

"xxx|ministeriön julkaisusarja 2025:xx"

Suomen kvanttiteknologiastrategia 2025–2035

**Suomen uusi kasvun moottori ja kestävä tulevaisuuden
rakentaja**

Kirjoita tekijät, toimittaja tai tekijäorganisaatio

"Työ- ja elinkeinoministeriö Helsinki 2025"

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Publication distribution**Institutional Repository
for the Government
of Finland Valto**

julkaisut.valtioneuvosto.fi

[Tuplaklikkaa ja kirjoita ministeriö](#)

Klikkaa ja valitse tekijänoikeustaso

ISBN pdf: [VNK täyttää](#)

ISSN pdf: [VNK täyttää](#)

ISBN painettu: [VNK täyttää](#)

ISSN painettu: [VNK täyttää](#)

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2024 Finland ([kieliversioissa](#))

Paino: Grano Oy, 2024

Sisältö

1	Tausta.....	6
2	Johdanto	8
3	Tilannekuva - Suomi alan pioneeri ja haluttu yhteistyökumppani.....	12
3.1	Suomeen on syntynyt maan kokoon nähden merkittävä kvanttitekniikka-ala	12
3.2	Kansainvälisessä kilpailussa pienellä maalla on omat vaikeutensa	16
3.3	Suomen on tunnistettava ja hyödynnettävä mahdollisuutensa	19
4	Visio 2035 ja tavoitteet – Kilpailukykyisesti kasvava, osaava ja luotettava Kvantti-Suomi	23
5	Ehdotetut toimenpiteet vuosien 2025–2030 tavoitteiden toteuttamiseksi	27
5.1	Kvanttiosaamiskeskus.....	28
5.2	Maailman kärkiluokan laskentainfrastruktuuri	29
5.3	Kilpailukykyinen infrastruktuuri kvanttilaitteiden ja -komponenttien kehityksen tukena	32
5.4	Kvanttiturvallisten salausmenetelmien käyttöönotto.....	33
5.5	Pitkäjänteinen kvanttialan TKI-ohjelma	35
5.6	Yritysten globaalien kasvun tuki	38
5.7	Kansainvälinen yhteistyö sekä EU- ja kansainvälinen vaikuttaminen	39
5.8	Kansallinen koordinaatio, ennakointi, seuranta ja edunvalvonta.....	41
	Liitteet.....	44
	Liite 1. Julkiset panostukset Suomen kvanttitekniikka-alalle	45
	Lähteet.....	47

ESIPUHE

Suomi on tullut tunnetuksi innovaatiokyvystään ja vahvasta osaamisestaan teknologian saralla. Meillä on monta esimerkkiä historiasta, jossa olemme tunnistaneeet uuden trendin aikaisessa vaiheessa ja ennakkoluulottomasti hypänneet mukaan uuden kehittämiseen.

Nyt meillä on taas tilaisuus olla maailman kärkijoukoissa uudessa teknologisessa murroksessa: kvanttiteknologiassa. Kvanttiteknologia tarjoaa lupauksen tehdä mahdottomasta mahdollista. Kvanttiteknologia lupaa ennennäkemätöntä hyppäystä laskentatehon kasvussa, tietoliikenteen turvallisuudessa sekä anturien kyvyssä mitata fysikaalisia suureita.

Näitä teknologisia kyvykkyyksiä voidaan hyödyntää ratkaisujen kehittämisessä moniin globaaleihin haasteisiin. Esimerkiksi materiaalien suunnittelu (mm. uudet akkumateriaalit), lääkekehitys, ilmastonmuutoksen mallinnus ja ympäristön seuranta voivat olla alueita, joissa tullaan ottamaan harppauksia eteenpäin. Kvanttiteknologia voi myös vahvistaa Suomen kansallista turvallisuutta useilla tavoin sekä kyberturvallisuuden että puolustuksen saralla.

Suomen kvanttiteknologiastrategian tekeminen on ollut koko työryhmälle suuri ilo ja kunnia. Olemme tehneet tätä työtä koska uskomme, että Suomen tulee ottaa johtava rooli kvanttiteknologian kehittämisessä ja hyödyntämisessä. Samalla haluamme varmistaa, että kvanttiteknologiaa kehitetään ja käytetään vastuullisesti ja eettisesti. Haluan lämpimästi kiittää kaikkia työhömmme osallistuneita erinomaisesta ja innostuneesta työstä.

Kvanttiteknologia on yksi Suomen tulevaisuuden teollisuudenaloista. Meillä on kaikki edellytykset olla maailman johtavia maita tällä alalla. Olemme tietyyssä mielessä juuri nyt taitekohdassa: olemme päässeet erittäin vahvaan asemaan

kehityksen alkuvaiheessa mutta nyt panostuksien pitää kasvaa, jos haluamme olla jatkossakin hyötymässä tästä teknologiasta. Me uskomme, että nyt on aika asettaa kunnianhimoiset tavoitteet myös tulevaisuudelle ja jatkaa vahvoja panostuksia kvanttiteknologian tutkimukseen, kehittämiseen, osaamiseen, kaupallistamiseen ja sen hyödyntämiseen. Näin voimme luoda uutta kestäväää kasvua Suomelle ja koko maailmalle.

Työryhmän puheenjohtaja Antti Vasara
Toimitusjohtaja, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
helmikuu 2025

1 Tausta

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti työryhmän kaudelle 1.5.2024 - 14.3.2025 valmistelemaan ehdotuksen kvanttiteknologiastrategiaksi. Päämääränä on, että Suomeen syntyy merkittävä uusi teollisuuden ala ja Suomi menestyy kansainvälisessä kilpailussa investoinneista, yrityksistä ja osaajista sekä kytkeytyy merkittävässä roolissa kansainväliseen tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio (TKI)-yhteistyöhön. Strategiaehdotuksessa on esitetty visio ja tavoitteet Suomen kvanttiekosysteemin osaamisen, liiketoiminnan ja kilpailukyvyn kehittämiseksi sekä toimenpiteet ja suuntaviivat Suomen kvanttiekosysteemin edelläkävijyyden tukemiseksi ja kvanttiteknologioiden hyödyntämiseksi elinkeinojen uudistamisessa.

Työryhmän puheenjohtajana on toiminut VTT:n toimitusjohtaja Antti Vasara ja varapuheenjohtajana teollisuusneuvos Maija Lönnqvist työ- ja elinkeinoministeriöstä. Työryhmän jäsenet: johtava asiantuntija Kaisa Kopra, LVM; Opetusneuvos Laura Taajamaa, OKM; Erityisasiantuntija Kalle Piirainen, PLM; Johtava asiantuntija Hanna-Miina Sihvonen, SM; Erityisasiantuntija Henri Loukusa, UM; Apulaiskyberturvallisuusjohtaja Stefan Lee (31.12.2024 saakka)/kyberturvallisuusjohtaja Rauli Paananen (1.1.-14.3.2025), Valtion kyberturvallisuusjohtajan toimisto; Head of Quantum Computing Campaign Outi Keski-Äijö, Business Finland; Johtava tiedeasiantuntija Anna Kalliomäki (31.12.2024 saakka)/johtaja Jussi Vauhkonen (1.1.-14.3.2025), Suomen Akatemia; Kvanttilippulaivan johtaja Peter Liljeroth, Aalto yliopisto; Kehityspäällikkö Mikael Johansson, CSC – Tieteen tietotekniikan keskus Oy; Tutkimuspäällikkö Pekka Pursula, Teknologian tutkimuskeskus VTT; Head of External Relations Elsi-Mari Borrelli, Algorithmiq Oy; Government Relations Manager Milja Kalliosaari, IQM Oy; Chief Science Officer Janne Lehtinen, SemiQon Technologies Oy ja päällikkö, Ville Peltola, Teknologiateollisuus ry. Työryhmän sihteeristönä toimi työ- ja elinkeinoministeriöstä johtava asiantuntija Teija Palko ja neuvotteleva virkamies Martti Myllylä, VTT:ltä Manager Relations, Microelectronics and Quantum, Jenny Hasu sekä työryhmän kutsumana Aalto-yliopistosta vanhempi akateeminen koordinaattori Minna Günes.

Strategian tilannekuvaa, visiota, tavoitteita ja toimenpiteitä on valmisteltu neljässä alatyöryhmässä: osaaminen, mahdollistajat, ekosysteemin kasvu sekä

geopolitiikka ja turvallisuus. Alatyöryhmiin on osallistunut myös työryhmän ulkopuolisia henkilöitä.

2 Johdanto

Kvanttitekniikat hyödyntävät nanomittakaavassa tai äärimmäisen matalissa lämpötiloissa havaittavia kvantti-ilmiöitä, sekä kykyä hallita niitä. Kvanttitekniikat tarjoavat huomattavan harppauksen kyvyssämme ymmärtää ja hyödyntää maailmankaikkeuden perustana toimivaa käsitemaailmaa. Kvanttitekniikoiden odotetaan mahdollistavan suuria kehitysaskelia esimerkiksi tietojenkäsittelyssä, mittauksissa ja viestinnässä, ja sitä kautta niillä voi olla merkittäviä vaikutuksia eri teollisuudenaloilla sekä yhteiskunnassa laajemmin. Tämän vuoksi EU, USA ja useat muut maat ovat määritelleet kvanttitekniikat taloudellisen turvallisuuden kannalta kriittisiksi tekniikoiksi.

Maailmanlaajuisesti kvanttitekniikoihin panostetaan merkittäviä määriä resursseja. Valtaosa teknologisesti kehittyneistä valtioista sekä suuret globaalit yritykset ovat kehittämässä kvanttitekniikoihin perustuvia ratkaisuja, mikä osoittaa vahvaa luottamusta alan potentiaaliseen vaikutukseen jo lähitulevaisuudessa. Erityisesti Suomen kaltaisissa pienissä mutta innovatiivisissa maissa, joissa huippututkimuksen ja vahvan teollisuusperustan synergia voi edistää kansallista kehitystä ja globaalia johtotasoa uusien huipputekniikoiden aloilla, kvanttitekniikat ja niiden hyödyntäminen voi tuoda merkittävää kasvua ja kilpailukykyä teollisuudelle.

Kvantti-ilmiöt ja -ominaisuudet mahdollistavat uusia kyvykkyyksiä kolmella tekniikka-alueella:

Kvanttilaskenta (quantum computing): Kvanttilaskenta on tietojenkäsittelyn ala, joka hyödyntää kykyä ohjata ja hallita kvanttimekaanisia ilmiöitä. Kvanttitietokoneissa voidaan hyödyntää eri tekniikoita, kuten suprajohtavuutta, fotonikkaa, ioniloukkuja tai neutraaleja atomeja. Kvanttilaskennan kehittäminen vaatii paitsi uudenlaista tekniikkaa myös täysin uuden ohjelmistoarkkitehtuurin. Kvanttitietokoneissa informaatiota käsitellään kvanttibittien, kubittien, avulla, joiden todellinen tila on tiettyjen todennäköisyyksien summa, ei siis binäärisesti vain 1 tai 0. Tämän vuoksi eri teknologisiin alustoihin nojaavien kvanttitietokoneiden informaation käsittelyyn tarvitaan kyseiseen tekniikka-arkkitehtuuriin soveltuvaa ei-binääristä (eli ei-klassista) konekieltä.

Kvanttilaskennan ennakoitaan mahdollistavan jopa monituhattokertaisen ja erikoistuneen laskentatehon nykyisiin supertietokoneisiin verrattuna ja sillä voidaan saavuttaa läpimurtoja eri aloilla, kuten logistiikassa, energia- ja kemiantollisuudessa, rahoitusalueella sekä ilmailussa. Erityisesti kvanttietokoneille soveltuvia ongelmia ovat molekyyli- ja materiaalimallinnus sekä erilaiset optimointiongelmat. Koneoppimisessa kvanttilaskenta tehostaa suurten opetusaineistojen käsittelyä. Kvanttisimulointi voi nopeuttaa uusien materiaalien ja lääkkeiden kehitystä tehostamalla potentiaalisten lähtömolekyylien tunnistamista. Kvanttilaskenta voi auttaa kehittämään ratkaisuja suuriin yhteiskunnallisiin haasteisiin, esim. terveydenhuollossa, energiantuotannossa ja ilmastomuutoksen hillinnässä.

Kvanttihyötyä, eli kvanttilaskennan suurempaa tehoa suhteessa klassisen laskennan tehoon, ei ole kuitenkaan vielä osoitettu millään sovellusalueella. Jotta kvanttilaskennan koko potentiaali murrosteknologiana voi toteutua, keskeisin haaste – skaalautuva virheenkorjaus – on ratkaistava. Kvanttietokoneet ovat yhä kehitysvaiheessa, ja niiden herkkyys ympäristön häiriöille aiheuttaa virheitä laskennassa, mikä vaatii tehokkaita ratkaisuja luotettavan toiminnan takaamiseksi. Teknologia on kuitenkin edennyt merkittävästi, ja ensimmäisen konkreettisen kvanttihyödyn odotetaan toteutuvan lähiaikoina. Tämän mahdollistaa virheenlievennysalgoritmit, jotka vähentävät kvanttijärjestelmien virheiden vaikutuksia perinteistä suurteholaskentaa hyödyntämällä. Tällainen hybridilähestymistapa avaa tien kvanttilaskennan ensimmäisiin käytännön sovelluksiin ja antaa mahdollisuuden ratkaista ongelmia, jotka ovat perinteisille laskentamenetelmille ylivoimaisia.

Kvanttihavainnointi (quantum sensing) ja -mittaus (quantum metrology):

Kvanttitekologioihin perustuvien antureiden ennakoitaan mahdollistavan jopa kertaluokkia nykyteknologioita suurempaa tarkkuutta fyysikaalisten suureiden, kuten esimerkiksi heikkojen magneetti- ja sähkökenttien, lämpötilan, paineen ja kemiallisen koostumuksen mittaamiseen. Näitä ominaisuuksia voidaan hyödyntää monitorointi-, kuvantamis-, navigointi- ja tunnistuskäyttöön. Sovellusalueet ulottuvat perinteisestä valmistavasta teollisuudesta, ilmailu- ja puolustusteollisuuteen, mikroelektronikka- ja puolijohdeteollisuudesta ympäristön monitorointiin. Tunnettuja kvanttimittaussovelluksia ovat atomikellot, magnetometrit, gravimetrit, interferometrit, lämpömittarit, kemialliset sensorit sekä erilaiset lääketieteelliset kuvantamislaitteet. Mikroelektronikkaan perustuvien teknologioiden kanssa kvanttihavainnointia

voidaan hyödyntää esimerkiksi sirusuunnittelussa ja tuotantoprosessien laadunvarmistuksessa.

Kvanttaviestintä (Quantum communication): Kvanttaviestinnässä hyödynnetään kvanttifysiikan lakeja erittäin turvallisen tiedonsiirron mahdollistamiseksi. Kvanttiavaintenjako (Quantum Key Distribution, QKD) esimerkiksi mahdollistaa viestintäkanavan salakuunteluyritysten havaitsemisen, mikä turvaa rahaliikennettä, sotilasviestintää ja suojaa henkilötietoja. Kvanttaviestintä luo pohjan myös maailmanlaajuiselle kvanttietokoneiden tai kvanttiantureiden hajautetulle viestintäverkolle, kvantti-internetille. Tämä kietoutuu yhteen kvanttilaskennan ja kvanttihavainnoinnin kanssa – näiden alueiden sovellukset tehostuvat entisestään hajautetun kvanttiverkon kautta. Kvantti-internet mahdollistaa esimerkiksi rinnakkaistetun kvanttilaskennan myötä vielä laajempien laskennallisten ongelmien ratkaisun kuin yksittäisillä kvanttietokoneilla. Kvanttiantureiden liittäminen yhteen kvantti-internetin kautta voi avata mullistavia sovelluksia laajan, hajautetun kvanttianturiverkon tarkkuusmittauksille.

Investointikohteena kvanttilaskenta (kvanttietokoneet, algoritmit, ohjelmistot) on suurin alue maailmanlaajuisesti. Vuonna 2023 startupien \$ 1,4 miljardin investoinneista yli 90 prosenttia kohdistui kvanttilaskentaan¹. Liiketoimintapotentiaalin arvioidaan olevan suurinta myös kvanttilaskennassa. Vuonna 2035 kvanttiteknologioiden markkinan on arvioitu olevan \$ 40 mrd - \$ 90 mrd, mistä kvanttilaskennan osuus 70–80 prosenttia. Kvanttilaskennan arvoketjun sisällä investoinneista suurin osa kohdistuu laitteistojen kehitykseen ja reilu viidennes ohjelmistoihin ja palveluihin. Teknologian kypsyessä ohjelmistojen ja palvelujen osuus tulee kasvamaan.

Suurin taloudellinen hyöty tulee kvanttilaskennan sovellusten tuottamien liikevaihdon kasvun ja kustannussäästöjen kautta. Vuonna 2035 kvanttilaskennan potentiaalinen taloudellinen hyöty kemianteollisuudessa, biotieteissä, rahoituksessa sekä logistiikassa arvioidaan olevan 20–30 kertainen kvanttilaskennan liikevaihtoon nähden.

Panostamalla laajasti kvanttiteknologiaan – sisältäen laskennan, anturoinnin ja tietoliikenteen - ja sitä hyödyntävään TKI-toimintaan teollisuuden aloilla, joissa

¹ McKinsey Quantum Technology Monitor (April 2024)

Suomessa on olemassa olevaa vahvaa osaamista, voimme tukea Suomen teollisuuden uudistumista ja menestymistä kansainvälisessä kilpailussa.

3 Tilannekuva - Suomi alan pioneeri ja haluttu yhteistyökumppani

3.1 Suomeen on syntynyt maan kokoon nähden merkittävä kvanttiteknologia-ala

Suomeen on kehittynyt maan kokoon suhteutettuna vahva kvanttitieteen ja -teknologian tutkimus- ja innovaatioyhteisö. Suomi on yksi harvoista maista, jotka pystyvät tuottamaan kokonaisia kvanttietokoneita, ja toimitusketjut ovat vahvat. Kryogeniikkateollisuus on noussut globaalisti johtavaan asemaan. Suomella on merkittävä asema suprajohavuuteen perustuvassa kvanttiteknologiassa, ja algoritmikehitys on edennyt hyvin. Lisäksi meillä on tärkeä rooli eurooppalaisessa yhteistyössä, ja osaaminen on noteerattu kansainvälisissä yhteistyöelimissä. Olimme esimerkiksi Euroopassa ensimmäisinä luomassa hybridilaskentaympäristön, joka yhdistää kvantti- ja supertietokoneen. Suomi on luotettu kumppani sekä eurooppalaisille että Euroopan ulkopuolisille kumppaneille, jotka jakavat Suomelle keskeiset arvot ja joille kvanttiteknologia on kriittisen tärkeä ala. Nykyinen ekosysteemi ja asema on saavutettu suhteellisen vaatimattomin panostuksin. Alan merkityksen kasvaessa maailmanlaajuisesti sekä turvallisuuden että talouden saralla, on tämän päälle hyvä rakentaa.

Yli 50 vuoden tutkimustoiminta on luonut perustan vahvalle osaamiselle ja yhteistyölle perustutkimuksen, soveltavan tutkimuksen ja teollisuuden kesken, minkä tuloksena syntyy myös startup-yrityksiä. Suomessa on vahva tutkimusperinne mm. kvanttiteknologian kannalta tärkeässä kylmäfysiikassa, suprajohtavissa teknologioissa, ftoniikassa sekä kvanttialgoritmien kehityksessä². Merkittävää osaamista on myös sirusuunnittelussa, mikro- ja nanoelektromekaanisissa järjestelmissä (MEMS/NEMS) ja anturiteknologioissa, optoelektronikassa sekä kehittyneiden puolijohdemateriaalien valmistuksessa³.

² <https://instituteq.fi/about/>

³ <https://teknologiateollisuus.fi/wp-content/uploads/2024/09/Chips-from-the-North-Semiconductor-Strategy-for-Finland.pdf>

Akateemisen tutkimuksen korkeasta tasosta kertoo Suomen menestyminen EU:n ohjelmissa ja vahva osallistuminen eurooppalaiseen kvanttialan koordinaatioon. Myös korkeaan tieteelliseen laatuun perustuvaa kansallista kilpailtua rahoitusta on kohdentunut merkittävästi alalle. Vuonna 2023 Suomen kvanttiteknologia-alaan liittyvän tutkimustoiminnan vuositason kokonaisvolyymien yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa arvioitiin olevan 52 milj. € (pois lukien investoinnit tutkimusinfrastruktuuriin), josta vajaa puolet oli kilpailtua rahoitusta.

Alan keskeisimpiä osaamiskeskittymiä on kvanttiteknologian kansallisen huippuyksikön⁴ lisäksi mm. vuodesta 2024 alkaen toiminut kansallinen kvanttilippulaiva⁵ sekä ftoniikka⁶- ja AI⁷-lippulaivat, joissa tehdään osin myös kvanttialaa tukevaa tutkimusta ja kehittämistä. Koulutusjärjestelmä tuottaa tällä hetkellä alan tarvitsemia asiantuntijoita teollisuudelle ja korkeakouluille mm. fysiikan, matematiikan, tietotekniikan ja sähkötekniikan koulutusohjelmien kautta. Vuonna 2022 yliopistoissa ja VTT:llä työskenteli 550 alan osaajaa. Yliopistojen välinen yhteistyö sekä koulutukseen kytkeytyvä yritys yhteistyö on aktivoitunut vuodesta 2024 alkaen erityisesti kansallisen kvanttiteknologian tohtorikoulutus-pilotin⁸ myötä. Alan toimijat käynnistivät jo vuonna 2021 kansallisen yhteistyöliittymän (InstituteQ⁹), joka pyrkii vahvistamaan alan koordinaatiota ja edunvalvontaa, ja jonka kautta edellä mainitut lippulaiva, tohtoripilotti sekä kvanttiyhteisön näkemys alan kasvua tukevista kehittämistoimista, kansallinen kvanttiagenda¹⁰ on valmisteltu.

Valtio on investoinut kvanttitieteen ja -teknologian tutkimukseen ja tutkimusinfrastruktuurin pitkäjänteiseen kehittämiseen jo 1990-luvun puolivälistä alkaen, erityisesti Suomen Akatemian huippuyksikkö- ja infrastruktuurirahoituksella. Liitteessä 1 kuvataan valtion panostuksia kvanttiteknologia-alalle. Viime vuosina valtio on osoittanut merkittävää lisärahoitusta erityisesti kvanttitietokoneisiin, suurteholaskentaan sekä kvanttiteknologioiden pilotointi- ja kehitysympäristöihin. Suomen ensimmäinen, viisikubitinen kvanttitietokone otettiin käyttöön vuonna 2022 ja 20-kubitinen vuonna 2023. Viisikubitinen Helmi-kvanttikone on

⁴ <https://qtf.fi/>

⁵ <https://instituteq.fi/fqf/>

⁶ <https://prein.fi/fi/>

⁷ <https://fcai.fi/>

⁸ <https://okm.fi/tohtorikoulutuspilotti>, <https://instituteq.fi/qdoc/>

⁹ <https://instituteq.fi/>

¹⁰ <https://instituteq.fi/finnish-quantum-agenda/>

yhdistetty CSC:n operoimaan yhteiseurooppalaiseen LUMI-supertietokoneeseen¹¹. Parhaillaan VTT kehittää 50-kubitista kvanttietokonetta. Koneiden hankinta on tehty innovaatiokumppanuuden kautta kvanttietokoneita valmistavan suomalaisen yrityksen, IQM:n, kanssa. 300-kubitisen kvanttietokoneen kehitykseen tavoitteena on valita toimittaja vuoden 2025 alkupuolella. Aalto-yliopisto on hankkimassa erillistä 20-kubitista kvanttietokonetta julkisella rahoituksella. Nämä VTT:n ja Aalto-yliopiston kvanttietokoneet operoivat osana Suomen kvanttilaskennan (FiQCI)-infrastruktuuria¹². Suomi on Euroopan johdava maa suprajohtavien kvanttietokoneiden ja komponenttien tutkimuksessa ja kehityksessä sekä tutkimuslaitoksissa että yrityssectorilla.

Suomella on myös useita muita korkean tason yhteiskäyttöisiä infrastruktuureja, jotka tarjoavat erinomaiset puitteet alan tutkimus- ja kehittämistoiminnalle vahvistaen Suomen asemaa innovaatioiden edistäjänä, esimerkiksi: OtaNano¹³, joka sisältää Micronova-puhdastilat, kylmälaboratorion ja nanomikroskopiakeskuksen, sekä Jyväskylän yliopiston Nanotiedekeskuksen¹⁴ tutkimusinfrastruktuurit ja fotonikkaan keskittyvä FinnLight-infrastruktuuri¹⁵. Kvanttinova –pilotointi- ja kehittämiskeskukseen¹⁶ on suunnitteilla uusia puolijohteiden pilottilinjouja EU:n, valtion, VTT:n, Espoon kaupungin sekä puolijohdeteollisuuden yhteisrahoituksella.

Mahdollistavat teknologiat, kuten kryogeeniset mittausjärjestelmät, kryojäähdyttimet ja laserit, sekä suprajohtavat kvanttietokoneet ja kvanttietokoneiden laitteistot hallitsevat tällä hetkellä kvanttiteknologia-alan arvoketjua Suomessa. Kolme neljäsosaa investoinneista on suuntautunut laitekehitykseen. Algoritmi-kehityksellä on erityisen tärkeä rooli kvanttiteknologioiden kaupallistamisessa, sillä tehokkaat algoritmit mahdollistavat laitteistojen varhaisen käytön sovelluskohteissa ja siten arvonnisan kasvattamisen. Kvanttityödyn osoittaminen, joka on odotettavissa lähivuosina, tulee siirtämään alan arvoketjua voimakkaammin ohjelmistopuolelle. Arvioidaan, että vuonna 2030 laiteinvestointien osuus putoaa alle puoleen kaikista investoinneista.¹⁷ Ennen kvanttilaskennan työdyn

¹¹ <https://www.lumi-supercomputer.eu/>

¹² <https://fiqci.fi/about>

¹³ <http://otanano.fi/>

¹⁴ <https://www.jyu.fi/science/en/nanoscience-center>

¹⁵ <https://finnlight.fi/>

¹⁶ <https://www.enterespoo.fi/innovation-ecosystem/kvanttinova>

¹⁷ Quantum Market Insider

osoittamista sovelluskohteissa ala on julkisrahoitteisen tutkimus- ja kehittämistoiminnan hallitsema.

Suomalaiset kvanttilaskennan ohjelmistoyritykset ovat edelläkävijöitä tehokkaiden kvanttialgoritmien kehittämisessä mm. molekyylihallinnuksessa ja fysiikan ilmiöiden simuloinnissa. Nämä yritykset kuuluvat globaaliin eturintamaan ja luovat pohjaa kvanttilaskennan kilpailuedulle laitteistojen kehittyessä. Kvanttiohjelmistokenttä on laaja ja sillä on synergioita perinteisen ohjelmistopuolen osaamisen, ml. tekoälykehityksen ja suurteholaskennan, kanssa. Algoritmi- ja ohjelmistokehityksessä pääomien tarve on pienempi kuin laitteistokehityksessä, mikä on hyvä tunnistaa mahdollisuutena vähemmän pääomavaltaiselle maalle. Business Finlandin kvanttilaskentakampanja on vuodesta 2023 alkaen aktivoinut tutkijoita ja yrityksiä kehittämään kvanttilaskenta-algoritmeja, ohjelmistoja ja sovelluksia. Euroopan suurteholaskennan yhteisyrittäjä EuroHPC:n päätös sijoittaa seuraavan sukupolven supertietokone (LUMI-AI) sekä tekoälykeskus (AI Factory) Kajaaniin CSC:n datakeskukseen vahvistaa Suomen asemaa hybridilaskennan kehityksessä. LUMI AI Factory tulee sisältämään tehokkaan kvanttilaskenta-alustan, nostaa kokonaisuuden maailman johtavaksi suurteholaskentaa, tekoälyä ja kvanttilaskentaa yhdistäväksi laskentainfrastruktuuriksi.

Kvanttianturit ja mittausteknologiat erottuvat Suomessa historiallisesti vahvana osaamisalueena. Ultraherkkien antureiden lähitulevaisuuden kehitysalueita, joissa Suomella on erityisiä tutkimuksellisia ja teknologisia vahvuuksia, ovat magnetometrit, mikroaaltotaajuuden yksifotonidetektorit ja -laskurit sekä matalien lämpötilojen mittalaitteet ja säteilymittarit. Pidemmällä aikavälillä merkittäviä osaamisalueita ovat myös uudet, ultraherkät voima- ja gravitaatiomittarit, mikroaalto- ja optisten taajuuksien suprajohtavat magnetometrit, pimeän aineen detektorit sekä faasitransitiodetektorit. Kvanttimittaamisen sovellusalueet ulottuvat lääketieteellisestä kuvantamisesta puolustusteknologioihin (mm. häive- ja tunnistusteknologiat) ja biosensoreista kvanttilaskentaan (mm. yksifotonilaskurit).

Kuten taulukosta 1 havaitaan, maan kokoon nähden Suomen kvanttialan liiketoimintaekosysteemi on kooltaan merkittävä.

Taulukko 1. Kvanttitekologia-alan liiketoimintaekosysteemin koko eräissä vertailumaissa (lähteet: Crunchbase, Pitchbook, O. Ezratty, McKinsey State of Quantum Technology Report 2024)

Maa	Yritykset (lkm)	Liikevaihto M(€) (täydentyy)	Työntekijät	Start-up rahoitus* (M USD)	Myönnetyt patentit**	Patentti-hakemukset**	Myönnetyt ja haetut patentit***
Suomi	11		500	240	23	22	72
Ruotsi	5		500+*	<10	16	18	48
Tanska	5		400	24	21	14	35
Saksa	32		1000+	360	145	103	331
Hollanti	14		600+	85	45	24	91

*kumulatiivinen rahoitus, **ilman ulkomaisia yrityksiä, ***ulkomaisten yritysten kanssa

Suomi on hyvässä asemassa – kvanttitekologian ensimmäisiä käyttäjiä ja hyödyntäjiä on sekä kvanttilaite- että kvanttiohjelmistoaloilla. Panostamalla laajasti kvanttitekologiaan – sisältäen laskennan, anturoinnin ja tietoliikenteen – voimme luoda Suomeen merkittävää uutta teollisuutta. Panostamalla kvanttitekologian hyödyntämiseen tähtäävään TKI-toimintaan teollisuuden aloilla, joissa Suomessa on olemassa olevaa vahvaa osaamista, voimme tukea Suomen teollisuuden uudistumista ja menestymistä kansainvälisessä kilpailussa.

3.2 Kansainvälisessä kilpailussa pienellä maalla on omat vaikeutensa

Alan kansainvälisen merkityksen kasvaessa myös panostukset kasvavat. USA:n National Quantum Initiative Act vuonna 2018 käynnisti viimeaikaisen kehityksen, jota muut ovat kukin omista lähtökohdistaan pyrkineet seuraamaan.¹⁸ Tavoitteena on presidentinhallinnon koordinoima koko liittovaltion hallinnon kattava resurssien käyttöä yhdistävä kvantti-informaatiopolitiikka (QIS). Myös EU on aktivoitunut ja yksittäiset jäsenmaat Saksan ja Ranskan johdolla investoivat merkittävästi. Pienelle maalle resursointi kriittisen massan aikaansaamiseksi ei

¹⁸ <https://www.quantum.gov/about/>

ole yhtä helppoa kuin suurille. Kehityksessä mukana pysyminen vaatii kansallista tahtotilaa ja kykyä saada aikaan ”vähemmällä enemmän”. Heikkoudet tulisi tunnistaa ja kääntää ne parhain päin.

Vaikka kvanttialaan on investoitu kymmeniä vuosia, kohdennettu kansallinen kvanttirahoitus on ollut Suomessa rajallista eikä alaan kohdennettuja pitkän aikavälin rahoitusohjelmia ole ollut ennen Suomen Akatemian rahoittamaa kvanttilippulaivaa. Tutkimusrahoitus on merkittävästi vähäisempää kuin esimerkiksi verrokkimaissa Ruotsissa ja Hollannissa¹⁹, ja rahoitus on pirstaloitunut moniin pieniin projekteihin. Merkittävä osa alan julkisesta rahoituksesta on tullut ei-kohdistuneista hauista, joiden tarkoitus on uudistaa tutkimusta, lisätä osaamista ja edistää nuorten tutkijoiden uria. Tämän ns. bottom up -rahoituksen lisäksi tulee tukea pitkäjänteistä ja kunnianhimoista kvanttiteknologian TKI-toimintaa, edistää teknologian laaja-alaista hyödyntämistä sekä käyttöönottoa loppukäyttäjärityksissä.

Suomessa julkinen rahoitus on pitkälti kohdistunut resurssi-intensiiviseen laitteistojen kehitykseen sekä TKI-toimintaa mahdollistavien infrastruktuurien rahoitukseen. Julkiset investoinnit kvanttilaskennan algoritmi- ja ohjelmistokehitykseen ovat toistaiseksi olleet pieniä. Julkisen ja yksityisen rahoituksen niukkuus ja lyhytjänteisyys hidastavat kvanttialan yritysten kasvua ja innovaatioiden kehittämistä. Ennen kvanttilaskennan hyödyn osoittamista sovelluskohteissa, kvanttietokoneiden ja ohjelmistojen kysyntä on pääosin julkisrahoitteisten tutkimustoimijoiden varassa.

Yritysten kasvun kannalta kriittistä on löytää riittävän pitkäjänteisiä sijoittajia, jotka ovat valmiita tukemaan liiketoiminnan skaalausta myös markkinoiden hitaan kehitysvaiheen yli siihen saakka, kun teollisten toimijoiden kysyntä lähtee kasvuun. Suomessa vain harvoilla riittävän suurilla yrityksillä on resursseja ja riskinottokykyä panostaa kehitykseen, jonka tuotot ovat epävarmoja ja syntyvät pitkällä aikavälillä. Teollisuuden uudistumisen ja tuottavuuskasvun kannalta olennaista onkin se, miten teolliset loppukäyttäjät saadaan aktivoitua kvanttisovellusten ja -laskennan kehitykseen sekä toimimaan aikaisina hyödyntäjinä.

¹⁹ McKinsey Quantum Technology Monitor (April 2024)

Kvanttitekniologian osaaminen yrityksissä sekä yhteiskunnassa tulee nostaa korkeammalle tasolle. Tietoisuus uudesta tutkimuksesta, innovaatioista ja niiden mahdollisuuksista on vähäistä. Alaan erikoistuneita koulutusohjelmia on vähän ja niiden painopiste on yliopistoissa koulutetun työvoiman tarpeessa. Alan kehitystä tukevia ja osaamista kasvattavia sisältöjä ei juuri ole tarjolla ammatillisen keskiasteen ja korkea-asteen koulutuksissa. Yrityksille suunnattujen orientoivien koulutusten määrä on vähäistä. Kansallinen yhteistyö ja koordinaatio alan koulutuksessa ja tutkimuksessa on riittämätöntä. Kvanttilaskennan ohjelmisto- ja sovellusopetus on ohutta ja sen tarjonta painottuu pääasiassa alkeiskursseihin. Osaamisen laaja-alaisuus (fysiikka, matematiikka, kemia, materiaalitiede, datatieteet, tekoäly, ohjelmistotekniikka ja tietojenkäsittely, puolijohdeteknologiat, systeemi-integraatio jne.) sekä eri koulutustasojen läpileikkävyys on kriittinen tekijä pienelle kansakunnalle. Myös osaajien saatavuus on pullonkaula, kuten myös asiantuntijoiden pysyvyys.

Suomi ei pienenä maana pysty kilpailemaan valtioneuilla. Lupaavimmat yritykset voivat siirtyä ulkomaalaiseen omistukseen, mikäli kotimainen rahoitus ei riitä tukemaan niiden kasvua. On olemassa myös kvanttitalven riski. Ilman konkreettisia todisteita kvanttitekniologian hyödyistä kiinnostus ja investoinnit saattavat hiipua. Resurssit tulisi osata keskittää toimintoihin, jotka edesauttavat kokonaisvaltaisesti kvanttihyödyn saavuttamista sekä tämän kehitysvaiheen jälkeisten kaupallisten mahdollisuuksien hyödyntämistä.

Kvanttitekniologian käyttöön Suomen etujen vastaisesti liittyy merkittäviä geopolittisia ja turvallisuusriskejä. Tehokkaan kvanttilaskennan avulla on mahdollista murtaa laajasti käytetyt julkisen avaimen menetelmiin perustuvat salausratkaisut, joita käytetään Internet-protokollista pankkipalveluihin sekä organisaatioiden ja yksilöiden väliseen viestintään.

Suomi on jäänyt verrokkimaistaan jälkeen salaustekniologioiden tuotteistamisessa ja kaupallistamisessa. Kiriäkseen verrokkimaitaan Suomella on edellytyksiä parantaa tuotearviointien saatavuutta ja elinkeinoelämän toimintaedelly-

tyksiä lainsäädäntöä tarkentamalla. Suomi tulee rakentamaan kansallisen salausteknologisen laboratorion ja laajentaa salausteknologioiden koulutusohjelmaa ja muuta osaamisen kehittämistä.²⁰

Geopoliittisia ja turvallisuusriskejä voidaan tällä hetkellä tietyissä rajoissa hallita vientivalvonnalla ja yritysostojen seurannalla. Geopoliittisten blokkien muodostumisen takia tulevaisuudessa on entistä vaikeampaa luoda kansainvälisiä, kaikkia sitovia sääntöjä. Sääntely-ympäristön pirstaloituminen voi vaikeuttaa yritysten toimintaa, ja yhdenmukainen lähestymistapa sekä EU:ssa että samanmielisten maiden kesken muun muassa vientivalvonnassa on alan toimijoiden etu.

3.3 Suomen on tunnistettava ja hyödynnettävä mahdollisuutensa

Suomalaiset ovat aiemminkin onnistuneet oivaltamaan uusien teknologioiden mahdollisuudet. Kvanttitekniikat tarjoavat nyt niitä. Suomalaiset ovat historiallisesti osoittaneet kykynsä tunnistaa ja hyödyntää uusien teknologioiden tarjoamat mahdollisuudet. 2020-luvulla kvanttitekniikat tarjoavat tällaisen lupaan tilaisuuden. Vaikka emme osaa kaikkea ennakoita, on selvää, että kvanttitaso- ilmiöiden valjastamisen edetessä aukeavat uudet, laajat sovellusalueet. Kvanttilaskenta-, kommunikaatio- ja anturitekniikoiden sovellukset ovat jo nyt näkyvissä, mutta ne eivät todennäköisesti jää ainoiksi.

Suomen keskeinen kilpailuetu on hyvin toimiva kansallinen ekosysteemi, jossa yhteistyö korkeakoulujen, teollisuuden, päättäjien ja rahoittajien välillä toimii moniin muihin maihin verrattuna hyvin. Alan toimijoiden parissa on innostusta kehittämiseen. Niukemminkin resursseilla voidaan tavoitteellisesti ja riittävän koordinoitusti toimien saada tuloksia aikaiseksi.

Kvanttitekniikoiden ja niiden sovellusten tutkimukseen ja kehittämiseen tarvitaan resursseja ja niihin kannattaa panostaa nyt. Tutkimus- ja innovaationeuvoston strategisten valintojen tunnistamisprosessissa olisi aiheellista kiinnittää

²⁰ Valtioneuvoston puolustusselonteko, Kyberturvallisuusstrategian toimeenpanosuunnitelma

huomiota alan mahdollisuuksiin. Julkisten ja yksityisten rahoittajien sitoutuminen kasvuun pitkäjänteisesti voi mahdollistaa kansainvälisesti kilpailukykyisen kvanttiteknologian keskittymän rakentumisen Suomeen. Valtio on sitoutunut kasvattamaan t&k-rahoitusta pitkäjänteisesti, mikä antaa mahdollisuuden myös kohdentaa t&k-rahoitusta valittujen osaamisalojen pitkäjänteiseen kasvattamiseen.

Julkinen valta voi harkitusti panostaa myös kaupallistamista tukevaan innovaatorahoitukseen tilanteessa, jossa markkinaosuuksia ollaan jakamassa. Investoimalla ja mahdollistamalla pääsyn korkeatasoiseen kotimaiseen ja kansainväliseen yhteiskäyttöiseen TKI-ympäristöön valtio voi mahdollistaa pienten yritysten toimimisen ja liiketoiminnan aloituksen ilman kalliita investointeja. Tällaiset avoimen innovaation toimivat ekosysteemit ovat maailmalla harvinaisuus. Suomessa tällaisia infrastruktuureja ovat Micronovan puhdistilat laitteiston ja komponenttien kehitykseen ja kvanttietokoneet algoritmikehitykseen.

Yritysten globaali menestys edellyttää suuria investointeja. Alan kehittyessä ja ratkaisujen skaalautuessa yritysten liiketoimintamenestys edellyttää onnistumista kansainvälisessä pääomakilpailussa. Julkiset riskirahoittajat voivat edistää pitkäjänteisen kasvurahoituksen saatavuutta jakamalla riskiä yksityisten toimijoiden kanssa.

Kvanttiteknologia-alalla on jatkuva niukkuus parhaista osaajista. Toimivat, avoimet ekosysteemit houkuttelevat juuri heitä. Tohtoreiden lisäksi tarvetta on niin maisterikoulutuksen saaneille, DI/AMK-insinööreille, kuin mikromekaniikan ja elektroniikan osaajille, koneistuksen ammattilaisille, teknisille asiantuntijoille, teknisille myyjille, asiakkuuspäälliköille, sekä liiketoiminnan johtajille. Kvanttiteknologiatietoisuus ja -osaaminen jo valmistumisvaiheessa tulisi olla tavoitteena.

Jatkuvan oppimisen ja täydennyskoulutuksen kanavat ovat Suomessa olemassa ja hyödynnettävissä. Uusien opetustapojen ja -sisältöjen tuominen alemmille koulutusasteille on mahdollista, sillä aineenopettajien osaaminen on yleisesti ottaen korkeatasoista. Korkea-asteen koulutuksen rakenteita tulee tarkastella vastaavasti. Suomella on mahdollisuus hyödyntää pienen maan ketteryyttä monella saralla, esimerkiksi uudelleen kouluttamalla nopeasti osaajia kvanttille, ja tehdä koulutuksesta kansainvälinen kilpailuetu. Yhdenmukainen lä-

hestymistapa myös tutkimusturvallisuudessa on alan toimijoiden etu ja edellytys kansainväliselle yhteistyölle akateemisessa tutkimuksessa ja luotettavien arvoverkostojen rakentamisessa.

Suomessa valmistetaan jo nyt laadukkaita komponentteja, joilla on kansainvälistä kysyntää. Suomella on hyvät mahdollisuudet ottaa merkittävä asema kvanttilaskennassa, kvanttiturvallisessa tietoliikenteessä sekä kvanttimitaus-tekniologioita hyödyntävissä sovelluksissa. NATO-liittolaisten kautta voi avautua markkinakanava puolustusalan ratkaisuille. Puolustusallalla markkina on toistaiseksi kasvava ja avautumassa uusille kaksikäyttötuotteita tarjoaville toimijoille.

Suomessa on ohjelmistoalan kärkiosaamista ja siten mahdollisuus olla vahvasti mukana myös kehityksen eri osa-alueilla – laskentasovelluksissa, sovellusten kehittämistä ja operointia tukevissa väli- (middleware) sekä laskennan laatua parantavissa tukiohjelmistoissa (mm. virheenkorjaus). Sovellukset ja tukiohjelmistot ovat hyvin kaupallistettavissa. Kvanttilaskennan menestys riippuu siitä, kuinka tehokkaasti ohjelmistot pystyvät hyödyntämään kvanttilaitteistoa sekä mahdollistamaan tehokkaan hybridilaskennan, jossa yhdistyy kvanttilaskenta, suurteholaskenta ja tekoäly. Kvanttilaskentaosaajien ja tekoälytutkijoiden yhteistyön vahvistaminen voi nopeuttaa suomalaisten kvanttialgoritmi- ja ohjelmistoyritysten kehitystä. Alan kasvun kannalta oleellista on toimijoiden pääsy globaalisti huipputasoihin kansainvälisiin laskentainfrastruktuureihin.

Vaikka suuri osa huomiosta kohdistuu tällä hetkellä kvanttilaskentaan, Suomessa on vahvaa osaamista myös kommunikaatio- sekä mittaus- ja havainnointitekniologioissa. Suomessa on esimerkiksi lääketieteelliseen aivokuvantamiseen käytettävien magneettikenttäanturien toimitusketju. On todennäköistä, että näille aloille nousee uusia kaupallisia mahdollisuuksia.

Kvanttiturvallisten salausteknologioiden käyttöönotto ja kriittisen datan suojaaminen edelläkävijänä EU-maiden joukossa lisäävät Suomen luotettavuutta yhteistyökumppanina. Kvanttiturvallinen tietoliikenneinfrastruktuuri mahdollistaa tätä vaativien IT-ratkaisujen pystyttämisen Suomeen ja niissä tapahtuvan arka-

luontoisen datan käsittelyn sekä laite-, ohjelmisto ja palveluratkaisujen tuotekehityksen ja viennin. Suomen kyberturvallisuusstrategiassa 2024–2035²¹ on määritelty tavoitteet ja strategiset kehittämistoimet, joilla vastataan kvanttilaskennan kehittymisen mukanaan tuomiin turvallisuusuhkiin. Suomi on marraskuussa 2024 yhdessä 17 muun EU:n jäsenmaan kanssa julkistanut yhteisen lausuman sitoutumisestaan kvanttiturvallisten salausten menetelmien (PQC) käyttöönottoon nykyisiin salausten menetelmiin yhdistettynä, varautuen myös ”store now, decrypt later” -hyökkäyksiin. Lausumassa suositellaan käynnistämään valmistautumisen välittömästi uhkien ja suojattavien kohteiden analysoinnilla, tietokartan valmistelulla ja siirtymän resurssoinnin suunnittelulla.²²

Kvanttilaskennan kestävien salaustuotteiden kasvava kysyntä on myös liiketoimintamahdollisuus, mikä peräänkuuluttaa panostuksia tutkimukseen, kehitykseen ja innovointiin, sekä aktiivista osallistumista alan standardisointiin. Yhdysvaltain standardisointi- ja teknologiainstituutti (NIST) on julkaissut ensimmäiset kvanttiturvalliset salausalgoritmit vuonna 2024 ja alan kehityksen ennakoimaan olevan nopeaa.

Standardien kehityksessä mukana olevilla on parhaat mahdollisuudet menestyä kaupallisessa kilpailussa ja siksi suomalaistoimijoiden aktiivinen osallistuminen EU- ja kansainvälisen tason standardointityöhön ja sääntelyyn on tärkeää. Vaikuttamisessa on pyrittävä aikaansaamaan mahdollisimman yhtäläiset mahdollisuudet eri toimijoille sekä EU-tasolla että laajemmin samanmielisten maiden keskuudessa. Suomalaisten toimijoiden osallistumista kansainväliseen yhteistyöhön on tärkeää edistää. Pienillä ja keskisuurilla yrityksillä ei välttämättä ole resursseja osallistua kansainväliseen standardointityöhön ja ennakoiwaan vaikuttamiseen, mutta kansallisen koordinoivan tahon avulla nekin voivat tuoda näkemyksiään helpommin esiin.

²¹ https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165860/VNK_2024_11.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²² https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/EN/BSI/Crypto/PQC-joint-statement.pdf?__blob=publicationFile&v=4

4 Visio 2035 ja tavoitteet – Kilpailukykyisesti kasvava, osaava ja luotettava Kvantti- Suomi

Vision mukaan kvanttiteknologia-alalla on merkittävä rooli Suomen elinkeinoelämässä vuonna 2035. Ala kasvaa globaaleja markkinoita nopeammin ja Suomi on kilpailukykyinen ja kansainvälisesti luotettava toimija. Useilla eri toimialoilla kvanttiteknologioita hyödyntämällä on saavutettu kilpailuetua ja parannettu tuottavuutta. Kuva 1 kiteyttää strategian vision, taloudelliset tavoitteet sekä tärkeimmät tekijät tavoitteiden saavuttamisen kannalta (luvussa 5 kuvatavat toimenpiteet).



Kuva 1. Suomen kvanttiteknologiastrategia kiteytettynä.

Vision tavoitteet laskettu periaatteilla: Liikevaihto kasvaa 5 % globaalien markkinoiden kasvua (25 %/v) nopeammin. Liikevaihdon suhde työpaikkoihin on oletettu pysyvän melko samana kuin v.2023. Sijoitusten arvo vuonna 2023 on keskiarvo vuosien 2022–2024 sijoituksista. Yrityksen omistuksesta myydään keskimäärin 17,5 % per rahoituskierron. 35 % yhtiöistä (= liikevaihdesta) nostaa rahoitusta 2027, 25 % vuonna 2030 ja 10 % vuonna 2035 johtuen markkinoiden kypsymisestä. Lähde: Business Finland, Finnish Quantum Agenda (2023).

Seuraavassa kuvataan tarkemmin tavoitetilaa, johon strategialla pyritään vuoteen 2035 mennessä:

Suomessa on kasvava ja globaalisti kilpailukykyinen kvanttialan teollisuus

- Kvanttitietokoneita, -antureita ja -kommunikaatiolaitteita sekä niiden komponentteja myyvät yritykset ovat kriittinen osa globaalia arvoketjua ja markkinajohtajia omilla liiketoiminta-aloillaan.
- Suomessa on maailman johtava kvanttiohjelmistoala, joka tukee ratkaisujen syntymistä kvanttilaskentaa hyödyntävissä yrityksissä.

Kvanttitekologioita hyödynnetään laaja-alaisesti ja vaikuttavasti elinkeinoelämässä ja yhteiskunnassa

- Suomen kvanttitekologiaa hyödyntävä teollisuus- ja palveluliiketoiminta on kansantaloudellisesti merkittävä. Suomessa toimivat eri alojen yritykset käyttävät kvanttitekologiaa liiketoiminnassaan globaaleina edelläkävijöinä. Tämä on synnyttänyt täysin uusia, tuottavuutta parantavia ja kilpailukykyä synnyttäviä ratkaisuja.
- Kvanttitekologioiden mahdollisuuksia hyödynnetään laajasti kansallisen turvallisuuden ja varautumisen turvaamiseksi ja puolustusteollisen perustan vahvistamiseksi. Pääsy kvantti-infrastruktuuriin ja -laskentaan vahvistaa eri toimialojen vaikuttavuutta, kuten mahdollistaa kriittisten turvallisuus- ja tilannekuvapalvelujen ajantasaisuutta ja luotettavuutta esimerkiksi äärimmäisissä säätilanteissa.

Maailman kärkiluokan tutkimus tukee kvanttialan kasvua

- Kvanttitieteen ja -tekniikan tutkimus on maailman kärkeä ja monitie- teiset yhteistyöprojektit sekä tutkijakoulutus ovat arkipäivää.
- Suomalainen kvanttiosaaminen on kansainvälisesti tunnistettua, arvostettua sekä vahvasti esillä elinkeinoelämässä ja koko yhteiskunnassa.

Suomi on luotettava kumppani kansainvälisessä yhteistyössä

- Suomi ja suomalainen kvanttialan ekosysteemi ovat luotettavia kumppaneita valitsemassaan kansainvälisessä kvanttitekniikayhteistyössä ja aktiivisesti määrittävät alan vastuullista ja kestävää kehitystä.
- Kvanttitekniikka-alan toimintojen sijoittaminen Suomeen on houkuttelevaa ennustettavan ja turvallisen toimintaympäristön takia. Tutkimus- turvallisuuden varmistamiseksi Suomessa on toimiva yhteistyö eri hallinnonalojen ja toimijatasojen välillä.

Vahva osaaminen kvanttiteknologioissa

- Kvanttialan formaali sekä uudelleen- ja täydennyskoulutus muodostavat yhtenäisen ja kattavan kokonaisuuden, jossa oppiminen etenee loogisesti eri koulutusasteiden välillä. Yritykset osallistuvat kvanttialan osajapoolin kasvattamiseen yhteistyössä yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa.
- Suomi houkuttelee kansainvälisiä osaajia maailmanluokan kvanttiekosysteemin, sekä yhteiskuntaan integroitumista ja osaajien sujuvaa liikkumista tukevan työvoima- ja maahanmuuttopolitiikan ansiosta.

Kansainvälisesti houkutteleva TKI-ympäristö

- Suomi tunnetaan osaamisestaan, infrastruktuuristaan ja toimivasta rahoitusympäristöstään parhaana TKI-ympäristönä uusille kvanttiteknologiayrityksille. Suomeen on sijoittunut useita kansainvälisiä alan yrityksiä, ja valtio on vahvasti sitoutunut tukemaan kvanttiteknologia-alan yritysten syntyä ja kasvua.
- Suomalaisen kvanttietokonekehityksen tuloksena Suomessa on maailman kärkeä oleva kvanttietokone, jossa on 1000 loogista kubittia (yli 100 000 fyysistä kubittia).
- Suurteholaskennan ja tekoälylaskennan infrastruktuuriin kytketty suomalainen kvanttilaskennan laite- ja ohjelmistoinfrastruktuuri on maailman ehdotonta kärkeä. Suomella on lisäksi sopimuksiin perustuva yhteistyöverkosto valittujen kumppanimaiden infrastruktuuri- ja kvanttilaskentapalveluiden tarjoajien kanssa, johon Suomi tarjoaa vastavuoroisesti Euroopan edistyneimmät ratkaisut esimerkiksi suprajohtavien ja piipohjaisten kvanttietokoneiden osalta.
- Suomeen on sijoitettu useita keskeisiä yhteiseurooppalaisia laite- ja systeemikehityksen infrastruktuureja esim. mittausteknologian palveluita, kvanttisirujen pilottituotannon valmistuslinjoja sekä korkean arvonlisän tuotantoyksiköitä mikroelektroniikkateknologioille, jotka tukevat kvanttiteknologioita.
- Pitkäjänteinen rahoitusmalli varmistaa, että TKI-ympäristöt ovat ajantasaisia ja kilpailukykyisiä.
- Kotimaisten kvanttilaskennan infrastruktuuri- ja ohjelmistoratkaisuiden sijoittuminen turvallisuusuhat huomioiviin ympäristöihin sekä toimijoiden luotettavuuden varmistaminen kehitys- ja järjestelmien elinkaaren aikana tuovat suomalaisille ratkaisuille kilpailuetua.

EU- ja kansainvälinen vaikuttaminen

- Samanmielisten maiden kesken muodostettu yhdenmukainen lähestymistapa teknologiaturvallisuuteen ja teknologiavuotoon liittyvien riskien hallinnassa muun muassa vientivalvonnassa on alan toimijoiden etu. Suomi osallistuu keskeisillä kansainvälisillä foorumeilla kvanttiteknologiasta käytävään keskusteluun ja on vaikuttanut kansallisia etujaan suojelemaan EU- ja kansainvälisen tason päätöksiin tuloksellisesti ja määrätietoisesti.
- Suomalais toimijat osallistuvat aktiivisesti EU- ja kansainvälisen tason standardien muodostamiseen kvanttiteknologiassa mahdollisimman laajan markkina-alueen luomiseksi suomalaisille tuotteille. Suomalais-toimijoiden työtä ohjaa kansallinen standardointistrategia, jossa kvanttiteknologia on tunnistettu keskeiseksi teknologia-alueeksi.

Riskienhallinta

- Suomi on edelläkävijämaana siirtynyt kvanttiturvallisiin salausratkaisuihin ja varautunut kvanttiteknologioiden tuomiin turvallisuushaasteisiin yhteiskunnan eri sektoreilla. Yhteiskunnan kriittisten toimintojen kannalta olennainen infrastruktuuri on suojattu ja tehty kvanttilaskennan kestäväksi.
- Uskottavan riskienhallinnan ja yhteistyön ansiosta Suomi näyttäytyy luotettavana TKI-yhteistyön kumppanina. Riskienhallinnassa käytetään tarkoituksenmukaisesti erilaisia taloudellisen turvallisuuden keinoja. Kvanttiteknologian vientivalvonta on toteutettu EU- ja samanmielisten maiden keskuudessa mahdollisimman samankaltaisesti. Tutkimuksen turvallisuutta on parannettu vahvoilla kansallisilla toimilla.
- Kansallisen turvallisuuden strategiassa kvanttiteknologia tunnistetaan yhdeksi sekä kansallista turvallisuutta toisaalta parantavaksi että sitä toisaalta uhkaavaksi murrosteknologiaksi.
- Kansallisesti eri viranomaisten kesken on jaettu tilannekuva teknologian riskeistä ja mahdollisuuksista, jotta vaikuttavaa ja mahdollistavaa kvanttiteknologiapolitiikkaa voidaan edistää määrätietoisesti. Julkisen ja yksityisen sektorin toimijoiden välillä käydään jatkuvaa vuoropuhelua, jonka avulla voidaan jakaa tietoa ja varautua paremmin geopoliittisen tilanteen muutoksiin.

5 Ehdotetut toimenpiteet vuosien 2025–2030 tavoitteiden toteuttamiseksi

Edellä kuvatun vision toteutuminen edellyttää tutkimus- ja koulutusorganisaatioiden, yritysten, teollisuuden, edunvalvontaorganisaatioiden, rahoittajien ja lainsäätäjien välistä yhteistyötä. Julkisilla toimenpiteillä tulee kannustaa kunnianhimoiseen TKI-toimintaan ja uusien teknologioiden käyttöönottoon.

Strategian perimmäisenä tavoitteena on suomalaisen kvanttiteknologiaekosysteemin kaupallinen ja tieteellinen menestys ja sitä kautta laaja yhteiskunnallinen vaikuttavuus. Markkina on globaali ja tavoitteena tulee olla globaali kilpailukyky. Viime kädessä onnistumisesta vastaavat alan yritykset. Tarkastelujaksolla markkinatilanne kehittyy ja uusia syntyviä markkinoita jaetaan. Vain globaalisti kilpailukykyinen toimija menestyy. Tässä esikaupallisessa vaiheessa julkisen sektorin toimilla on tavanomaista suurempi rooli teknologioiden kehittämisen, käyttöönoton ja soveltamisen mahdollistajana.

Osaamisen kehittämistä tavoitellaan laaja-alaisesti. Työvoiman saatavuus on alalla keskeinen haaste. Valtiot ja yritykset kilpailevat kansainvälisesti parhaista osaajista, joista on lähtökohtaisesti uusien kriittisten teknologioiden tapauksessa aina pula.

Seuraavassa esitämme kahdeksan toimenpidekokonaisuutta, joita ehdotamme käynnistettäväksi vuosien 2025 ja 2026 aikana. Ehdotamme toimenpiteille välitavoitteita, joita seurataan tulevina vuosina, jotta näemme, että olemme oikealla polulla vuoden 2035 vision saavuttamiseksi. Tulevina vuosina tullaan tarvitsemaan vielä muita toimenpiteitä ehdotettujen lisäksi, mutta nämä pitää päättää myöhemmin saavutettujen tulosten ja muuttuneen markkinatilanteen ymmärryksen pohjalta.

5.1 Kvanttiosaamiskeskus

Käynnistetään verkostomainen Kvanttiosaamiskeskus, joka mahdollistaa kvanttitekniikan oppimiseen liittyvien aktiviteettien kansallisen koordinoinnin eli eri toimijoiden tuottaman opetuksen ja koulutuksen mahdollisimman tehokkaan ja harmonisen yhteensovittamisen, yhteisen suunnittelun ja kehittämisen, sekä ohjaamisen ja neuvonnan, yhteydenpidon, seurannan ja tiedonvälityksen. Koordinoinnissa otetaan huomioon opintopolkujen eri vaiheet ja tasot: perusopetus, toisen asteen opetus, ammatillinen opetus sekä korkeakoulut. Monipuolisten ja pedagogisesti linjakkaiden opintopolkujen päämääränä on tuottaa riittävästi osaajia kvanttialalle. Lisäksi keskus tukee täydennyskoulutusmoduulien kehittämistä eri koulutusasteiden opettajille, julkisille toimijoille sekä yrityksille kansallisella tasolla. Kvanttiosaamiskeskus edistää kansainvälisiä kvanttialan harjoittelu-/vaihto-ohjelmia.

Taulukko 2. Kvanttiosaamiskeskus

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>Kvanttitekniikkaosaamisen vahvistaminen perus-, tutkinto- ja jatko-opetuksessa eri osaamisaloilla (fysiikka, matematiikka, kemiantekniikka, materiaalitieteet, ICT, puolijohdetekniikka, elektroniikka, mikro- ja nanomekaniikka, prosessitekniikka, jne.) sekä opettajankoulutuksessa.</p> <p>Vastuutahot: korkeakoulut</p> <p>Muut toimijat: InstituteQ</p>	<p>Korkeakoulujen toisiaan täydentävä ja lisäarvoa tuottava kvanttitekniikan tarjoama on näkyvää ja opintopolut tunnistettuja.</p> <p>Ammattikorkeakouluihin on käynnistynyt uusia sisältöjä. Osaamistarpeiden määrittelytyö on käynnistynyt yhteistyössä ammatillisten oppilaitosten kanssa.</p>	<p>Yliopistojen kurssikonainsuoksista on mahdollista muodostaa yhtenäisiä kvanttitekniikkaosaamiseen keskittyviä tutkintoja.</p> <p>Kvanttitekniikan opetus on laajentunut kaikkiin keskeisiin suomalaisiin ammattikorkeakouluihin ja se sisältyy aiheena myös useiden ammatillisten tutkintojen perusteisiin.</p>
<p>5-vuotinen maisteri-tohtori-ohjelma, joka johtaa joko kaksivuotiseen maisteriohjelmaan tai viisivuotiseen väitöskirjaan.</p> <p>Vastuutahot: korkeakoulut</p>	<p>Maisteri-tohtori-polku on käynnistynyt ja sillä opiskelee vähintään 100 opiskelijaa. Ohjelma hyötyy tohtorikoulutusprojektissa muodostuneista käytännöistä.</p>	<p>Maisteri-tohtoripolusta valmistuvat ensimmäiset tohtorit (vähintään 80 % sisäänotosta). Ohjelmaan on vuosittainen haku, jossa on yhteensä 120 aloituspaikkaa yliopistoissa.</p>

<p>Täydennyskoulutuskokonaisuudet ml. avoin korkeakoulu osana opintopolkuja kansallisen ja kansainvälisen työvoiman uudelleen kouluttamiseksi kvanttialalle.</p>	<p>Kvanttitekologiaan keskittyvä täydennyskoulutus on käynnistymässä. Ensimmäisiä yrityksille ja LUMA(TE)-opettajille suunnattuja täydennyskoulutusmoduuleita on saatavilla sekä korkeakoulujen että kaupallisten toimijoiden kautta</p>	<p>Yritysten ja julkisten toimijoiden kvanttialan täydennyskoulutusta on tarjolla jatkuvaluontoisesti ja sitä hyödyntää vuosittain vähintään 350 yritystä tai julkista toimijaa. Koulutukset ovat mahdollistaneet 3500 osaajan kouluttautumisen ja heistä 80 % on työllistynyt kvanttialalle. Yritykset ennakoivat aktiivisesti osaamistarvettaan ja tekevät yhteistyötä korkeakoulujen kanssa.</p>
<p>Kansainväliset tutkijanvaihto-, yhteistyö- ja harjoitteluohjelmat, joiden kautta houkutellessaan kansainvälisiä osaajia Suomeen kvanttialalle. Lisätään näkyvyyttä hyödyntäen tehokkaasti olemassa olevia keinoja ja kanavia. Vahvistetaan ekosysteemin yhteistä markkinointia.</p>	<p>Kvanttitekologian liikkuvuusohjelman malli on luotu yhteistyössä korkeakoulujen ja yritysten kanssa. Pilottia ja osaajavälitystä markkinoidaan kansainvälisesti.</p>	<p>Kansainvälinen liikkuvuusohjelma ja osaajavälitys toimii tehokkaasti, ja vähintään 1200 kansainvälistä osaajaa on työllistynyt tätä kautta alalle Suomeen ja 200 ulkomaille.</p>
<p>Vastuutahot: korkeakoulut</p>		

5.2 Maailman kärkiluokan laskentainfrastrukturi

Varmistetaan yritysten, tutkijoiden ja opiskelijoiden pääsy eri teknologioihin perustuviin maailman kärkeä oleviin kvanttikoneisiin sekä mahdollistetaan suurteholaskentaa (HPC), tekoälyä (AI) ja kvanttilaskentaa (QC) yhdistävän hybridi-laskennan kehitys. Kohtuuhintainen laskenta-aika tehokkaimpiin kvanttietokoneisiin houkuttelee alan parhaita ohjelmistokehityksen yrityksiä Suomeen. Kilpailukykyinen tutkimus- ja kehitysinfrastrukturi on paitsi välttämätön alan kehittymiselle, myös kilpailuetu, joka houkuttelee alan parhaita osaajia Suomeen.

Suomi sitoutuu teknologiatiekarttaan 1000 virhekorjatun loogisen kubitin (noin 100 000–1 000 000 fyysisen kubitin) koneen kehittämiseen vuoteen 2035 mennessä. Tämä tukee sekä kvanttietokoneen että algoritmi- ja ohjelmistoliiketoiminnan kasvua arvoketjussa, sekä varmistaa ja tukee parhaimpien kvanttietokoneiden laskenta-ajan saatavuuden Suomessa toimiville yrityksille. Kansainvälisen yhteistyön ja mahdollisten hankintojen kautta varmistetaan pääsy sellaisiin teknologioihin perustuviin kvanttietokoneisiin, joita ei Suomessa ole.

Tuhannen virhekorjatun kubitin kvanttietokoneen saavuttaminen tulee mahdolliseksi virheenlievennys- ja korjausalgoritmien sekä kubittien valmistusprosessien merkittävän kehittymisen myötä. Tällainen laskentainfrastruktuuri asemoi Suomen kvanttilaskennan kehityksen kärkimaihin ja mahdollistaa yksinomaan klassisen laskennan ulottumattomissa olevia ratkaisuja. Tätä kautta voidaan laskennallisesti mallintaa ennennäkemättömällä tarkkuudella ja luotettavuudella esim. uusia lääkkeitä, kemiallisia prosesseja, sekä materiaaleja kuten aurinkokennoja ja akkuja.

Taulukko 3. Laskentainfrastruktuuri

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>Suomi sitoutuu jatkamaan investointeja kohti 1000 virhekorjatun kubitin (noin 100 000–1 000 000 fyysisen kubitin) virhesietoista kvanttietokonetta ja sen tukiohjelmistoja.</p> <p>Vastuutaho: TEM Muut toimijat: VTT</p>	<p>Tehokkaiden virheenlievennysalgoritmien kautta näytetään kvanttiyhödyn mahdollisuus ensimmäisillä sovellusaloilla.</p> <p>Noin tuhannen fyysisen kubitin kvanttietokone (2-kubitti operaatioiden virheet alle 0,1 %) on toiminnassa.</p>	<p>Tehokkaat virheenkorjaus- ja virheenlievennysalgoritmit mahdollistavat kvanttiyhödyn osoittamisen monella eri sovellusalalla.</p> <p>Maailman kärkeä olevat ohjelmistokokonaisuudet mahdollistavat kvanttietokoneen tehokkaan käytön laajasti eri sovellusaloilla.</p> <p>10 000 fyysisen kubitin kvanttietokone, jolla pienen skaalan virheenkorjaus demonstroitu, on toiminnassa.</p>
<p>Pystytetään maailman houkuttelevin HPC+QC+AI-hybridilaskenta- ja mallinnus-</p>	<p>Käytössä on mekanismi, jonka kautta voidaan allokoida kvanttikoneaikaa korkeakou-</p>	<p>Suomessa on laskentateholtaan maailman top 5 HPC+AI+QC infrastruktuuri, joka tukee</p>

<p>ympäristö, joka on helppo-käyttöinen ja kohtuuhintainen yrityksille ja mahdollistaa yritysten datan luottamuksellisen käytön.</p> <p>Prosessi ajantasaisen koko hybridilaskentaympäristön ohjelmistopinon hankintaan ja tarvittavien resurssien allokointi määriteltä.</p> <p>Vastuutahot: TEM, CSC, VTT, OKM</p>	<p>luille, tutkimuslaitoksille ja yrityksille sekä tätä tukeva rahoitusmalli. Käytössä on keskitetty ratkaisu suurien resurssien jakoa varten.</p> <p>Tekoälyn, suurteholaskennan ja kvanttilaskennan tehokkaassa hybridilaskentaympäristössä eri teknologiaratkaisuihin perustuvia kvanttietokoneita ja kokonaisuutta tukeva, maailman kärkiluokan ohjelmisto on liitetty suomalaiseen suurteholaskentainfrastruktuuriin.</p>	<p>teollisuuden uudistumista ja globaalia kilpailukykyä sekä houkuttelee investointeja Suomeen.</p> <p>Suomen kvanttiekosysteemin toimijoilla on kustannustehokas pääsy kaikkiin merkittäviin eri teknologioihin perustuviin kvanttietokoneisiin, jotka on liitetty kansalliseen tekoäly- ja suurteholaskentainfrastruktuuriin.</p> <p>Suomalaiset toimijat hyödynävät aktiivisesti myös kansainvälisten kvanttilaskentainfrojien käyttökiintiöitä.</p>
<p>Käyttöönoton kannustin- ja tukikokonaisuus, joka ohjaa uusia toimijoita käyttämään kvanttilaskentaa.</p> <p>Vastuutahot: TEM, VM, VTT, CSC, Business Finland</p>	<p>Hankinnat toteutettu, joilla käytössä oleviin kvanttikoneisiin päivitetään tarvittavat maailmanluokan ohjelmistot.</p> <p>Käytössä on verokannustin, jolla Suomessa toimivat yritykset saavat vähentää 50 % kvantti- ja suurteholaskentapalveluiden menojen yhteismäärästä lisävähennyksenä. Vähennyksen enimmäismäärä X miljoonaa euroa.</p> <p>Käytössä on laaja käyttäjätukiohjelma, joka madaltaa kynnystä kvanttilaskennan käyttöönottoon sekä opastaa teknologian tehokkaaseen käyttöön.</p>	<p>Laskenta- ja mallinnusympäristö on mahdollistanut uusien suomalaisten algoritmi- ja ohjelmistoratkaisujen luomisen ja kaupallistamisen laajasti koko kvanttilaskennan ohjelmistoportfoliossa.</p> <p>Hybridilaskentaympäristöllä on 300 vuosittaista yrityskäyttäjää.</p> <p>Toimenpiteiden vaikutusta on arvioitu ja mahdolliset muutostarpeet huomioitu ja toteutettu.</p>

5.3 Kilpailukykyinen infrastruktuuri kvanttilaitteiden ja -komponenttien kehityksen tukena

Rahoitetaan pitkäjänteisesti yhteiskäyttöisiä tutkimus- ja teknologiainfrastruktuureja, jotka mahdollistavat keskeisten kvanttitekniologioiden (ml. kvanttisalaus ja -viestinnän) komponenttien ja kvanttiantureiden, tutkimuksen, kehityksen, pilotoinnin, testauksen, karakterisoinnin ja valmistuksen. Huolehditaan yhteistyössä selkeästä teollis- ja tekijänoikeuksien puitteesta, mikä tukee kehitettyjen teknologioiden laajaa hyödyntämistä ja kaupallistamista. Yritysten mahdollisuus hyödyntää infrastruktuuria TKI- ja pilottituotantovaiheessa tukee uusien startup-yritysten kasvua ilman valtavia investointeja omaan infrastruktuuriin. Infrastruktuuri on vetovoimatekijä, joka houkuttelee uusia kvanttitekniologian yrityksiä Suomeen.

Suomen sitoutuminen 1000 loogisen kubitin kvanttietokoneen kehittämiseen tukee suomalaisen kvanttilaite ja -komponenttiteollisuuden kehitystä. Tavoitteena on, että huomattava osa 1000 loogisen kubitin kvanttietokoneesta kehitetään ja valmistetaan Suomessa.

Taulukko 4. Kvanttilaitteiden- ja komponenttien TKI-toimintaa tukeva infrastruktuuri

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>Kvanttilaitteiden yhteiskäyttöisen TKI-infrastruktuurin päivittäminen ja kansainvälisen kilpailukykyyn vahvistaminen hyödyntäen mm. kansallista tutkimusinfrastruktuurirahoitusta sekä, EURA-MET, EU:n sirusäädös- ja Quantum Act rahoitusta.</p> <p>Vastuutahot: TEM, VTT, korkeakoulut</p>	<p>Nykyisen infrastruktuurin¹¹⁻¹³ pitkäjänteinen ylläpito- ja kehittämissuunnitelma on vahvistettu yhteistyössä yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa.</p> <p>EU:n sirusäädös -rahoitusta hyödyntävä suprajohdattavien sirujen pilottilinjat aloittaa toimintansa Suomessa.</p> <p>Perustettu kansallinen karakterisointi ja testausalusta tai -verkosto, joka mahdollistaa helpon pääsyn yhteiskäyttöiseen</p>	<p>Infrastruktuurit ovat ajantasaisia pitkäjänteisen rahoituksen ansiosta.</p> <p>Kansallisten infrojen käyttöaste on kohonnut 20 % vuoden 2024 tilanteesta ja kasvusta > 30 % tulee yrityksiltä.</p> <p>Yrityksiä on kasvanut niin, että infrastruktuurit saavat myös merkittävästi yritysrahoitusta julkisen rahoituksen lisäksi.</p>

	infrastruktuuriin. Alusta kytkeytyy keskeisiin eurooppalaisiin mittaus- ja testausverkostoihin (mm. EURA-MET).	
Käyttöönnoton kannustin- ja tukikokonaisuus , joka kannustaa uusia yrityksiä kehittämään kvanttilaitteita Vastuutahot: TEM, Business Finland	Infrastruktuurien käyttöä tuetaan yrityksille T&K-käyttöön tarjottavilla tuilla	Pääsy infroihiin on mahdollistanut kunnianhimoista tuotekehitystä, kuten esim. QPU-teknologiaa ja uusia kvanttilaitteita, ja synnyttänyt uusia yrityksiä

5.4 Kvanttiturvallisten salausmenetelmien käyttöönnotto

Varmistetaan kvanttiturvallisten (Post Quantum Cryptography, PQC) salausmenetelmien käyttöönnotolla ja soveltuvin osin kvanttiavaintenvaihtoteknologioihin (Quantum Key Distribution, QKD) perustuvilla ratkaisulla, että yhteiskunnan kriittisten toimintojen kannalta olennainen infrastruktuuri, tietoliikenneyhteydet ja tietovarannot, on suojattu ja tehty kvanttilaskennan muodostaman uhan kestäviksi sekä julkisella että yksityisellä puolella. Kvanttiturvallinen tietoliikenneinfrastruktuuri mahdollistaa tätä vaativien IT-ratkaisujen rakentamisen Suomeen ja niissä tapahtuvan arkaluontoisen datan käsittelyn sekä laite-, ohjelmisto ja palveluratkaisujen tuotekehityksen ja viennin.

Suomi osallistuu aktiivisesti kansainväliseen standardien valmisteluun ja implementoi muodostuvat standardit nopeasti osaksi kansallisia ohjeita ja määräyksiä, kuten esimerkiksi kryptografiset vahvuusvaatimukset turvaluokitellulle tiedolle. Testilaboratorioilla, testausmenetelmien kehittämisellä sekä riittävällä määrällä testaa- jia tuetaan testausinfrastruktuurin rakentumista siten, että viranomaisilla on mahdollisuus varmistua suojattavan tiedon salaukseen käytettävien salaustuotteiden kvanttikestävyydestä. Luotettavan tietoliikenneinfrastruktuurin maana sekä salausteknologioiden ja turvallisen kvanttikommunikaation kehitystyön kautta Suomi voi sertifioida ja kaupallistaa ratkaisujaan ja suomalaiset yritykset menestyvät salaustuotemarkkinoilla.

Suomessa on samanaikaisesti kvanttiteknologisen kehityksen kanssa vahvistettava salausteknologista kyvykkyyttä myös kyberturvallisuusalan yrityksiä laajemmin eri teollisuudenaloilla, sekä muissa salausratkaisuja käyttävissä organisaatioissa. Sen lisäksi, että Suomen strategisena tavoitteena on olla omavarainen ja kvanttiuhkaan varautunut valtio 2030-luvun alkupuolella, keskeistä on toimialan kaupan ja viennin vahvistaminen.

Tämä edellyttää kotimaisten kvantinkestävien salausratkaisujen edelleen kehittämistä ja salausteknologisen osaamisen vahvistamista tuotannon, tutkimuksen, laskennan, takaisinmallinnuksen ja organisoitumisen osa-alueilla. Jotta taloudellisesti kannattava ja kilpailukykyinen toiminta on mahdollista, kehitetään kansallista sääntelyä, nopeutetaan viranomaisvetoisia arviointeja, perustetaan siviiliperustainen salausteknologinen laboratorio ja hankitaan EU:n kansainvälisiä tietoturvahyväksyntöjä myöntävän sekä NATO:n salaustuotteita tuottavan valtion asema.

Taulukko 5. Kvanttiturvallisten salausmenetelmien käyttöönotto

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>Kvanttiturvallisten salausratkaisujen (PQC) käyttöönotto</p> <p>Vastuutahot: LVM, Traficom, HVK, kukin ministeriö oman hallinnonalansa osalta</p>	<p>Kriittisten infrastruktuurien, mm. tietovarantojen ja julkisten ja kaupallisten tietoliikenneyhteisyyksien, suojaaminen ja tekeminen kvanttilaskennan kestäväksi on käynnistetty.</p> <p>Yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittiset organisaatiot ovat tunnistaneet sensitiivisimmät tiedot ja kvanttiturvallisuuden kannalta kriittiset tietojärjestelmät. Tehdyn inventaarion perusteella on muodostettu Suomen tiekartta kvanttiturvallisen salauksen käyttöön.</p> <p>Ohjeistusta organisaatioille ja tilannekuvaa kvanttiturvalliseksi todetuista salaustuotteista ylläpidetään aktiivisesti Kyberturvallisuuskeskuksessa.</p>	<p>Suomen kriittiset tietovarannot ja tietoliikenneyhteydet on suojattu kvanttilaskennan kestäviksi.</p> <p>Suomeen rakennettua kvanttiinfrastruktuuria hyödynnetään turvallisuuden varmistamiseen esimerkiksi salausratkaisuiden testauksessa tai takaisinmallinnuksessa sekä viranomaisten että yhteiskunnan kriittisten toimijoiden tarpeiden mukaisesti.</p> <p>Suomen salaustuotearviointikyvykkyyttä on rakennettu kyberturvallisuusstrategian mukaisesti.</p> <p>Kyberturvallisuudesta vastaavien viranomaisten lisäksi salaustuotearviointiosaamista on laajennettu</p>

		arviointilaitoksiin ja tietoturvaloihin, jotta myös yksityisen sektorin tietoliikenneinfrastruktuuri täyttää vaatimukset.
<p>Kvanttiavaintenvaihtoon (QKD) perustuvien tuotteiden ja palvelujen kehittäminen</p> <p>Vastuutaho: TEM, LVM</p> <p>Muut toimijat: VTT, Traficom, CSC</p> <p>Viranomaisverkkoja koskeva kokonaisuus</p> <p>Vastuutahot: PLM, SM, VM</p> <p>Muut toimijat: Erillisverkot</p>	<p>EuroQCI-ohjelman kansallinen kehitys- ja kokeiluympäristö mahdollistaa uuden sukupolven QKD-tuotteiden ja -palvelujen kehittämisen kvanttiturvalliseen kommunikaatioon ja osaltaan tukee siirtymää kvanttiturvalliseen tietoliikenteeseen.</p> <p>Koulutus QKD-mahdollisuuksista ja tärkeydestä on aloitettu.</p>	<p>Kvanttiavaintenvaihtoa hyödyntäviä tietoliikenneyhteyksiä on otettu käyttöön rajatuissa käyttötapauksissa. Näiden rinnalla jatketaan QKD-ratkaisuihin liittyvää tutkimusta ja yhteistyötä kansainvälisten toimijoiden kanssa sekä turvallisuuden varmistavan standardoinnin edistämistä.</p> <p>Suomeen on syntynyt kvanttiavaintenvaihdon kehitys- ja innovointityön kautta kvanttitekologioita ja ICT-osaamista yhdistävä ekosysteemi ja kansainvälistä liiketoimintaa turvallisen kvanttikommunikation saralla.</p> <p>Kvanttilaskennan uhalta suojattu QKD-infrastruktuuri tukee kvantti-internetin kehitystä.</p>

5.5 Pitkäjänteinen kvanttialan TKI-ohjelma

Valmistellaan laaja-alainen kvanttiteknologian TKI-ohjelma, jolla kohdennetaan rahoitusta ennakoitavasti ja pitkäjänteisesti kvanttiteknologioiden ja niiden sovellusten kehittämiseen Suomessa maailmanluokan mittakaavaan.

Ohjelmalla Business Finland kannustaa tutkimusorganisaatioita ja yrityksiä pitkäjänteiseen TKI-yhteistyöhön kansallisesti ja kansainvälisesti, sekä yrityksiä pitkäjänteiseen TKI-toimintaan ja sen tuloksia hyödyntävän kansainvälisen liiketoiminnan kasvattamiseen. Ohjelman TKI-rahoituksella vahvistetaan myös kvanttitekologia-alan tieteellistä osaamis pohjaa ja tuetaan osallistumista EU-

ja kansainvälisiin hankkeisiin. Suomen Akatemia jatkaa kilpailullisella tutkimusrahoituksella korkeatasoisen tutkimuksen, osaamisen ja tutkimusympäristöjen tukemista. Business Finland ja Suomen Akatemia edistävät yhteistyössä TKI-ohjelman hankkeista sekä käynnissä olevista lippulaivoista saadun osaamisen ja tulosten hyödyntämistä yrityksissä ja yhteiskunnassa, tavoitteena vahvistaa tutkimuksesta kumpuavaa laajaa taloudellista, sosiaalista ja yhteiskunnallista vaikuttavuutta kestävästi.

TKI-ohjelma verkottaa ja kannustaa teknologiakehittäjiä ja -tutkijoita yhteistyöhön loppukäyttäjien kanssa. Kvanttitekniologioiden TKI-ohjelma toimii vahvana signaalina kansainvälisille toimijoille sijoittaa tutkimus- ja kehittämistoimintaansa Suomeen. Ulkomaisia yrityksiä houkutellessaan Suomeen tekemään tutkimusta ja korkean arvonlisän valmistusta Invest-in palveluilla, osaavalla työvoimalla ja toimivalla tutkimus- ja kehitysinfrastruktuurilla. Uusille Suomeen sijoituville yrityksille tarjotaan ns. yhden luokun periaatetta. Ohjelma toimii myös pilottina rahoituksen suuntaamisesta ja toiminnan kehittämisestä muille murros-tekniologia-alueille. Osana ohjelmaa Business Finland, työ- ja elinkeinoministeriö ja ulkoministeriö edistävät palveluillaan vientiä, vahvistavat suomalaisen osaamisen tunnettua ja Suomea osaavana ja luotettavana kumppanina.

Taulukko 6. Pitkäjänteinen kvanttialan TKI-ohjelma

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>TKI-ohjelma, joka mahdollistaa kvanttitekniologian laajan soveltamisen ja tekniologian kypsyyden kasvattamisen, sisältäen kansainvälisen yhteistyön ulottuvuuden.</p> <p>Vastuutahot: TEM, Business Finland</p>	<p>Yhteisesti koordinoitu kvanttitekniologian TKI-ohjelma on käynnissä. Sen pitkäjänteinen rahoitusmekanismi mahdollistaa monivuotisen rahoituksen usealle merkittävälle kärkisektoreille hankkeelle, jotka vievät tutkimusta kohti merkittäviä kaupallisia sovelluksia.</p>	<p>Useita sovelluksia kaupallistettu menestyksekkäästi teollisille markkinoille.</p>
<p>Business Finlandin rahoitus tutkimusorganisaatioiden ja yritysten tasavertaiseen tutkimukseen, joka tukee kvanttialan ekosysteemin kasvua pitkäjänteisesti.</p>	<p>Vähintään 5 uutta julkisen ja yksityisen sektorin yhteisrahoitteista hanketta on alkamassa.</p>	<p>Yritysyhteistyöhön liittyvä ekosysteemi on laajentunut uusille vertikaaleille ja synnyttää uusia sovelluksia.</p> <p>Suomalaiset kvanttialan yritykset tarjoavat</p>

<p>Rahoituskriteerien soveltaminen pitkän kehityskaaren omaavan teknologian kehitystarpeisiin myös aloilla, joilla soveltavia yrityksiä on vielä vähän.</p>	<p>edelläkävijäratkaisuja kansainvälisillä markkinoilla.</p>	
<p>Vastuutahot: TEM, Business Finland</p>		
<p>Loppukäyttäjyryitysten lisäämiseen tähtäävät toimet. Kvanttiekosysteemi yhdessä Business Finlandin ja InstituteQ:n kanssa luo puitteet, jolla kvanttietoisuus loppukäyttäjä yritykselle lisääntyy.</p>	<p>20 loppukäyttäjyryitystä on investoinut kvanttitekniikan tutkimukseen ja käyttöönottoon.</p>	<p>60 loppukäyttäjyryitystä on investoinut kvanttitekniikan tutkimukseen ja käyttöönottoon.</p>
<p>Vastuutahot: TEM, Business Finland</p>	<p>Yksityiset investoinnit kvanttitekniikoiden t&k-toimintaan ovat vähintään kaksinkertaiset verrattuna julkiseen rahoitukseen.</p>	
<p>Kasvua tukevat invest in-toiminnat</p>	<p>Suomeen on sijoittunut Invest in -toimien ansiosta 5 uutta kansainvälistä toimijaa, jotka ovat investoineet Suomeen yhteensä 20 M€ ja luoneet 60 uutta työpaikkaa.</p>	<p>Suomeen on sijoittunut Invest in -toimien ansiosta 15 uutta kansainvälistä toimijaa, jotka ovat investoineet Suomeen yhteensä 100 M€ ja luoneet 300 uutta työpaikkaa.</p>
<p>Vastuutahot: TEM, Business Finland</p>	<p>Investoinneista 3 on merkittävän kansainvälisen yrityksen investointeja.</p>	
<p>Ulkoministeriö edistää Suomen kvanttiekosysteemin vientiä ja tekee tunnetuksi alan osaamista tavoitteellisesti ja kohdistetusti yhteistyössä Business Finlandin TKI-ohjelman ja muiden Team Finland-toimijoiden kanssa.</p>	<p>Suomalainen kvanttiekosysteemi on tunnettu maailmanlaajuisesti – Pohjoismaissa, EU:ssa ja kaikissa keskeisissä EU:n ulkopuolisissa kumppanimaissa.</p>	<p>Suomalaisten kvanttialan yritysten vienti on kasvanut merkittävästi fokusmaihin.</p>
<p>Vastuutahot: UM, TEM, Business Finland, Team Finland -verkosto</p>		

5.6 Yritysten globaalinen kasvun tuki

Yritysten menestyminen globaalissa kilpailussa edellyttää pärjäämistä kilpailussa kansainvälisestä rahoituksesta. Kilpaillut pääomat hakeutuvat sinne, missä on korkeimmat tuotto-odotukset. Kvanttitekniikan alalla globaaleille markkinoille tähtäävät yritykset tarvitsevat kasvun tueksi pitkäjänteistä riskirahoitusta. Globaaleilla markkinoilla on huolehdittava myös siitä, että yrityksillä on riittävä osaaminen ja keinot suojata ja hyödyntää aineettomia oikeuksiaan.

Uudistuva Tesi-konserni suuntaa rahoitustaan kvanttiteknologiayritysten alkavan ja skaalaavan vaiheen rahoitukseen erityisesti rahastosijoitusten kautta. Tesi-konserni suuntaa suoria sijoituksia rohkeasti skaalausvaiheen kvanttiteknologiayrityksiin ja varmistaa voimakkaasti kasvavien teknologiayritysten kotimaisen omistuksen säilymisen skaalausvaiheen yli. Samalla Tesi-konserni varmistaa rahastosijoituksilla, että Suomeen syntyy uskottavia syväteknologiayrityksiin keskittyviä skaalausrahastoja, jotka pystyvät toimimaan ankkurisijoittajina ja johtamaan teolliseen mittakaavaan kasvavien yritysten rahoituskerroksia.

Finnvera rahoittaa kvanttitekniikan alan yritysten liiketoimintaa ja teknologiaa investoinneista ja pilottitoimituksista alkaen jakaen riskiä markkinaehtoisten rahoittajien kanssa. Finnveralla on valmius edistää rahoitusratkaisujen toteuttamista takaamalla jopa 80 % kaupallisten vieraan pääoman rahoittajien rahoituksesta sekä tarvittaessa myös suurin lainoin riskinjoon toteutuessa muulla tavoin, mikäli takauksesta huolimatta tarvittava kokonaisrahoitus elinkelpoisille yrityksille ei muuten järjesty.

Investointiavustuksilla tai verohelpotuksilla kannustetaan koti- ja ulkomaisia yrityksiä korkean arvonlisän teollisiin investointeihin.

Taulukko 7. Yritysten globaalinen kasvun tuki

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
Tesi-rahoitus kvanttitekniikan alkavan ja skaalaavan vaiheen rahoitukseen Vastuutahot: TEM, Tesi	400 M€ kerättyä yksityistä rahoitusta suomessa toimiville kvanttialan startup- ja growth-up-yrityksille	700 M€ kerättyä yksityistä rahoitusta Suomessa toimiville kvanttialan startup- ja growth-up-yrityksille

		Uusia alan startup-yrityksiä syntyy 50
Yritysinvestointien houkuttelu korkean arvonlisän teollisiin investointeihin esim. verohelpotusten kautta. Vastuutaho: VM	Kvanttiteknologian laitehankintoja ja tilojen hankintaa koskeva verokannuste. Verotuki olisi enintään 20 % investointikustannuksista ja tukea saisi myöntää enintään kymmenen miljoonaa euroa. Investoinnin tehnyt saisi verotuen vähennyksenä yhtiölle määrättävästä yhteisöverosta.	Toimenpiteen vaikutus arvioitu ja tarvittavat muutokset kannustimiin tehty.

5.7 Kansainvälinen yhteistyö sekä EU- ja kansainvälinen vaikuttaminen

Vaikutetaan kvanttitekologiaan liittyvään EU-tason ja kansainväliseen sääntelyyn, standardointiin ja sektorin toimintaedellytyksiin suomalaisen kvanttiekosysteemin kasvua ja kehittymistä tukevalla tavalla. Vaikuttamisen päämäärä on, että suomalaiset toimijat integroituvat kansainvälisiin markkinoihin ja kehittävät molemmin puolin hyödyllisiä yhteistyösuhteita samanmielisten maiden toimijoiden kesken. Vaikuttamisessa voidaan hyödyntää niin Team Finland Knowledge -verkostoa, Suomen suurlähetystöjä maailmalla kuin tiivistä yhteistyötä yrityskentän kanssa. EU-ohjelmien rahoitusmahdollisuuksia pyritään hyödyntämään täysimääräisesti.

Rajallisten resurssien vuoksi yhteistyötä tiivistetään erityisesti samanmielisten maiden kanssa, jotka jakavat Suomelle keskeiset arvot ja intressit. EU-jäsenmaiden ja Pohjoismaiden lisäksi kvanttitekologian puitteissa tehtävä yhteistyö edistää myös yleisemmin kahdenvälistä kumppanuutta esimerkiksi Yhdysvaltojen, Kanadan, Japanin, Etelä-Korean, Australian ja Iso-Britannian kanssa. Suomalaisen kvanttitekologiatoimijoiden kilpailukykyä vahvistetaan ja ylläpidetään lähtökohtaisesti kaikissa kumppanuuksissa.

Taulukko 8. Kansainvälinen yhteistyö sekä EU- ja kansainvälinen vaikuttaminen.

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>Suomi osallistuu aktiivisesti kvanttisektoria muokkavaan EU- ja kansainväliseen yhteistyöhön esimerkiksi vientivalvontaan, tutkimusturvallisuuteen, standardointiin, toimitusketjuturvallisuuteen ja TKI-rahoitukseen liittyvään kansainväliseen yhteistyöhön tuoden esille Suomen kyvykkyyksiä ja muovaten yhteistyötä kansallisten etujen pohjalta.</p> <p>Vastuutahot: TEM, UM, OKM, LVM, Business Finland, Suomen Akatemia, Traficom</p>	<p>Suomeen ohjautuva EU:n rahoituksen määrä kvanttiteknologian osalta on kasvanut merkittävästi edelliseen ohjelma-kauteen verrattuna.</p> <p>EU Quantum Chips Planin toimeenpanoa tukevaa kvanttisirulinjojen rahoitusta onnistutaan kotiuttamaan. Suomalaisilla toimijoilla on vahva rooli Quantum Planin toteutuksessa.</p> <p>Vientivalvontaneuvottelukunnan yhteydessä on syvennetty julkisen ja yksityisen sektorin vuoropuhelua vientivalvontaan liittyvissä kysymyksissä.</p> <p>TKI-rahoitustoiminnassa huomioidaan kattavasti tutkimusturvallisuus.</p> <p>Kvanttitekologiaan tarvittavien komponenttien valmistamisen ja toimitusketjujen osalta voidaan varmistua siitä, että ne on tuotettu maanosissa ja yrityksissä, joissa kansallinen turvallisuus voidaan huomioida.</p>	<p>EU-ohjelmat tukevat kvanttiteknologian kehitystä Suomelle edullisella tavalla.</p> <p>Vientivalvonnassa on EU-tasolla yhdenmukainen lähestymistapa kvanttitekologiaan.</p> <p>Tutkimusturvallisuuden näkökulma huomioidaan ja toteutuu poikkihallinnollisesti ja TKI-toiminnassa.</p> <p>Suomalaistoimijat ovat edustettuina eurooppalaisissa kvanttitekologia-alan toimitusketjussa.</p> <p>Suomalaisella kvanttitekologialla pystytään vastaamaan markkinoiden tarpeisiin tuotantovolyymiin kasvaessa.</p>
<p>Suomi valitsee yhteistyökumppaninsa huomioiden tutkimuksellisia, kaupallisia ja ulko- ja turvallisuuspoliittisia intressejä.</p> <p>Vastuutaho TEM, UM, OKM</p>	<p>Kansallista vastinrahoitusta kohdennetaan valikoituun EU- ja kansainväliseen yhteistyöhön.</p>	<p>Tutkimus- ja kaupallinen yhteistyö valittujen kumppanimaiden kanssa on syventynyt merkittävästi.</p>

<p>Suomi vaikuttaa aktiivisesti kansainvälisten standardien kehitykseen. Kansallinen kvanttiteknologia-alan standardointityötä koordinoiva taho tukee myös pk-yritysten osallistumismahdollisuuksia kansainväliseen standardointityöhön.</p>	<p>Kansallisessa standardointi-strategiassa on huomioitu kvanttiteknologia ja muut varhaisen kehitysvaiheen teknologiat erityispiirteineen.</p>	<p>Suomi on vaikuttanut keskeisesti alan standardien muodostumiseen.</p>
<p>Vastuutahot: TEM, LVM, VTT, Traficom, standardointijärjestöt, yritykset</p>	<p>Suomi osallistuu kvanttiteknologiaan liittyvän standardoinnin kehittämiseen aktiivisesti osana virallisten organisaatioiden yhteistyöryhmiä sekä tuemalla avointa standardointityötä.</p>	

5.8 Kansallinen koordinaatio, ennakointi, seuranta ja edunvalvonta

Organisoidaan ja resursoidaan alan kansallinen koordinaatio, seuranta, ja edunvalvonta verkostomaisena toimintana. Koordinaation kautta toteutetaan kansallinen osaamiskeskus, mahdollistetaan toimialan yhteisen tilannekuvan muodostaminen, yhteisten viestien ja tavoitteiden systemaattinen edistäminen, sekä alan keskeisimpien tapahtumien tehokas toteutus. Koordinaatio mahdollistaa myös tehokkaan pääsyn kansallisiin ja kansainvälisiin asiantuntija- ja yhteistyöverkostoihin niin akateemisella, hallinnollisella kuin yrityssektorilla. Koordinaatioresurssit kohdennetaan suoraan julkisten toimijoiden budjetteihin.

Taulukko 9. Kansallinen koordinaatio

Toimenpide	2027 välitavoite	2030 välitavoite
<p>Kansallisen kvantti-instituutin laajennus ja resursointi ulottumaan kaikkiin alalla toimiiviin yliopistoihin ja tutkimuslaitoksiin.</p>	<p>Toiminta on laajentunut koskemaan 75 % kansallisista yliopistoista ja tutkimuslaitoksista, joissa tehdään alaan liittyvää tutkimusta ja opetusta.</p>	<p>Toiminta kattaa kaikki kansalliset yliopistot ja tutkimuslaitokset, joissa tehdään alaan liittyvää tutkimusta ja opetusta.</p>
<p>Vastuutahot: TEM, InstituteQ, korkeakoulut</p>	<p>Edunvalvonta ja mahdollistava toiminta kattavat laajasti tutkimuksen, koulutuksen, infrastruktuurit ja innovaatioekosysteemin</p>	

	sekä kansainvälisen yhteistyön implementoinnin erityisesti eurooppalaisen kvanttideklaraation puitteissa.	
<p>Alan toimijoiden, teknologisen kehityksen ja rahoituksen seuranta kansallisesti ja kansainvälisesti</p> <p>Teknologisen ja markkinoiden kehityksen ennakointi</p> <p>Vastuutaho TEM, OKM, UM</p> <p>Muut toimijat: Business Finland, VTT, Suomen Akatemia, CSC, InstituteQ</p>	<p>Kansallisen kvanttiekosysteemin (tutkimusorganisaatiot, yritykset), työvoiman, koulutuksen ja investointien seurantaan sekä raportointiin on olemassa yhteisesti hyväksytty prosessi ja mittaristo, joilla alan keskeisiä operaatioita seurataan systemaattisesti.</p> <p>Kansainvälisen kvanttialan julkisrahoituksen seuranta on käynnissä ja tietoa jaetaan aktiivisesti kansallisen ekosysteemin toimijoille.</p> <p>Tutkimusalojen painopisteiden, teknologiaennakoinnin ja yritysten tarvekartoituksen pohjalta on luotu ennakointi- ja seurantatietoa hyödyntävä kansallinen ennakointimalli ("kvanttisää"), jota hyödynnetään strategian toimenpiteiden kohdentamisessa.</p>	<p>Kansallinen kvanttkoordinaatio tuottaa ajantasaista tilannekuvaa alan toimijoiden ja julkisen päätöksenteon tueksi.</p> <p>Kansallinen kvantтитеollisuuskatsaus tuottaa yritysten käyttöön kohdennettua ja ajantasaista dataa kilpailu- ja asiakassegmenteistä vähintään neljä kertaa vuodessa.</p>
<p>Julkishallinnon yhteisen tilannekuvan ylläpito</p> <p>Vastuutahot: TEM, UM, PLM, SM, LVM, OKM</p> <p>Muut toimijat: Business Finland, Suomen Akatemia, VTT, Traficom</p>	<p>Tilannekuvan ylläpitämiseen on verkosto, jonka kesken tietoa jaetaan sekä julkishallinnon sisällä että vuoropuhelussa julkisen ja yksityisen sektorin välillä.</p>	<p>Suomalaistoimijat pystyvät varautumaan geopolitiittisen tilanteen muutoksiin ja on olemassa kanavat, joiden kautta tukea toiminnan organisointiin ja päätöksentekoon on saatavilla.</p>
<p>Toimialan tunnettuuskampanjat, osaamisen ja mahdollisuuksien markkinointi kansallisesti ja kansainvälisesti.</p>	<p>Vuosittain yksi kansallinen (suomi/ruotsi) ja yksi kansainvälinen tunnettuuskampanja kohdennettuna yrityksille, toinen</p>	<p>Suomi on houkutteleva maa kvanttialan osaajille. Tunnettuuskampanjat ovat nostaneet osallistujamääriä kan-</p>

Vastuutaho: InstituteQ	nuorille aikuisille ja opiskelijoille, kolmas AMK- ja lukio-opettajille.	sainvälisen yhteistyön ohjelmissa. Uusia yrityksiä on asettunut / syntynyt Suomeen.
Muut toimijat: OKM, Business Finland, Teknologiateollisuus, Team Finland -verkosto	Näkyminen ja mukanaolo muiden kriittisten teknologioiden kampanjoissa esim. Teknologiateollisuuden foorumeita hyödyn-tään.	

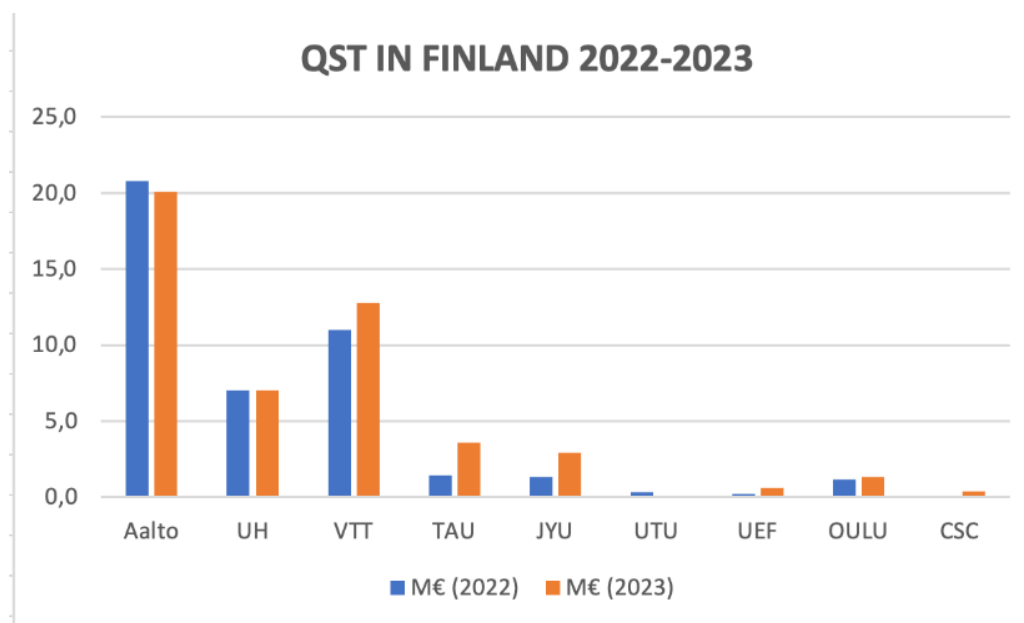
Liitteet

Liite 1. Julkiset panostukset Suomen kvanttiteknologia-alalle

Kokonaisvaltaisen arvion laatiminen julkisista panostuksista nimenomaan kvanttiteknologia-alalle ei ole aivan yksinkertaista ja niinpä määrää joudutaan arvioimaan. Ohessa kuvataan eräitä keskeisiä julkisen sektorin panostuksia.

Vuonna 2023 Suomen kvanttiteknologia-alaan liittyvän tutkimustoiminnan vuositason kokonaisvolyymien yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa arvioitiin olevan 52 milj. euroa (luku ei pidä sisällään investointeja infrastruktuuriin). Tästä hie-man yli 20 % oli Suomen Akatemian kilpailtua tutkimusrahoitusta, 17 % EU:n kilpailtua rahoitusta, ja 8 % Business Finlandin myöntämää TKI-rahoitusta.

Kuvio 1. Kvanttialan tutkimuksen volyymi Suomessa v.2022 ja 2023



Suomen Akatemia on myöntänyt 1.1.2020 jälkeen kvantti-aihepiirin tutkimukseen ja tutkimusympäristöille yhteensä noin 56 milj. euroa. Business Finland on rahoittanut kvanttialan TKI-toimintaa yhteensä 28 milj. eurolla vuosina 2020–2024. Tästä 11,2 milj. euroa on kohdennettu kvanttilaskenta-algoritmien, ohjelmistojen ja sovellusten t&k-toimintaan kvanttilaskentakampanjan kautta vuosina 2023–2024. Viime vuosina valtio on osoittanut merkittäviä lisäresursseja erityisesti kvanttietokoneisiin:

- 20,7 milj. euroa vuosille 2020–2024 VTT:lle 50-kubittisen kvanttietokoneen hankintaan ja kehitykseen (välitavoitteina 5- ja 20-kubittiset koneet)
- 70 milj. euroa vuosille 2024–2027 VTT:lle kvanttietokoneen skaalaamiseen 300 kubittiin
- 3 milj. euroa vuosille 2022–2025 Aalto yliopistolle 20-kubittisen kvanttietokoneen hankintaan.

Kvanttinova –pilotointi- ja kehittämiskeskukseen hallitus on myöntänyt 79 miljoonaa euroa vuosille 2024–2027 yhteiskäyttöisten laitteiden hankintaan ja käyttöönottoon ja tähän on myönnetty myös EU:n sirusäädöksen rahoitusta.

Lähteet

(Täydennetään myöhemmin)