 14:15 **Near-term quantum-enhanced solutions for life sciences challenges**
 **Guillermo García-Pérez**, Chief Scientific Officer / Algorithmiq

14:15 – 14:45 **Kuinka Suomessa on varauduttava osaamisella kvanttilaskentaan ja sen hyödyntämiseen**
+ Antti Poso, Professor / UEF, University of Tübingen


OHJELMALLINENTAUKO 15 min BREAK + (UK flag)

15:00 – 15:30 **Lääketiet. kuvantamiseen ja kuvien analyysiin liittyvä laskenta**
+ Ossi Niemimäki / Disior

15:30 – 16:15 **Kyberturvallisuus ja kvanttilaskenta**
+ Mika Helsingius / Suomen Puolustusvoimat

16:15 – 16:30 **InstituteQ**
 **Himadri S. Majumdar** / VTT

Paneelikeskustelu PANEL DISCUSSION + (UK flag)

- 17:00 Loppusanat, tilaisuuden päätös ja jatkosta infoaminen.  **+ (UK flag)**

**– The Quantum Era is here –
The Quantum Karelia Closing Seminar
Karelia University of Applied Sciences,
Joensuu, Finland, 14 December 2022**

The program of the seminar



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

*9.30 – 10.00 Registration and coffee in the lobby
Coffee served in the lobby*

10.05 – 10.10 Welcome and opening of the event

President and CEO Petri Raivo, Karelia UAS, Finland

10.10 – 11.00 Denmark's Quantum Roadmap and Ecosystem

Morten Bache, Novo Nordisk Foundation, Denmark

11.00 – 11.30 Comments and discussion on Morten's talk

Anita Juho, Finnish Ministry of Finance, Finland

11.30 – 12.10 The present and future of IQM quantum computers

Mikko Möttönen, IQM Finland Oy, Finland

12.10 – 13.10 Lunch break

(self-catering at restaurant Karelia UAS Wire)

13.10 – 13.30 Quantum computing in the business of an SME

Tuomo Kauranne, Arbonaut Ltd., Finland

13.30 – 13.50 Quantum-accelerated HPC – A LUMI perspective

Mikael Johansson, CSC – IT Center for Science Ltd., Finland

13.50–14.10 QC-advanced possibilities in drug discovery and computational chemistry

Antti Poso, UEF, University of Eastern Finland, Finland

14.10 – 14.30 Quantum Computing initiatives at AWS

Jagadeesh Pusapadi, Amazon Web Services, London, UK

14.30 – 14.50 "Quo Vadis" Quantum Computing

Cristina Andersson, Develor Oy, Finland

14.50 – 15.00 Coffee break

Coffee served in the lobby

15.00 – 15.20 Summary of the presentations and conclusions

Himadri Majumdar, VTT Technical Research Centre of Finland Ltd.

15.20 – 15.45 Expert Panel discussion

Presenters at the venue

15.45 – 16.00 Closing words

Olli Hatakka and Jarmo Talvivaara, Karelia UAS, Finland

The event will be hosted by Cristina Andersson. We reserve the right to make changes.

– The Quantum Era is here –

The Quantum Karelia Closing Seminar

Karelia University of Applied Sciences, Joensuu, Finland, 14 December 2022

Introduction of the seminar presenters



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Senior Scientific Lead, Dr. Morten Bache, Novo Nordisk Foundation Denmark

Morten Bache is a Scientific Director in the Natural and Technical Sciences (Nat-Tech) division at the Novo Nordisk Foundation (NNF). Since 2018 he has been involved in building up the Nat-Tech division, developing both open-competition programs and major stand-alone grants. His core expertise areas in NNF are physics, applied mathematics, technical sciences, quantum technologies, health tech, data science, energy, climate, carbon capture storage, and utilization. Among the major initiatives, he has been involved in developing and running are the NNF activities related to AI and data science (including the AI Pioneer Centre), and more recently the CO2 Research Centre, and the NNF Quantum Computing Programme.

He has a Ph.D. degree from 2002 and a Dr.Techn. degree from 2018 (equivalent to a habilitation degree) from the Technical University of Denmark (DTU) within the fields of laser physics, ultrafast nonlinear optics, and quantum optics. His MSc. engineering degree from DTU in 1999 was in applied mathematics and physics. From 2008–2018 he was an associate professor (tenured since 2012) at DTU, where he led a research team focusing on theoretical, numerical, and experimental studies of ultrafast nonlinear phenomena in materials, fibers, and waveguides.

He has been visiting leading research groups in Belgium, Spain, USA, and Italy in his career.



Secretary General of the Finnish Technology Advisory Board, Dr. Anita Juho, Finnish Ministry of Finance, Finland

Anita has 17.5 years of academic career as a researcher and lecturer in international business and entrepreneurship. She has a Ph.D. in International Business, and SMEs, entrepreneurship, and business opportunity creation have been the key focus during her career. She has been researching and teaching the topic at various Universities in Asia, the Middle East, Europe, and North America. As a person, she is an easily inspired everlasting optimist, always eager to learn more and willing to meet new inspiring people.



Professor, Chief Scientist and Co-founder, Dr. Mikko Möttönen, IQM Finland Oy. Finland

Mikko Möttönen is one of the four founders of IQM Quantum Computers (www.meetiqm.com) and its chief scientist. IQM is a Pan-European category leader in quantum computers. IQM quantum computers are designed and built using superconducting quantum processors, enhanced by innovative co-design of software and hardware. In this way, the company aims to deliver quantum advantage for commercial applications.

Möttönen is a world-leading researcher in quantum information and a professor of quantum technology at Aalto University and VTT. He has published more than 120 scientific articles, including four articles in the top journals Nature and Science. His work has been cited more than 6,000 times. He graduated with a doctorate in technology in 2005 from the Department of Applied Physics at the Helsinki University of Technology.

Mikko Möttönen has distinguished himself in research in both theoretical and experimental quantum physics. Breakthroughs in research have enabled the commercialization of quantum computing and devices, such as the spinout of IQM from his research laboratory. Recently, Möttönen obtained the Nokia Recognition award, the Väisälä Science Prize, the Innovation Professor Award, and an Honorary Doctorate.

– The Quantum Era is here –

The Quantum Karelia Closing Seminar

Karelia University of Applied Sciences, Joensuu, Finland, 14 December 2022

Introduction of the seminar presenters



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



President, CEO and Co-founder, Dr. Tuomo Kauranne, Arbonaut Ltd., Finland

Tuomo currently works as the President and CEO of Arbonaut Ltd., a forest and water technology company. Tuomo does research in data assimilation and in geosciences, forestry, parallel computing, theory of computation, and applied mathematics. Tuomo holds a Ph.D. in Applied Mathematics from the Lappeenranta-Lahti University of Technology and an honorary doctorate in Forestry from the University of Eastern Finland.

Disciplines:

Parallel Computing, Theory of Computation, Applied Mathematics, Logic and Foundations of Mathematic, Biostatistics, Ecology, Limnology



Professor, Dr. Antti Poso, University of Eastern Finland, Finland

(Drug Design) Antti has been developing and applying computational molecular modeling methods since the early 1990s. Currently, he is focused on anti-cancer and anti-infective drug discovery. He is also working as a vice head of Drug Tech Research Community at UEF and chairperson of the Scientific Customer Panel of the supercomputer center CSC Finland. Since August 2012 he has been also working, besides his position at UEF, as a guest professor at the University of Tübingen, Germany. He has supervised 25 Ph.D. students and post-docs (two of those are currently working as professors) and published >200 original articles with an h-index of 48 (Google). Prof. Poso has been founding two companies (Aurealis Therapeutics and Heparegenix), and both of those have successfully finalized Phase I clinical studies and proceeding to Phase II stage.



Quantum Strategist, Dr. Mikael Johansson, CSC - IT Center for Science, Finland

Ever since being exposed to the wonders of quantum mechanics in school, Mikael has been fascinated by its ability to stand against common sense successfully. In his role as Quantum Strategist, he explores and enables the uptake of quantum tech in R&D communities. He is a leading expert in the field of quantum-accelerated high-performance computing and vice-director of the Finnish Quantum-Computing Infrastructure. He spent twenty years in academia, studying and teaching quantum mechanical effects in (bio)chemistry, and holds an associate professorship at the University of Helsinki.



Solution Architect Jagadeesh Pusapadi, Amazon Web Services, London, UK

Jags is a Principal Solutions Architect for AWS based in the UK. He is a quantum technologies enthusiast who is passionate about helping customers explore the world of quantum computing using Amazon Braket. He has a long history with several classical complex systems and applications, which makes him highly skilled in combining and demonstrating the advantages of multiple hardware-bound quantum-classical hybrid systems.

– The Quantum Era is here –

The Quantum Karelia Closing Seminar

Karelia University of Applied Sciences, Joensuu, Finland, 14 December 2022

Introduction of the seminar presenters



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Lead, Quantum @ VTT | InstituteQ | BusinessQ, Dr. Himadri Majumdar, VTT Technical Research Centre Ltd., Finland

Himadri is a Lead and the BusinessQ Program Manager of the InstituteQ, Quantum VTT Ltd. He leads the Quantum Programmes and manages the Quantum initiative at VTT, including the first Quantum Computer acquisition project of VTT and Finland. He strongly focuses on building networks and partnerships both in Finland and internationally and driving an ambitious quantum innovation ecosystem with partners from both business and academia.

He also is a Docent (Associate Professor) at Åbo Akademi University and was formerly at Tampere University of Technology in Finland.



Non-fiction Author, AI- and Robotics-expert Cristina Andersson, Develor Oy, Finland

Cristina is an entrepreneur and management consultant. Cristina has been working with artificial intelligence and robotics since 2011, as an expert in different EU and national organizations as well as with several companies. She is a member of the steering group of the Finnish National Artificial Intelligence 4.0 program led by the Ministry of Employment and the Economy. Cristina is chair of the Green Transition Group of the program, chair of the Artificial Intelligence working group at the Finnish Standards Association, and member of the board of the Federation of Finnish Enterprises in Helsinki. She coordinated the National Program for AI and Robotics in Healthcare for the Ministry of Social Affairs and Health. Cristina is interested in learning more about #quantum #QuantumComputing #EdgeComputing



President, CEO, and Associate Professor, Dr. Petri Raivo, Karelia University of Applied Sciences, Finland

Petri is the President and CEO of Karelia University of Applied Sciences, and an associate professor at the University of Oulu, the University of Turku, and the University of Eastern Finland.

He has published 120 scientific publications, various keynote presentations, and memberships in steering committees at international conferences.

Petri's main academic fields of interest are historical and cultural tourism, especially sites and landscapes of collective memory and cultural heritage. As a president of Karelia University of Applied Sciences, he is interested in research and innovation activities as a part of regional development as well as the development and future of applied higher education.

– The Quantum Era is here – The Quantum Karelia Closing Seminar Karelia University of Applied Sciences, Joensuu, Finland, 14 December 2022

The Quantum Karelia project staff



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Quantum Karelia Project Expert, Senior Lecturer, Business Information Tech., Jarmo Talvivaara, Karelia University of Applied Sciences, Finland

Jarmo is working as a Senior Lecturer at Karelia UAS and is specialized in Business Information Technology related systems, applications, and software. He is familiar with RPA as well as machine learning and AI. He teaches courses on complex systems and algorithmic techniques and design. He is especially interested in combining machine learning and AI with quantum computing (where applicable) as a hybrid entity. He eagerly follows up on the recent developments and advancements in quantum technologies and computing. On the other hand, he is also interested in explaining the expected impact of quantum computing to a wider audience as well as to the ICT professionals, paving the way for the finish quantum ecosystem.



Quantum Karelia Project manager, Senior Lecturer, Business Administ., Olli Hatakka, Karelia University of Applied Sciences, Finland

Olli is working as a Senior Lecturer at Karelia UAS, teaching both Finnish and international business, leadership, management, marketing, and entrepreneurial degree-bound courses for UAS degree students. He also works as a Project Manager in the Quantum Karelia – Quantum Computing Services – future technology for business and service applications –project. He also works on a few other projects as well. Previously he also worked as a CEO and entrepreneur in a couple of SMEs as well as at the University of Joensuu (now the University of Eastern Finland) as a researcher, an assistant professor, a university teacher, and a project manager in several EC- and nationally-funded learning technology R&D projects.

HOTEL OFFER for LIVE PARTICIPANTS!



Dear seminar guest

If you are attending to this seminar live, here is a special offer for hotel accommodation in Joensuu

LIETSU BOUTIQUE APARTHOTEL

- Address: Rantakatu 26, city center of Joensuu
- For 1 person 118 e/night and for 2 persons 138 e/night
- Prices include accommodation, local Karelian breakfast, WiFi, parking, use of EasyFit gym and hotel sauna (private 1 hour once during the stay according to availability).
- Free cancellation 24 h before arrival (at 4 PM).
- Booking with code KVANTTIKARELIA either at <https://www.lietsuhotel.fi/en>, by email info@lietsuhotel.fi or by tel. +358 44 7520 500 according to availability.