



Bryssel, 4. heinäkuuta 2025
(OR. en)

11276/25

COMPET 689	EDUC 315
IND 247	EMPL 354
RECH 319	ENFOPOL 251
ESPACE 54	FIN 832
COH 128	FISC 159
COSI 131	JAI 1028
CYBER 206	SOC 503
ECOFIN 955	TELECOM 234

SAATE

Lähtettäjä:	Euroopan komission pääsihteeri, allekirjoittajana johtaja Martine DEPREZ
Saapunut:	3. heinäkuuta 2025
Vastaanottaja:	Thérèse BLANCHET, Euroopan unionin neuvoston pääsihteeri
Kom:n asiak. nro:	COM(2025) 363 final
Asia:	KOMISSIION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE JA NEUVOSTOLLE EU:n kvanttistrategia: Kvanttistrategia muuttuvassa maailmassa

Valtuuskunnille toimitetaan oheisena asiakirja COM(2025) 363 final.

Liite: COM(2025) 363 final



Bryssel 2.7.2025
COM(2025) 363 final

KOMISSION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE JA NEUVOSTOLLE

EU:n kvanttistrategia: Kvanttistrategia muuttuvassa maailmassa

EU:n kvanttistrategia muuttuvassa maailmassa

1.1 Johdanto

Eurooppa on kvanttimaanosa.¹ Eurooppa on aina ollut kvanttitieteen kotipaikka, josta on lähtöisin alan ikonisia edelläkävijöitä, kuten Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr ja Erwin Schrödinger, sekä nykyajan uranuurtajia ja nobelisteja, kuten Theodor Hänsch, Albert Fert, Serge Haroche, Anton Zeilinger, Alain Aspect ja Anne L’Huillier.

Kvanttitieteen edistyminen on yksi teknologian historian suurimmista mullistuksista. Draghin raportissa² kvanttiteknoologiaan viitataan tietotekniikan seuraavana urauurtavana innovaationa, joka voi avata uusia mahdollisuuksia EU:n teollisuuden kilpailukyvyille ja teknologiselle itsenäisyydelle.

Olemme juuri nyt käännekohdassa, sillä kvanttitekniikoiden hyödyntämiseen liittyvä maailmanlaajuinen kilpailu kiihtyy ja teknologiat ovat siirtymässä laboratorioista tosielämän sovelluksiin. Kvanttiteknoologioita hyödynnetään monenlaisissa sovelluksissa terveydenhuollossa käytettävistä magneettiresonanssikuvausskannereista (MRI) ja energia-alan aineellisista eduista aina geofysiikassa ja navigoinnissa käytettäviin gravimetriantureihin, suojattuun viestintään ja kvanttilaskennan käyttöön monimutkaisten ongelmien ratkaisemisessa logistiikassa ja rahoituslalla. Nämä läpimurrot alkavat uudistaa keskeisiä teollisuudenaloja ja yhteiskuntien infrastruktuuria.

Kvanttiteknoologioilla on myös kaksikäyttöpotentiaalia³, minkä vuoksi niitä voidaan hyödyntää sekä puolustukseen että kansalliseen turvallisuuteen liittyvissä sovelluksissa. Tämän vuoksi niiden kehittäminen on myös suurten julkisten ja yksityisten toimijoiden strategisten etujen mukaista.

Tätä taustaa vasten EU on määritellyt kvanttitekniikan kriittiseksi teknologiaksi⁴ taloudellisen turvallisuuden strategiassa⁵ ja valkoisessa kirjassa Euroopan puolustusvalmiudesta vuoteen 2030 mennessä⁶.

Ensimmäiset laajamittaiset teollistamispyrkimykset ovat nyt käynnissä eri puolilla maailmaa, erityisesti Yhdysvalloissa, jossa niitä edistävät huipputeknologiayritysten valtavat yksityiset investoinnit, ja Kiinassa, jossa ne perustuvat suurelta osin julkiseen rahoitukseen.

Myös Eurooppa on saavuttanut huomattavaa edistystä kvanttieteellisessä huipputaamisessa: Euroopassa on maailman laajin kvanttialan osaamisen keskittymä, ja täällä julkaistaan maailmanlaajuisesti eniten alan tieteellisiä julkaisuja. EU:ssa on myös yksi suurimmista kvanttialan startup-ekosysteemeistä⁷. Arviolta kolmasosa maailman kaikista kvanttialan

¹ Kvanttiteknoologioissa hyödynnetään kvanttimekaniikan periaatteita sellaisten tehtävien suorittamisessa, joiden ratkaiseminen perinteisillä teknologioilla on joko mahdotonta tai erittäin tehotonta. Tärkeimpiä kvanttitekniikaloja ovat kvanttilaskenta ja -simulointi, kvanttitunnistus ja kvanttiviestintä.

² [Draghin raportti EU:n kilpailukyvyistä](#).

³ Tässä strategiassa **kaksikäyttöpotentiaalilla** tarkoitetaan kvanttitekniikoiden kykyä palvella sekä siviili- että turvallisuus- ja puolustustarkoituksia. Termillä on tässä laajempi, enemmän tulevaisuuteen suuntautuva merkitys kuin vientivalvontaa koskevan asetuksen (EU) 2021/821 mukaisella oikeudellisella termillä ”kaksikäyttötuote”.

⁴ [Komission suositus \(EU\) 2023/2113, annettu 3 päivänä lokakuuta 2023, EU:n taloudellisen turvallisuuden kannalta kriittisistä teknologia-aloista jäsenvaltioiden kanssa tehtävää riskinarviointia varten](#).

⁵ JOIN(2023) 20 final: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>.

⁶ Valkoinen kirja Euroopan puolustuksen tulevaisuudesta: Readiness 2030 | Euroopan ulkosuhdehallinto.

⁷ McKinsey & Company, Quantum Technology Monitor, huhtikuu 2024.

yrityksistä on sijoittautunut EU:hun⁸, ja EU:n toimittajat toimittavat lähes puolet kvanttietokoneissa käytettävistä laitteisto- ja ohjelmistokomponenteista⁹.

Eurooppa on tällä hetkellä kuitenkin **jäljessä**, kun on kyse **innovointivalmiuksien ja tulevaisuuden potentiaalın muuntamisesta todellisiksi markkinamahdollisuuksiksi**. Tämän seurauksena se sijoittuu tällä hetkellä maailmanlaajuisesti vasta kolmanneksi kvanttilaskentaan, -tunnistukseen ja -viestintään liittyvien patenttihakemusten määrässä.¹⁰

Lisäksi **Euroopan toimet ovat edelleen hajallaan eri jäsenvaltioissa** sekä kansallisissa ja alueellisissa rahoituselimissä. Viiden viime vuoden aikana EU ja sen jäsenvaltiot ovat investoineet kvanttitekniologiaan yli 11 miljardia euroa. Useat jäsenvaltiot ovat laatineet omia kansallisia strategioitaan ja etenemissuunnitelmiaan, mutta riittämätön koordinaatio on johtanut toimien päällekkäisyyteen, resurssien tehottomaan käyttöön ja kasvavaan kilpailuun osaajista. Tämä uhkaa heikentää EU:n kykyä saavuttaa kriittinen massa ja mittakaava, mikä jumiuttaa kaupallistamisputkea ja viime kädessä rajoittaa maailmanlaajuisesti kilpailukykyisen eurooppalaisen teollisuuskapasiteetin ja yhtenäisten eurooppalaisten kvanttimarkkinoiden kehittämistä.

On myös syytä huomata, että **vaikka Eurooppa on johtavassa asemassa kvanttialan alkuvaiheen yrittäjyydessä, sen kehittyvältä ekosysteemiltä puuttuvat tällä hetkellä kestävä taloudellinen tuki ja riittävät markkinanäkymät**. Euroopan suurten teollisten toimijoiden joukossa ei myöskään ole riittävästi kvanttitekniologian varhaisia omaksujia, minkä vuoksi kehittyvillä startup-ekosysteemeillä ei ole riittäviä markkinanäkymiä.

Tämä aloite perustuu kilpailukykykompassiin¹¹, jossa kvanttiala määritellään yhdeksi keskeisistä teknologia-aloista, joilla on merkitystä tulevaisuuden taloudessa¹². Aloitteessa esitetään kvanttialan sidosryhmien näkemyksiä¹³ hyvin vastaava, kattava strategia, jolla pyritään varmistamaan Euroopalle johtava asema maailmanlaajuisessa kvanttikilpailussa. Strategialla tuetaan tämän kaksikäyttöpotentiaalitekniologian kehittämistä EU:ssa ja autetaan siten myös panemaan täytäntöön varautumisunionistrategian¹⁴, Niinistön raportin¹⁵, Euroopan puolustuksen tulevaisuutta koskevan valkoisen kirjan¹⁶, sisäisen turvallisuuden strategian (ProtectEU)¹⁷ ja Euroopan unionin kansainvälisen digitaalistrategian¹⁸ suosituksia.

1.2 EU:n kvantti-strategia: visio ja strateginen täytäntöönpanokehys

⁸ Lewis, A., Scudo, P., Cerutti, I., Travagnin, M., Marcantonini, C. ym., *Future Directions for Quantum Technology in Europe*, Euroopan unionin julkaisu-toimisto, Luxemburg, 2025, JRC141050. Julkaistaan heinäkuun puolivälissä.

⁹ [Euroopan investointipankki, *A Quantum Leap in Finance*, 2022.](#)

¹⁰ Ks. alaviite 8.

¹¹ [Kilpailukykykompassi – Euroopan komissio.](#)

¹² Euroopan taloudellisen turvallisuuden strategiassa ja siihen liittyvässä, 3. lokakuuta 2023 annetussa komission suosituksessa kvanttiala määritellään kriittiseksi teknologia-alaksi.

¹³ Sidosryhmät ilmaisivat näkemyksensä ennen kvantti-strategian julkaisemista käynnistettyyn kannanottopyyntöön antamissaan vastauksissa: [EU:n kvantti-strategia](#). Sidosryhmien mielestä EU:n kvantti-strategialla olisi nopeutettava siirtymistä kehityksestä tuotantoon perustutkimuksen keskeistä roolia unohtamatta, laajennettava olemassa olevia yleiseurooppalaisia kvantti-infrastruktuureja ja kehitettävä kvanttialan koulutuksen saannutta ammattitaitoista työvoimaa. Sidosryhmät korostavat myös, että on tärkeää kasvattaa unionin valmistuskapasiteettia sekä poistaa taloudelliset, sääntelyyn liittyvät ja hallinnolliset esteet, jotka rajoittavat tai hidastavat startup-yritysten laajentumista kypsiksi, kannattaviksi yritysiksi sisämarkkinoilla.

¹⁴ [Varautuminen – Euroopan komissio.](#)

¹⁵ Niinistön raportti: https://commission.europa.eu/document/download/5bb2881f-9e29-42f2-8b77-8739b19d047c_en?filename=2024_Niinisto-report_Book_VF.pdf.

¹⁶ Ks. alaviite 6.

¹⁷ [Sisäisen turvallisuuden ProtectEU-strategia – Euroopan komissio.](#)

¹⁸ [Yhteinen tiedonanto EU:n kansainvälisestä digitaalistrategiasta, 5. kesäkuuta 2025.](#)

Euroopalla on erittäin hyvät valmiudet johtaa käynnissä olevaa kvanttivallankumousta. Visiona on tehdä Euroopasta kvanttiteollisuuden voimatekijä ja kvanttiteknologioiden maailmanmarkkinoiden johtaja hyödyntäen jatkuvaa tieteellistä johtoasemaa.

Strategisessa visiossa hyödynnetään EU:n olemassa olevia vahvuuksia, joita ovat maailmanluokan tutkimus, tieteellinen huippuosaaminen, elinvoimainen startup-yrityserusta ja vahva julkinen investointirakenne. Nämä keskeiset pilarit ovat olennaisen tärkeitä pyrittäessä vähentämään hajanaisuutta, nopeuttamaan teollista käyttöönottoa ja varmistamaan strateginen riippumattomuus kvanttiteknologioiden alalla.

Tämän vision saavuttamiseksi strategiassa keskitytään viiteen toisiinsa liittyvään toimintalaan:

- **1. toiminta-ala – Tutkimus ja innovointi:** Huippuosaamisen vahvistaminen kaikkialla Euroopassa johtoaseman saavuttamiseksi kvanttiteologiassa ja teollisuuden muutoksessa.
- **2. toiminta-ala – Kvantti-infrastruktuurit:** Kestävien, skaalautuvien ja koordinoitujen infrastruktuurikeskusten kehittäminen tuotannon, suunnittelun ja sovellusten kehittämisen tukemiseksi.
- **3. toiminta-ala – EU:n kvanttiekosysteemin vahvistaminen:** Toimitusketjujen turvaaminen ja kvanttiteknologioiden teollistaminen investoimalla startup- ja scale-up-yrityksiin.
- **4. toiminta-ala – Avaruudessa käytettävät kvanttiteknologiat ja kvanttiteknologiat, joilla on kaksikäyttöpotentiaalia (turvallisuus ja puolustus):** Turvallisten, itsenäisten kvanttiluomien sisällyttäminen Euroopan avaruus-, turvallisuus- ja puolustusstrategioihin.
- **5. toiminta-ala – Kvanttialan osaaminen:** Monipuolisen maailmanluokan työvoiman kehittäminen koordinoitujen, ketterien koulutusjärjestelmien ja -ohjelmien avulla sekä osaajien liikkuvuuden edistäminen kaikkialla EU:ssa.

Näitä viittä strategista toimintalaa tuetaan älykkäällä toteuttamismenetelmällä. Kuten jäljempänä 3.1 jaksossa ”EU:n kvanttistrategian täytäntöönpanon tärkeimmät osatekijät” kuvataan, menetelmä perustuu teknologioiden elinkaaren perustuvaan iteratiiviseen kehityssilmukkaan, jossa kvanttialan tieteellisiä löydöksiä yhdistetään jatkuvasti tosielämän sovelluksiin ja siirretään markkinoille, mikä saa aikaan sekä lyhyen että pitkän aikavälin talousvaikutuksia. Tämä toteuttamismenetelmä auttaa houkuttelemaan johtavia teollisia ja julkisia käyttäjiä sekä varmistaa markkinoille pääsyn ja EU:n kehittyvän kvanttiekosysteemin kestävyys.



Kaavio 1: EU:n kvanttistrategian viisi strategista toimintalaa

EU täydentää täytäntöönpanon elinkaarta luomalla edistymisen seuraamiseksi ja helpottamiseksi strategisen hallintokehityksen.

Strategia perustuu vuonna 2023 annettuun kvanttiteknologioita koskevaan eurooppalaiseen julistukseen¹⁹. Tämä oli keskeinen poliittinen askel, jolla jäsenvaltioiden toimet linjattiin yhteisten painopisteiden ja eurooppalaisten arvojen mukaisesti. Strategia perustuu myös kvanttiteknologian koordinoitiryhmän²⁰ koordinoimana perustettujen kaikkien EU:n jäsenvaltioiden asiantuntijaryhmien havaintoihin²¹.

2 EU:n kvanttistrategian strategiset toiminta-alat

2.1 Toiminta-ala 1: Euroopan kvanttialan tutkimus ja innovointi

Euroopan kvanttialan tutkimuspohja, jota tuetaan useilla EU:n ja kansallisilla ohjelmilla, on muodostanut vankan tieteellisen perustan. Viiden viime vuoden aikana EU on investoinut kvanttiteknologioihin lähes 2 miljardia euroa, jota täydentää jäsenvaltioiden antama yli 9 miljardin euron julkinen rahoitus. Näillä varoilla on tuettu kvanttialan tutkimusta ja koulutusta, kansallisten kvanttiklustereiden ja kvanttilaskentaa ja klassista laskentaa yhdistelevien supertietokonekeskusten perustamista, kvanttiteknologiateollisuutta sekä kansainvälisiä kumppanuuksia.

Merkittävästä kansallisesta ja EU:n tason rahoituksesta huolimatta Euroopan kvanttialan tutkimus on edelleen hajallaan eri jäsenvaltioissa ja välineissä, mikä aiheuttaa päällekkäisyyttä, puutteita painopistealueilla ja kilpailua niukasta osaamisesta. Jos toimia ei koordinoita eikä niissä keskitytä kunnolla yhteisiin strategisiin painopisteisiin, Eurooppa ei saavuta kvanttialaa koskevia tavoitteitaan.

Siksi komissio ehdottaa erityistä **Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoitetta**. Sillä pyritään linjaamaan EU:n ja jäsenvaltioiden toimet yhteisesti sovitun tutkimus-, teknologia- ja innovointiohjelman mukaisesti. Siinä yhdistetään toimia yhteisten aiheiden perusteella sekä asetetaan yhteisiä tavoitteita johdonmukaisuuden varmistamiseksi, päällekkäisyyksien välttämiseksi ja kriittisen massan saavuttamiseksi.

Aloite jäsennetään seuraavien keskeisten toimintavaiheiden mukaisesti:

- **Tutkimus:** Tuetaan perustutkimusta, teknologista kehitystä ja innovointitoimintaa kvanttilaskennan, -viestinnän ja -tunnistuksen aloilla.
- **Tutkimuksesta tuotantoon:** Investoidaan lisää huipputason kvanttilaskenta-, -viestintä- ja -tunnistusinfrastruktuurien ja kvanttilaitteistojen rakentamiseen, asiaankuuluvien mahdollistavien teknologioiden kehittämiseen sekä viimeisintä kehitystä edustaviin pilottituotantolinjoihin ja suunnitteluvälineisiin, joilla tuetaan teollistamista ja ekosysteemien kehittämistä.
- **Soveltaminen ja käyttö:** Tuetaan sovellusten kehittämistä keskeisillä julkisilla ja teollisilla aloilla ja varmistetaan, että kaikilla kvanttialoilla saavutettu tieteellinen edistys siirtyy tosielämän sovelluksiin ja saa aikaan vaikutuksia.

Edellä mainitun lisäksi aloitteeseen sisältyy investointeja osaajien houkuttelemiseen ja osaamisen kehittämiseen. Tällä pyritään varmistamaan, että kvanttialalla on tulevaisuudessa saatavilla hyvin koulutettua työvoimaa.

Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoite toteutetaan tulevassa kvanttisäädöstä koskevassa ehdotuksessa määriteltävän EU:n tason hallintokehyksen kautta. Tällä välin EuroHPC-yhteisyrityksen²² toimeksiantoa laajennetaan muuttamalla sen perustamisasetusta, jotta se voidaan sovittaa saumattomasti yhteen Horisontti Eurooppa -puiteohjelman,

¹⁹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-declaration-quantum-technologies>.

²⁰ <https://ec.europa.eu/transparency/expert-groups-register/screen/expert-groups/consult?lang=fi&groupID=3931>.

²¹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/shaping-european-strategy-quantum-technology-main-orientations-and-recommendations>.

²² [Neuvoston asetus \(EU\) 2021/1173](#) Euroopan suurteholaskennan yhteisyrityksen perustamisesta.

Digitaalinen Eurooppa -ohjelman, avaruus- ja puolustusohjelmien sekä muiden rahoitusvälineiden kanssa.

- Muutetaan EuroHPC-yhteisyritystä koskevaa asetusta siten, että yhteisyrityksen toimeksianto laajennetaan koskemaan kaikkia kvanttitekniologioita, ja siirretään ensimmäisenä toimenä Horisontti Eurooppa - puiteohjelman nykyisen pilarin 2 kvanttialan tutkimus- ja innovointitoimet yhteisyrityksen piiriin [vuoden 2025 kolmas neljännes].
- Esitetään ehdotus kvanttisäädökseksi [2026].

2.2 Toiminta-ala 2: Euroopan kvantti-infrastruktuurit

EU investoi tällä hetkellä suuriin kvantti-infrastruktuurialoitteisiin, kuten EuroHPC-yhteisyrityksen kvanttilaskentajärjestelmiin, turvalliseen EuroQCI-kvanttaviestintäinfrastruktuuriin²³ unionin turvallisten yhteyksien ohjelman (IRIS²)²⁴ puitteissa sekä kehittyneisiin tunnistusalustoihin. EU investoi myös useisiin pilottituotantolinjoihin siruyhteisyrityksen²⁵ puitteissa kvanttitekniologioiden teollistamisen valmistelemiseksi Euroopassa.

Nämä julkisesti rahoitetut kvantti-infrastruktuurit ovat Euroopan kvanttialan tavoitteiden strateginen edellytys. Ne tarjoavat mahdollisuuden käyttää huipputason kvanttijärjestelmiä ja -alustoja, jotka eivät muutoin olisi monienkaan eurooppalaisten kvanttialan sidosryhmien ja käyttäjien saatavilla korkeiden kehitys- ja käyttökustannusten, teknisen monimutkaisuuden tai tiettyjen palvelujen, kuten suojatun viestinnän, tarpeen vuoksi. Ne toimivat innovaatioiden testialustana ja tarjoavat osajille harjoittelu ympäristön ja teollisuudelle, pk-yrityksille ja tutkijoille tilan, jossa on mahdollista kokeilla uusia kvanttitekniologioita, lisätä ymmärrystä niistä ja ohjata niiden kehitystä. Ne ovat olennaisen tärkeitä, jotta voidaan nopeuttaa kvanttitekniologian omaksumista, lisätä teollisuuden kapasiteettia sekä varmistaa, että kvanttitekniologian hyödyt jakautuvat laajalti koko unionissa.

Tulevaisuudessa EU jatkaa ja laajentaa investointejaan julkisiin kvantti-infrastruktuureihin **laskennan ja simuloinnin, viestinnän** sekä **tunnistuksen** aloilla, kuten jäljempänä kuvataan.

2.2.1 Kvanttilaskenta ja -simulointi












Kvanttilaskenta voi mullistaa kykymme ratkaista monimutkaisia laskennan optimointiongelmia, jotka ovat kaikkein tehokkaimpienkin suurteholaskentajärjestelmien ulottumattomissa. Sillä odotetaan olevan katalyyttisiä vaikutuksia useilla aloilla: esimerkiksi lääke- ja kemianteollisuuden simulaatiot voivat mahdollistaa uusien lääkkeiden ja kemikaalien kehittämisen, energia-alalla kvanttilaskenta voi auttaa löytämään uusia akkumateriaaleja tai korkean lämpötilan suprajohteita ja merkittäviä parannuksia on mahdollista saavuttaa myös esimerkiksi logistiikassa ja rahoitus alalla. Lisäksi kvanttietokoneet pystyvät ratkaisemaan tällaisia ongelmia paljon energiatehokkaammin kuin klassiset supertietokoneet. Kvanttietokoneilla ei niinkään korvata suurteholaskentajärjestelmiä, vaan ne täydentävät näitä ja toimivat kiihdyttiminä, jotka parantavat laskentaratkaisun yleistä suorituskykyä ja tuottavat tuloksia paljon aiempaa nopeammin ja energiatehokkaammin. Kvanttilaskentaa käytetään myös yhä enemmän tekoälyn rinnalla ja tukena. Kvanttilaskenta voi esimerkiksi nopeuttaa tekoälymallien kouluttamista, kun taas tekoälyä hyödynnetään kvanttilaskennan virheenkorjauksessa, mikä parantaa järjestelmän yleistä luotettavuutta.

²³ [Eurooppalainen kvanttaviestintäinfrastruktuuri \(EuroQCI\) -aloite | Euroopan digitaalista tulevaisuutta rakentamassa.](#)

²⁴ [IRIS² | Turvallisia yhteyksiä – Euroopan komissio, asetus \(EU\) 2023/588.](#)

²⁵ [Neuvoston asetus \(EU\) 2023/1782 siruyhteisyrityksen perustamisesta.](#)

Kvanttilaskennassa ollaan tällä hetkellä ratkaisevassa vaiheessa: pienen mittakaavan kvanttiprosessoreita on jo olemassa, mutta yleisenä haasteena on teknologian laajentaminen täysin toimintakykyisiksi kvanttietokoneiksi, jotka voisivat lopullisesti osoittaa kvanttilaskennan hyödyt. Tällä hetkellä keskeisenä haasteena on, miten voidaan rakentaa suuremman mittakaavan koneita, jotka toisivat selvän kvanttiedun²⁶ klassisiin tietokoneisiin verrattuna. Seuraavien 5–10 vuoden aikana kvanttietokoneiden kyky ratkaista tosielämän ongelmia kasvaa valtavasti. Siksi EU ja sen jäsenvaltiot sekä muut merkittävät toimijat – kuten Australia, Etelä-Korea, Japani, Kanada, Kiina, Yhdistynyt kuningaskunta ja Yhdysvallat – investoivat voimakkaasti kvanttiteknologioihin tavoitellessaan johtoasemaa kvanttivallankumouksessa.²⁷ Tällä hetkellä on kehitteillä useita kvanttilaskenta-alustoja, joista jokainen perustuu erilaiseen teknologiseen lähestymistapaan.²⁸ Taulukossa 1 on lueteltu eri puolilla maailmaa sijaitsevien yritysten kvanttietokoneet.

Teknologia-alusta	Suprajohtavuus	Ioniloukku	Kylmät atomit	Fotoniikka	Spinkubitit
 EU:n koneet	 17	 6	 8	 5	 3
 Yhdistyneen kuningaskunnan koneet	4	6	0	5	2
 Yhdysvaltojen koneet	26	7	4	2	0
 Kanadan koneet	13	0	0	1	0
 Kiinan koneet	2	0	0	0	0
 Muiden maiden (ROW) ²⁹ koneet	1	0	0	1	3

Taulukko 1: Kvanttilaskennan ja -simuloinnin toimittajien toimintaympäristö

Euroopassa kehitetään kansallisten ohjelmien ja EU:n kvanttiteknologian lippulaivaohjelman³⁰ puitteissa kaikkia tärkeimpiä edellä kuvattuja kvanttilaskentateknologioita. Nämä toimet ovat johtaneet toimivien prototyyppien ja ohjelmistovälineistöjen kehittämiseen sekä useiden syväteknologia-alan spin-off-yritysten perustamiseen. Lisäksi useissa EU:n jäsenvaltioissa ollaan jo ottamassa käyttöön EuroHPC-yhteisyrityksen puitteissa ensimmäisiä kvanttilaskentajärjestelmien prototyyppijä (ks. kaavio 2). Tämä varhainen käyttöönotto palvelee kahta keskeistä tarkoitusta: se tukee itsenäisen, riippumattoman ja kilpailukykyisen

²⁶ OECD, *A Quantum Technologies Policy Primer*, 2025. Kvanttiedulla tarkoitetaan pistettä, jossa kvanttietokone suorittaa tietyn tehtävän tehokkaammin, nopeammin, tarkemmin tai vähemmällä energialla kuin parhaat mahdolliset klassiset supertietokoneet. Tämä virstanpylväs on käytännön osoitus kvanttilaskennan paremmuudesta tietyissä laskentaongelmissa, vaikka tällaiset ongelmat rajoittuvatkin kapealle alueelle.

²⁷ Esimerkiksi Yhdysvaltojen kansallinen kvanttialoite (<https://www.quantum.gov/>), Kiinan vuoteen 2030 ulottuva kvanttialan etenemissuunnitelma, Japanin kvanttiteknologia- ja -innovointistrategia (https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy_r08.pdf), Australian kansallinen kvanttistrategia (<https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-05/national-quantum-strategy.pdf>), Kanadan kansallinen kvanttistrategia (<https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en/canadas-national-quantum-strategy>) ja Yhdistyneen kuningaskunnan kansallinen kvanttistrategia (<https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>).

²⁸ Edustavat esimerkit kvanttilaskenta-alustoista perustuvat suprajohtaviin piireihin, loukutettuihin ioneihin, neutraaleihin atomeihin, fotoniikkaan, timantteihin tai spinkubitteihin. Niistä jokaiseen liittyy erilaisia laskennan skaalautuvuutta, luotettavuutta ja koherenssia koskevia hyötyjä ja teknisiä haasteita.

²⁹ ROW = Rest Of the World.

³⁰ [Kvanttiteknologian lippulaivaohjelman kotisivu | Quantum Flagship.](#)

eurooppalaisen kvanttiteollisuuden syntymistä luomalla varhaiset markkinat laitteistojen ja ohjelmistojen toimittajille sekä mahdollistaa samalla sisämarkkinoiden kehittämisen kasvattamalla käyttötapausten ja käyttäjien määrää ja mittakaavaa.

Eurooppa on myös mahdollistanut onnistuneesti kvanttietokoneiden hybridisoinnin suurteholaskennan kanssa varhaisessa vaiheessa ja saavuttanut siten EU:n digitaalisen vuosikymmenen tavoitteen, jonka mukaan Euroopalla olisi oltava ensimmäinen kvanttikiihdytetty tietokone vuoteen 2025 mennessä.³¹ Tämä on strateginen virstanpylväs: se tukee eurooppalaista kvanttilaitteistoekosysteemiä, edistää teollisten käyttötapausten syntymistä ja luo perustan kehittyneemmille hybridijärjestelmille. Kaikki tämä edistää pitkän aikavälin tavoitetta saavuttaa kattava kvanttilaskentakapasiteetti vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi tämän hybridisaation ansiosta eurooppalaiset tekoälytehtaat³² voivat käyttää kvanttietokoneita, mikä edistää tekoälyn maanosa -toimintasuunnitelman³³ tavoitteiden saavuttamista.

Tulevaisuudessa Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoitteella tuetaan edelleen koordinoituja toimia, jotta voidaan nopeuttaa siirtymistä nykyisistä ensimmäisen sukupolven kvanttilaitteista täysin toimintakykyisiin koneisiin. Tavoitteena on, että Eurooppa pystyy hankkimaan seuraavan sukupolven kvanttietokoneet ensisijaisesti EU:n toimittajilta. Samalla näitä alustoja pyritään laajentamaan asteittain siten, että jokaisessa järjestelmässä on noin sata virhekorjattua kubittia³⁴ vuoteen 2030 mennessä. Tämä tavoite on linjassa merkityksellisen laskentaedun saavuttamista koskevien teollisuuden etenemissuunnitelmien kanssa. **Euroopan tavoitteena on olla vuoteen 2035 mennessä ensimmäinen maanosa, joka saavuttaa tuhansien virhekorjattujen kubittien mittakaavan alustaa kohti. Tätä pidetään välttämättömänä kynnysarvona tosielämän ongelmien ratkaisemiseksi.**

Tämän virstanpylvään saavuttaminen olisi käännekohta käytännön kvanttiedun³⁵ kannalta ja tekisi Euroopasta kvanttilaskennan maailmanlaajuisen johtajan. Se vahvistaisi Euroopan kvanttilaskentayritysten kehitystä ja auttaisi edistämään edelläkävijäkäyttäjäsovellusten kehittämistä ja täytöntöönpanoa vahvistaen samalla unionin teknologista riippumattomuutta.

³¹ Kvantti- ja suurteholaskentaa yhdistelemissä hybridialustoissa kvanttiprosessoreja integroidaan klassisiin suurteholaskentajärjestelmiin varhaisen rinnakkaisprosessoinnin mahdollistamiseksi, jolloin kvanttiprosessorit toimivat perinteisten supertietokoneiden laskennan kiihdyttiminä. EuroHPC-yhteisyrityksen ja kansallisten infrastruktuurien puitteissa toimii tällä hetkellä kolme hybridialustaa, jotka sijaitsevat Saksassa, Ranskassa ja Suomessa. Vuoden 2025 loppuun mennessä hybridisaatio on vakiona kaikissa eurooppalaisissa kvanttilaskentalaitoksissa, mikä vahvistaa tätä merkittävää saavutusta.

³² [Tekoälytehtaat | Euroopan digitaalista tulevaisuutta rakentamassa.](#)

³³ [Tekoälyn maanosa – Euroopan komissio.](#)

³⁴ Nykyisten kvanttietokoneiden tuottamat tulokset eivät ole vielä täysin tarkkoja (kvanttilaskenta on edelleen altis merkittäville virheille). Siksi tehokkaan vikojen korjaamisen toteuttaminen tarkkoja laskentatuloksia tuottavien virhekorjattujen kubittien (eli kvanttietokoneen prosessointiyksiköiden) saavuttamiseksi on tärkeä virstanpylväs pyrittäessä saavuttamaan täysin toimintakykyinen kvanttietokone tulevaisuudessa.

³⁵ Ks. alaviite 26.



Kaavio 2: EuroHPC-yhteisyrityksen supertietokoneet, kvanttietokoneet ja simulaattorit kartalle sijoitettuina

Samalla Eurooppa jatkaa investoimista kvanttisimulaattoreihin³⁶, jotka pystyvät jäljittelemään kvanttijärjestelmän käyttäytymistä käyttäen vähemmän monimutkaista laitteistoa. Tällaisten kvanttisimulaattoreiden avulla pystytään jo nyt tekemään läpimurtoja materiaalitieteessä, kvanttikemiassa ja perusfysiikassa. Eurooppa on eturintamassa kehittämässä ja ottamassa käyttöön tällaisia alustoja, joiden odotetaan tuottavan arvokkaita tuloksia jo ennen yleiskäyttöisiä kvanttietokoneita, koska niiden laitteistovaatimukset ovat alhaisemmat.

Lisäksi on tarkoitus kehittää EU:n *kvanttilaskentaa ja -simulointia koskeva etenemissuunnitelma*, jossa vahvistetaan selkeät vertailuarvot ja seurantaprosessi erityyppisten kvanttiluostojen teknologisen kehityksen ja kypsyyden seuraamiseksi. Etenemissuunnitelman avulla voidaan arvioida säännöllisesti, mitkä alustat ovat edistyneimpiä tai lupaavimpia pitkällä aikavälillä. Tämä näyttöön perustuva lähestymistapa ohjaa EU:n strategisia päätöksiä ja auttaa priorisoimaan kvanttilaskentaan tehtäviä tulevia julkisia investointeja.

- Julkaistaan EU:n kvanttilaskentaa ja -simulointia koskeva etenemissuunnitelma [2026].
- Laajennetaan EuroHPC-yhteisyritykseen perustuvien kvanttilaskentajärjestelmien määrää ja kapasiteettia [vuodesta 2026 eteenpäin] ja perustetaan kvanttilaskennan seurantakehys [2026].

³⁶ PASQuanS2: [Programmable Atomic Large-scale Quantum Simulation 2 – SGA1 | PASQuanS2.1 | Projekt | Fact Sheet | HORIZON | CORDIS | Euroopan komissio.](#)

2.2.2 Kvanttaviestintä

Kvanttaviestintä mahdollistaa ultrasuojatun tiedonsiirron, turvaa kriittiset infrastruktuurit ja suojelee arkaluonteisia tietoja tulevilta kvanttiteknologioihin perustuvilta kyberuhilta³⁷. Sen ansiosta voidaan myös luoda kvanttaviestintäverkkoja kvanttilaitteiden, kuten antureiden ja tietokoneiden, yhdistämiseksi niin kutsutuksi **kvantti-internetiksi**. Kaksikäyttöpotentiaalinsa ansiosta kvanttaviestintä tukee sekä siviilisovelluksia (esimerkiksi finanssitransaktioiden tai julkisten verkkojen turvaaminen) että puolustustarpeita (esimerkiksi suojattu viestintä sotilasoperaatioissa tai kansalliseen turvallisuuteen liittyvissä operaatioissa). EU rakentaa aloitteidensa, kuten **eurooppalaisen kvanttaviestintäinfrastruktuurin (EuroQCI)**³⁸ ja **kvantti-internetin**, avulla täysin riippumatonta, luotettavaa kvanttaviestintäinfrastruktuuria, joka suojelee kriittisiä tietovirtoja, turvaa julkisen viestinnän ja kriittiset infrastruktuurit sekä vahvistaa Euroopan sisäistä turvallisuutta ProtectEU-strategian³⁹ mukaisesti.

EuroQCI-aloite

EuroQCI-aloitteessa kehitetään suojattu kvanttaviestintäinfrastruktuuri, joka kattaa koko EU:n, myös sen merentakaiset alueet. Se on osa unionin IRIS²-aloitetta, ja se koostuu strategisia kohteita maiden sisällä ja välillä yhdistäviin kuituviestintäverkkoihin perustuvasta maanpäällisestä segmentistä sekä satelliitteihin perustuvasta avaruussegmentistä.

Aloite etenee nopeasti: 26 jäsenvaltiota on parhaillaan ottamassa käyttöön kansallisia maanpäällisiä kvanttaviestintäverkkoja, joita käytetään myös suojatun viestinnän mahdollistavaan kvanttiavaimen jakamiseen (jäljempänä ”QKD”) käytettävän satelliitin (Eagle 1) testaamiseen. Satelliitti on tarkoitus laukaista vuonna 2026, ja se on ensimmäinen eurooppalainen demonstraatio kiertoradalla.

Näitä maanpäällisiä kvanttaviestintäverkkoja käytetään QKD:n toteuttamiseen ja testaamiseen tosielämän ympäristöissä. Pilottihankkeita ovat muun muassa lääketieteellisten tietojen suojattu siirto sairaaloiden välillä, salattu viestintä viranomaislaitosten välillä ja QKD-linkit kriittisessä infrastruktuurissa, kuten sähköverkon valvontakeskuksissa. Hankkeilla pyritään osoittamaan, miten QKD voi turvata keskeiset julkiset palvelut ja kansalliset toiminnot.

EU tukee tätä käyttöönottoa hyödyntämällä kokonaisvaltaisesti eurooppalaista kvanttikomponenttien, -laitteiden ja -järjestelmien⁴⁰ toimitusketjua. Käyttöön ollaan ottamassa myös kattavaa QKD:n testaus- ja arviointilaitosta, joka tarjoaa sertifiointia edeltäviä ympäristöjä kvanttiavaimen jakamiseen käytettäviä komponentteja varten ja valmistelelee niiden integrointia päästä päähän ulottuviin järjestelmiin ja verkkoarkkitehtuureihin.⁴¹

Lisäksi toiminta liittyy läheisesti EU:n kyberturvallisuuspolitiikkaan, kuten NIS 2 -direktiiviin, kyberturvallisuusasetuksen tulevaan tarkistamiseen ja ENISAn kvanttiturvallista salausta koskevaan etenemissuunnitelmaan. Tällä pyritään varmistamaan, että kvanttaviestintä-, -tunnistus- ja -laskentainfrastruktuureissa otetaan alusta alkaen käyttöön puolustustason turvallisuustoimenpiteitä, toimitusketjun eheyden tarkastuksia ja valmiuksia reagoida häiriöihin.

³⁷ Uhka, jonka kvanttietokoneet aiheuttavat nykyisille salausprotokollille.

³⁸ [Eurooppalainen kvanttaviestintäinfrastruktuuri \(EuroQCI\) -aloite | Euroopan digitaalista tulevaisuutta rakentamassa.](#)

³⁹ [Sisäisen turvallisuuden ProtectEU-strategia – Euroopan komissio.](#)

⁴⁰ Näihin teknologioihin kuuluvat muun muassa kvanttisatunnaislukugeneraattorit (QRNG), yksittäisten fotonien kvanttilähteet ja ilmaisimet, lomittumiseen perustuvat QKD-moduulit ja integroidut televiestintätason alustat. Toimitusketju on sertifioitu EU:n turvallisten yhteyksien ohjelman (asetus (EU) 2023/588) mukaisesti.

⁴¹ Laitos mahdollistaa tiukan luonnehdinnan, turvallisuustestauksen sekä standardoinnin varhaisen tukemisen. Sen toiminta on sovitettu tiiviisti yhteen Euroopan telealan standardointilaitoksen (ETSI) kvanttiavaimen jakamiseen liittyvien toimien kanssa. www.etsi.org/technologies/quantum-key-distribution.

Myös muut johtavat alueet investoivat maanpäällisiin ja avaruudessa oleviin kvanttiturvallisiin valmiuksiin. Esimerkiksi Kiina on demonstroinut avaruuden ja maan välistä QKD:tä ja kehittänyt yli 2 000 kilometriä suojattuja maanpäällisiä, kaupunkien välisiä yhteyksiä.⁴² Yhdysvallat puolestaan investoi voimakkaasti kvantti-internetin testialustoihin ja kansallisiin laboratoriokumppanuuksiin, mutta se ei ole vielä käynnistänyt koko mantereen laajuista, federoitua suojatun viestinnän ohjelmaa. Eurooppalainen malli, jossa maanpäälliset ja satelliittisegmentit integroidaan IRIS²-aloitteen kautta ja joka perustuu sisäänrakennetun turvallisuuden periaatteisiin ja EU:n valvomiin komponentteihin, asemoi EU:n luotettavien kvantti-verkkojen kehityksen eturintamaan.

Kaudella 2025–2035 EU laajentaa edelleen EuroQCI-aloitetta.

Ensin, vuosina 2025–2030, EU **ottaa käyttöön jäsenvaltiot yhdistäviä, rajat ylittäviä maanpäällisiä kvanttiyhteyksiä** sekä maa-asemia, jotka yhdistävät EuroQCI:n maanpäälliset segmentit EuroQCI:n satelliitteihin avaruuteen perustuvaa kvanttiavaimen jakamista varten. Vuoteen 2030 mennessä luodaan näin ensimmäinen koko EU:n kattava yhteenliitetty, kokeellinen, maanpäällinen ja avaruudessa sijaitseva suojattu viestintäverkko.

Toiseksi EU **helpottaa markkinoille saattamista ja turvallisuussertifiointia**. Se tukee edelleen kvantti viestintäteknologioiden ja -protokollien⁴³ kehittämistä, kypsyttämistä ja käyttöönottoa sekä niiden säännöllistä integrointia EuroQCI:hin. Lisäksi EuroQCI:n avaruussegmenttiä parannetaan, jotta voidaan tarjota päästä päähän ulottuvia, sekä avaruus- että maanpäällisiin järjestelmiin perustuvia suojattuja QKD-palveluja, jotka integroidaan asteittain IRIS²-avaruuspalvelujen seuraavaan sukupolveen. Yleinen EuroQCI-infrastruktuuri sertifioidaan yhdenmukaistetun EU:n järjestelmän puitteissa luottamuksen ja vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi.

Kvantti-internetaloite

Kvantti-internetaloite täydentää EuroQCI:tä valmistelemalla kvantti-verkkojen tulevaa sukupolvea. Sillä luodaan perusta hajautetulle kvanttilaskennalle ja -tunnistukselle sekä ultrasuojatulle datanjakamiselle.

Eurooppa on jo määritellyt täydellisen arkkitehtuurieritelmän kvantti-internetverkolle ja demonstroinut kvantti-verkkoja suurkaupunkien mittakaavassa.⁴⁴ Lisäksi on perustettu käyttötapauskehyksiä ja ekosysteemien rakentaminen on alkanut kvantti-internetallianssin (QIA)⁴⁵ teknologiafoorumien käynnistymisen myötä. Kyseessä on ensimmäinen kvantti-internetiä käsittelevä maailmanlaajuinen, avoin foorumi. Euroopassa on myös perustettu ensimmäisiä teollisia kvantti-internetiin liittyviä spin-off-yrityksiä ja lanseerattu ensimmäisiä tuotteita, mikä on merkki teknologian varhaisesta siirtymisestä teollisuuteen tällä alalla.

Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoitteella tuetaan kvantti-internetin teknologista kehitystä⁴⁶ ja varmistetaan erilaisten taustalla olevien laskenta-alustojen yhteentoimivuus. Vuonna 2026 aloitteella tuetaan eurooppalaista kvantti-internetiä edistävän pilottilaitoksen

⁴² Pekingin ja Shanghain välisen runkoverkon ja Micius-satelliittiohjelman (joka on nyt korvattu Jinan-1-satelliittiohjelmalla) kautta.

⁴³ Tällaisia teknologioita ovat esimerkiksi kvanttitoistimien toiminnan kannalta kriittiset, seuraavan sukupolven käyttöiältään pitkäkestoiset ja erittäin tarkat optiset muistit sekä sellaisten täysin toimintakykyisten kvanttitoistimien rakentaminen ja demonstrointi, jotka yhdistävät kaupunkiverkkoja ja jotka on testattu sekä laboratorion että tosielämän oloissa.

⁴⁴ Aloitteessa on onnistuttu saamaan aikaan *lomittuminen* kahden itsenäisesti toimivan, kymmenen kilometrin pituisen valokuidun yhdistämällä kvantti-verkkosolmun välillä. Myös kvantti-internetin laitteistojen, kuten kvanttitoistimiin liittyvän teknologian ja kvanttitoistinsolmujen, kehityksessä on saavutettu teknologista edistystä, minkä lisäksi kvanttiohjelmistopinoissa on otettu kehitysaskelaita. <https://quantuminternetalliance.org/>.

⁴⁵ <https://quantuminternetalliance.org/>.

⁴⁶ Esimerkkejä: kvanttimuistin skaalautuvuus, vakaa lomittuminen jakauma ja kvantti-verkon ohjelmistopinin kehittäminen.

perustamista. Laitos mahdollistaa keskeisten kvanttiturvallisten komponenttien testaamisen ja varhaiset käyttötapaukset, turvalliset kvanttivilvopalvelut, hajautetun laskennan ja kehittyneet validointiympäristöt ja toimii näin siltana tutkimuksen ja käyttöönoton välillä ennen täyttä toiminnallisuutta. Tavoitteena on **ottaa käyttöön täysin toimintavalmis, kvanttiturvallinen viestintäverkko vuoteen 2030 mennessä federoidun kvantti-internetin ensimmäisenä askeleena**. Tämä auttaa myös asemoimaan EU:n alan kansainvälisen standardoinnin eturintamaan. Koska kvanttilaskennan kehitys aiheuttaa viestinnän turvallisuuteen liittyviä riskejä⁴⁷, EU ja sen jäsenvaltiot panevat samalla täytäntöön **kvanttiturvallista salausta koskevan suosituksen**⁴⁸ ja ovat juuri julkaisseet samaa aihetta koskevan **etenemissuunnitelman**⁴⁹.

- Otetaan käyttöön ensimmäinen EU:n kattava yhteenliitetty, kokeellinen maanpäällinen ja avaruudessa sijaitseva suojattu viestintäverkko [vuoteen 2030 mennessä].
- Julkaistaan kvanttiviestintää koskeva etenemissuunnitelma [2026].
- Perustetaan pilottilaitos eurooppalaista kvantti-internetiä varten [2026].

2.2.3 Kvanttitunnistus

Kvanttitunnistuksessa hyödynnetään kvanttiominaisuuksia fysikaalisten ominaisuuksien mittaamiseksi ennennäkemättömän herkästi ja tarkasti, ja se ylittää merkittävästi klassisten anturien kyvyt⁵⁰. Sillä on valtava potentiaali monilla eri aloilla terveydenhuollosta, ilmastonmuutoksesta ja pohjavesivarojen seurannasta turvallisuuteen, puolustukseen, avaruusalaan ja navigointiin.

EU:n kvanttitekniikan lippulaivaohjelmalla on ollut johtava rooli kvanttitunnistusteknologioiden edistämässä perustieteestä aina sovelluslähtöiseen tutkimukseen. Toimivia prototyyppisiä testataan jo tosielämän ympäristöissä, mikä on osoitus Euroopan johtavasta asemasta niin antureihin liittyvässä innovoinnissa kuin perustan luomisessa teknologian teolliselle käyttöönotolle ja käyttämiselle sovelluksissa, joilla on kaksikäyttöpotentiaalia.

Kvanttigravimetrit

EU kehittää parhaillaan **liikkuvien ja kiinteiden kvanttigravimetrien verkostoa**⁵¹, jonka avulla voidaan havaita jopa useiden kymmenien kilometrien syvyydessä olevia maanalaisia kohteita, kuten vesivarastoja, kaasuesiintymiä, mineraalivaroja, magmakammioita tai hautautunutta infrastruktuuria. Nämä gravimetrit ovat erityisen arvokkaita ajan mittaan

⁴⁷ Esimerkiksi ”tallenna nyt, pura salaus myöhemmin” -toimintamallissa rikolliset toimijat keräävät salattuja tietoja, kuten varastettuja tietokantoja, suojattuja tiedostoja tai viestintädataa, ja säilyttävät ne tarkoituksenaan purkaa niiden salaus myöhemmin kvanttitietokoneilla haitantekotarkoituksessa. Ks. esimerkiksi [The Second Quantum Revolution: the impact of quantum computing and quantum technologies on law enforcement](#) (Europolin raportti, 2024).

⁴⁸ [Suositus kvanttiturvalliseen salaukseen siirtymisen koordinoitusta etenemissuunnitelmasta | Euroopan digitaalista tulevaisuutta rakentamassa](#).

⁴⁹ Etenemissuunnitelmassa määritellään ne kvanttiturvalliset algoritmit, kehityksen standardit ja sertifiointijärjestelmät, joita olisi kehitettävä arkaluonteisten tietojen ja kriittisten infrastruktuurien suojaamiseksi. [EU:n kyberturvallisuuden vahvistaminen kvanttiturvallisella salauksella | Euroopan digitaalista tulevaisuutta rakentamassa](#).

⁵⁰ Kvanttitunnistuksen etuja perinteisiin tunnistustekniikoihin verrattuna ovat muun muassa fysikaalisten suureiden – kuten magneettikenttien, lämpötilan ja painovoiman – parempi havaitsemisherkkyys, tarkemmat, täsmällisemmät mittaukset sekä parempi erotuskyky.

⁵¹ Taking atom interferometric quantum sensors from the laboratory to real-world applications, *Nature Reviews Physics* 1, 731–739: <https://doi.org/10.1038/s42254-019-0117-4>.

taphtuvien maanalaisten muutosten seurannassa, jolla tuetaan sovelluksia, jotka liittyvät geotieteeseen ja geofysiikkaan (kuten pinnanalainen kartoitus ja ennakkovaroitukset maanjäristyksistä), ilmastotieteeseen (kuten jäätiköiden sulamisen ja pohjaveden ehtymisen seuranta), luonnonuhkien ehkäisemiseen ja maa- ja vesirakentamiseen, sekä puolustuksen ja pelastuspalvelujen strategisia sovelluksia, kuten ihmisen tekemien maanalaisten rakennelmien havaitsemista ja kriittisen infrastruktuurin valvontaa.

Euroopassa otetaan kvanttiteknologian lippulaivaohjelman puitteissa seuraavien 3–5 vuoden kuluessa käyttöön maassa sijaitsevien gravimetrien verkosto, jota täydennetään stratosfääriasemiin sijoitetuilla gravimetreillä. Samalla EU suunnittelee ensimmäisen **kvanttiteknologiaa hyödyntävään avaruusgravimetriaan liittyvän Pathfinder-lennon**⁵² laukaisemista vuoden 2030 jälkeen. Lisäksi tutkitaan kvanttigravimetrian sisällyttämistä IRIS²-jatkotoimiin. Nämä toimet voivat tasoittaa tietä maapallon havainnointiin tarkoitetulle täysimittaiselle maassa, ilmassa ja avaruudessa sijaitsevien gravimetrien verkostolle, joka tukisi sekä tieteellistä tutkimusta että strategisia sovelluksia, myös sellaisia sovelluksia, joilla on kaksikäyttöpotentiaalia.

Kvanttiteknologiaa hyödyntävä magneettiresonanssikuvaus (Q-MRI)

Lääketieteellisen diagnostiikan alalla EU:ssa tehty tutkimus on tasoittanut tietä kvanttiteknologioita hyödyntävälle kuvantamiselle, jossa käytetään kvanttiantureita magneettisten signaalien mittaamiseen molekyylitasolla. Nämä järjestelmät tarjoavat valtavia mahdollisuuksia täsmälääketieteelle ja yksilöllistetylle terveydenhuollolle, koska niiden avulla voidaan nopeuttaa syöpien ja hermostoa rappeuttavien sairauksien havaitsemista sekä nykyaikaistaa Euroopan diagnostiikkainfrastruktuuria.

Vuonna 2025 EU tukee kvanttiteknologian lippulaivaohjelman puitteissa eurooppalaisen **Q-MRI-pilotti-infrastruktuurin**⁵³ perustamista useisiin jäsenvaltioihin. Infrastruktuuri mahdollistaa kvanttiteknologiaa hyödyntävien MRI-järjestelmien⁵⁴ kliinisen validoinnin, ja se on akkreditoitujen tutkimuskeskusten, sairaaloiden ja teollisuutta edustavien kumppaneiden avoimesti käytettävissä hyväksytyjen kvanttikuvantamisprototyypin testaamiseen. Kun infrastruktuuriin integroidaan tekoälyyn perustuvia analyysivälineitä, sillä voidaan parantaa diagnostiikan tarkkuutta, tukea aikaisempaa puuttumista ja auttaa alentamaan terveydenhuollon kokonaiskustannuksia. Ajan mittaan verkostoa laajennetaan asteittain useampiin jäsenvaltioihin.

Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoitteessa jatketaan myös Q-MRI-antureiden tutkimuksen ja kehittämisen rahoittamista sekä niiden integrointia kansanterveysalan tutkimusinfrastruktuureihin, millä pohjustetaan niiden laajempaa teollistamista.

Edellä mainitun lisäksi EU tukee jatkossakin **uusia, herkempiä kuvantamisvarjoaineita** koskevaa tutkimusta, joka tuo uusia diagnosointivalmiuksia esimerkiksi neurologiaan (kuten Alzheimerin taudin varhaisvaiheen häiriöt aivojen yhteyksissä) ja onkologiaan (kuten syövän havaitseminen aineenvaihdunnallisen kuvantamisen avulla).

Parantaakseen edelleen strategista asemaansa ja edistääkseen suunnittelua kvanttitunnistusteknologioiden ja -metrologian sekä -testausinfrastruktuureiden alalla **EU laatii koordinoitun kvanttitunnistusta, -mittausta ja -testausta koskevan eurooppalaisen etenemissuunnitelman** ja tukee aiheeseen liittyviä standardointitoimia yhteistyössä metrologialaitosten ja jäsenvaltioiden kanssa. Keskeisenä tavoitteena on myös varmistaa Euroopan strateginen riippumattomuus turvallisilla, vaatimusten mukaisilla kriittisten anturikomponenttien ja -järjestelmien toimitusketjuilla.

⁵² <https://carioqa-quantumpathfinder.eu/>; hanke toteutetaan CNES:n, DLR:n ja Airbusin johdolla.

⁵³ [Quantum-enhanced and AI-powered metabolic MRI Diagnostics](#).

⁵⁴ Toteutetaan kontrolloituina kliinisinä tutkimuksina lääkinnällisistä laitteista annetun EU:n asetuksen mukaisesti.

- Otetaan käyttöön hajautettu gravimetrijärjestelmä eri puolilla Eurooppaa [vuodesta 2026 eteenpäin].
- Julkaistaan kvanttitunnistusta koskeva etenemissuunnitelma [2026].
- Perustetaan eurooppalainen Q-MRI-pilotti-infrastruktuuri ja laajennetaan sitä eri puolille Eurooppaa [vuodesta 2025 eteenpäin].

2.3 Toiminta-ala 3: Euroopan kvanttialan ekosysteemi

Elinvoimainen, yhteenliitetty ja vankka kvanttialan ekosysteemi on ratkaisevan tärkeä Euroopan pitkän aikavälin kyvyille kehittää ja ottaa käyttöön kvanttiteknologioita laajamittaisesti. Tällä hetkellä Euroopan kvanttialan ekosysteemi koostuu noin 70:stä startup- ja scale-up-yrityksestä, syväteknologiasijoittajasta, tutkimus- ja innovointiorganisaatiosta, kansallisesta osaamisklusterista ja teollisesta toimitusketjusta. **Ekosysteemi on kuitenkin edelleen hyvin hauras.** Se koostuu pääasiassa **pienistä startup- ja scale-up-yrityksistä, joilla on merkittäviä kasvun esteitä**, kuten **epävakaat tulovirrat, laajentumiseen tarvittavan pääoman rajallinen saatavuus ja vähäinen teollisuuden kysyntä** lyhyellä aikavälillä. EU:ssa ei myöskään ole laajamittaisia kvanttilaitteistojen tarjoajia tai ankkuriloppukäyttäjiä, jotka pystyisivät edistämään kysyntää ja nopeuttamaan teollista käyttöönottoa. Tämä rakenteellinen heikkous rajoittaa sekä yksityisiä investointeja että kriittisten toimitusketjujen kehittymistä.

Jos koordinoituja toimia ei toteuteta eikä todellisia markkinamahdollisuuksia tule saataville, vaarana on, että monet startup-yrityksistä katoavat tai siirtyvät suotuisampiin ekosysteemeihin Euroopan ulkopuolelle.

Ekosysteemin tukemiseksi Euroopan on ryhdyttävä päättäväisiin toimiin, jotta voidaan edistää teollistumista, laajentaa lupaavia toimijoita, varmistaa strategiset toimitusketjut, kehittää edelläkävijämarkkinoita, suojella strategisia voimavaroja ja kouluttaa kvanttialan ammattilaisten seuraava sukupolvi.

2.3.1 Siirtyminen tutkimuksesta tuotantoon ja teollistamiseen

Kvanttiteknologioiden maailmanmarkkinat ovat vasta kehittymässä. Niiden ennustetaan kasvavan nykyisestä 2–3 miljardista eurosta 155 miljardiin euroon vuoteen 2040 mennessä.⁵⁵ Tämä ennakoitu kasvu edellyttää koordinoitua, yhtenäistä EU:n teollistamisstrategiaa, jotta eurooppalaiset yritykset voivat hyödyntää tulevia mahdollisuuksia.

Kvanttisirut ovat kvanttiteknologioiden teollistamisen ja markkinoiden kehityksen keskeinen mahdollistaja. Tällä hetkellä niiden kehitys on kuitenkin samassa vaiheessa kuin puolijohteiden kehitys oli 30–40 vuotta sitten, ja suurin osa nykyisistä kvanttilaitteista on omisteisia malleja ja suurelta osin käsintehtyjä.

Euroopan on edettävä nopeasti kohti laajamittaista, edullista kvanttisirujen valmistusta, jossa käytetään mahdollisimman paljon mikroelektroniikan ja fotonikan prosessien kanssa yhteensopivia prosesseja tai kehitetään tarvittaessa uusia prosesseja. Tämä toimintamalli mahdollistaisi olemassa olevan puolijohdeinfrastruktuurin hyödyntämisen, kustannusten vähentämisen sekä kvanttisirujen ja -laitteiden markkinoilletuontiajan lyhentämisen.

Tämän suuntaisesti EU käynnistää **pian siruyhteisyrityksen puitteissa ensimmäiset kuusi kvanttiteknologioiden pilottituotantolinjaa** sirusäädöksen⁵⁶ mukaisesti. EU ja sen jäsenvaltiot rahoittavat yhdessä kutakin pilottituotantolinjaa 40–50 miljoonalla eurolla. Ne tukevat varhaista prototyyppien luomista, suunnittelun validointia ja prosessien kehittämistä

⁵⁵ McKinsey & Company, Quantum Technology Monitor, 2024.

⁵⁶ (EU) 2023/1781: [EU:n sirusäädös | Euroopan digitaalista tulevaisuutta rakentamassa.](#)

sekä edistävät käytännön käyttötapauksia tekemällä tiivistä yhteistyötä teollisuuden kanssa. Näillä kuudella pilottituotantolinjalla laajennetaan kvanttiteknologian lippulaivaohjelman kokeellisten pilottituotantolinjojen⁵⁷ muodostama pohja teolliseksi pilottituotantolinjoiksi.

Näiden toimien ansiosta Eurooppa pystyy seuraavien 3–5 vuoden aikana kypsyttämään edelleen ja vakiinnuttamaan kvanttiteknologioita sekä muita mahdollistavia teknologioita ja prosesseja ennen ensimmäisten kvanttisirutusten tilausvalmistajien perustamista vuoden 2030 vaiheilla. Täysimittaisen teollistamisen suunnittelun ja täytäntöönpanon tukemiseksi **komissio julkaisee** EU:n kilpailukykykompassin mukaisesti **vuoden 2026 kuluessa kattavan kvanttisirutusten teollistamista koskevan etenemissuunnitelman**.

Koska suunnitteluvalmiudet ja kirjastot ovat olennaisen tärkeitä kvanttisirutusjärjestelmien kannalta, EU käynnistää siruyhteisyrityksen puitteissa **kvanttiteknologioiden suunnittelulaitoksen**. Laitos toimii puolijohdeteollisuuden pilvipohjaisen suunnittelualustan rinnalla, ja se yhdistetään kvanttiteknologioiden pilottituotantolinjoihin.

Kvanttiteknologioiden teollistamisen helpottamiseksi tarvitaan myös teknistä yhteentoimivuutta ja uusia standardeja. Siksi EU julkaisee vuonna 2026 **kvanttialan standardeja koskevan eurooppalaisen etenemissuunnitelman** ja tukee yhdessä jäsenvaltioiden kanssa teollisuuden sidosryhmien aktiivista osallistumista eurooppalaisiin ja kansainvälisiin standardointielimiin.

2.3.2 Kehittyvän eurooppalaisen kvanttiekosysteemin vahvistaminen ja laajentaminen

Eurooppalaisen kvanttiekosysteemin todellinen laajeneminen edellyttää seuraavia toimenpiteitä:

Kvanttiteknologioiden testialustojen avoimesti käytettävän keskitetyn, Euroopan laajuisen verkoston perustaminen. Kvanttiteknologiat perustuvat erittäin herkkiin järjestelmiin ja laboratorioihin,⁵⁸ jotka ovat teknisesti monimutkaisia ja erittäin kalliita. Tämän vuoksi useimpien toimijoiden, erityisesti pk-yritysten ja startup-yritysten, on epäkäytännöllistä rakentaa tai ylläpitää tällaisia laitoksia itsenäisesti. Jotta voidaan laajentaa mahdollisuutta käyttää testauslaitoksia ja erityislaitteita sekä suorittaa kokeita, kvanttiteknologian lippulaivaohjelman olemassa olevia pilottilaitoksia ollaan muuttamassa kvanttiteknologioiden testialustojen avoimesti käytettäväksi keskitetyksi, Euroopan laajuiseksi verkostoksi. Nämä laitokset tarjoavat kehittäjille, startup-yrityksille, pk-yrityksille ja tutkijoille palveluja sekä mahdollisuuden testata, validoida ja vertailla kvanttilaitteitaan.⁵⁹ Tämä nopeuttaa siirtymistä prototyypeistä markkinoille ja tukee sertifiointitoimia, jotka ovat välttämättömiä luotettavien toimitusketjujen syntymiseksi ja asiakkaiden luottamuksen varmistamiseksi eri aloilla.

Kvanttialan osaamisklustereiden laajentaminen. Tällaisia klustereita sisältyy jo kansallisiin ja alueellisiin innovointiekosysteemeihin useissa jäsenvaltioissa. Ne ovat alueellisia keskuksia, jotka tarjoavat jaettuja infrastruktuureja ja palveluja sekä yhdistävät tutkimuksen ja teollisuuden toimijoita. Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoitteella tuetaan näiden klustereiden laajentamista ja verkottamista, jotta ne kattaisivat koko EU:n – myös sellaiset jäsenvaltiot, joissa ei vielä ole klustereita. Kvanttialan osaamisklusterit toimivat hajautettuina asiantuntijakeskuksina, jotka muodostavat kvanttiekosysteemin tukikudoksen. Ne yhdistävät startup-yritykset, tutkijat ja teollisuuden kumppanit infrastruktuureihin, pilottituotantolinjoihin ja suunnittelulaitoksiin kaikkialla unionissa. Ne edistävät yhteistyötä⁶⁰ ja lisäävät yhdenmukaisuutta kaikkien strategisten kvanttialojen (tutkimuksesta ja teollistamisesta

⁵⁷ [QU-PILOT](#) ja [QU-TEST](#).

⁵⁸ Näitä ovat muun muassa ultrapuhtaat ympäristöt, kryogeeninen jäähdytys, tyhjiöjärjestelmät ja tarkkuusohjauselektronikka.

⁵⁹ Tulevan [tutkimus- ja teknologiainfrastruktuureja koskevan eurooppalaisen strategian](#) mukaisesti.

⁶⁰ Noudattaen asiaankuuluvia EU:n kilpailusääntöjä, kuten vuoden 2023 suuntaviivoja SEUT-sopimuksen 101 artiklan soveltamisesta horisontaalisiin yhteistyösopimuksiin.

osaamisen kehittämiseen) välillä. Eurooppalaisten digitaali-innovointikeskittymien tavoin kvanttialan osaamisklusterit tarjoavat alueellisiin vahvuuksiin räätälöityjä palveluja mutta ovat silti osa yleiseurooppalaista yhteistyötä ja edistävät sitä.

Teollis- ja tekijänoikeuksien suojelumekanismien edistäminen, jotta kvanttialan yritykset voivat käyttää niitä varmistaakseen strategisen määräysvallan keskeisiin innovaatioihin ja estääkseen kriittisten resurssien ulosvirtauksen.

Kvanttiteknologioiden teollisen käyttöönoton nopeuttaminen. EU soveltaa koordinoitua lähestymistapaa edelläkävijäkäyttäjien edistämiseksi sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Tässä yhteydessä **julkiset hankinnat ovat keskeinen väline, jolla edistetään varhaista käyttöönottoa ja luodaan ensimmäisiä markkinamahdollisuuksia.** EuroHPC-yhteisyritys tukee jo ensimmäisten kvanttietokoneiden ostamista julkisten hankintojen kautta. Lisäksi komissio tukee innovointiin suuntautuneita hankintajärjestelyjä, joiden avulla sairaalat, infrastruktuurin ylläpitäjät, kriittiset julkiset palvelut ja valtion virastot voivat toimia kvanttiteknologioita hyödyntävien ratkaisujen ensimmäisinä asiakkaina. Tätä tuetaan räätälöidyillä taloudellisilla kannustimilla ja käyttöönottokehyksillä sellaisille julkisille elimille, jotka ovat valmiita toimimaan edelläkävijöinä. **Jäsenvaltioiden asemoiminen eurooppalaisten kvanttiteknologioiden ensimmäisiksi institutionaalisiksi ostajiksi** lähettää vahvan signaalin markkinoille ja sijoittajille, mikä tukee ekosysteemin kehittymistä ja kaupallista elinkelpoisuutta.

Luodaan yhteyksiä kvanttialan startup-yritysten ja eurooppalaisten yhtiöiden välille. Tämä on olennaisen tärkeää startup-yritysten markkinoiden laajentumisen kannalta. Komissio käynnistää yhteistyössä kvanttialan ekosysteemin kanssa⁶¹ alakohtaisia haasteita erityisesti ilmasto- ja avaruusteollisuudessa, autoteollisuudessa, energia-alalla, valmistusteollisuudessa, logistiikka-alalla ja lääkealalla kannustaakseen suuria teollisia toimijoita ryhtymään strategiseksi yhteiskehityskumppaneiksi ja edelläkävijäkäyttäjiksi.

Kasvava kvanttiekosysteemi tarvitsee myös jatkuvasti lisää alan osaajia. Tätä käsitellään tarkemmin jäljempänä 2.5 jaksossa.

2.3.3 Investoinnit kvanttialan startup- ja scale-up-yrityksiin

Vaikka siemenvaihetta edeltävän vaiheen ja siemenvaiheen rahoitusta on laajalti saatavilla julkisista lähteistä, Eurooppaan suuntautuu ainoastaan viisi prosenttia maailmanlaajuisesta yksityisestä kvanttialan rahoituksesta, kun taas Yhdysvaltojen osuus on yli 50 prosenttia. Rahoitusvaje korostuu erityisesti myöhemmissä kehitysvaiheissa.⁶² Tässä on riskinä, että Euroopan ulkopuoliset sijoittajat hankkivat EU:n startup-yrityksiä, mikä voi johtaa teollis- ja tekijänoikeuksien, kriittisten teknologioiden, teknologisen itsenäisyyden ja osaajien menettämiseen.

Näin ollen sijoitusrahastoja, myös julkisesti tuettuja yksityisiä rahastoja, kannustetaan houkuttelemaan merkittäviä pääomainvestointeja kvanttiteknologioiden kehittämiseen. Tähän sisältyvät muun muassa Euroopan innovaationeuvoston (EIC)⁶³ rahaston ja Euroopan investointipankkiryhmän (EIP-ryhmä) European Tech Champions -aloitteen⁶⁴ tuki sekä

⁶¹ Eurooppalaisen kvanttiteollisuuskonsortion [kotisivu – QuIC](#).

⁶² [The Future of European Competitiveness – A Competitiveness Strategy for Europe](#).

⁶³ Euroopan innovaationeuvosto osoitti jo vuosina 2021–2024 noin 350 miljoonaa euroa kvanttiteknologia-alan startup-yritysten kasvun edistämiseen. Euroopan innovaationeuvosto valmistelee osana Euroopan strategisten teknologioiden kehysvälinettä järjestetyn EIC:n scale-up-yrityksille suunnatun STEP-ehdotuspyynnön perusteella kvanttialan scale-up-yrityksiin tehtäviä lisäinvestointeja, jotka ovat suuruudeltaan enintään 30 miljoonaa euroa yritystä kohti.

⁶⁴ [Rahasto-osuusrahasto European Tech Champions -aloitteen tueksi](#).

InvestEU-ohjelman kautta toteutettavien salkun suuririskisimmän osan kattavien takuiden ja yhteissijoitusjärjestelyjen kautta tarjottava tuki.

Toukokuussa 2025 hyväksytyssä EU:n start-up- ja scale-up-strategiassa⁶⁵ ilmoitettiin **Scaleup Europe -rahaston** perustamisesta osaksi Euroopan innovaationeuvoston rahastoa merkittävien yksityisten varojen keräämiseksi ja suorien pääomasijoitusten tekemiseksi strategisilla aloilla, kuten kvanttialalla. Strategia tarjoaa myös erityisiä ratkaisuja, joilla pyritään parantamaan innovatiivisten startup- ja scale-up-yritysten mahdollisuuksia saada rahoitusta, osallistua julkisiin hankintoihin, päästä markkinoille, käyttää palveluja ja saada osajia.

Kuten koheesiopolitiikan väliarvioinnissa⁶⁶ ehdotettiin, hallintoviranomaiset voisivat lisäksi hyödyntää mahdollisuutta – kannustimien ja joustojen tuella – kohdentaa varoja uudelleen muiden painopisteiden ohella myös Euroopan strategisten teknologioiden kehysvälineen (STEP) tavoitteiden edistämiseen tehtäviin investointeihin. Komissio kehottaa jäsenvaltioita ja alueita keskittymään koheesiopolitiikan väliarvioinnin yhteydessä tehtävässä uudelleenkohdentamisessa läpimurtoja tekeviin innovatiivisiin yrityksiin ja auttamaan sellaisia yrityksiä, jotka edistävät Euroopan strategisia aloja ja arvoketjuja, kuten kvanttiteknologioita.

Lisäksi komissio esittää säästö- ja investointiunionin⁶⁷ yhteydessä toimenpiteitä, joilla puututaan rahoituspalvelujen sisämarkkinoiden hajanaisuuteen ja poistetaan esteitä, jotka haittaavat saumattomien rajat ylittävien investointien tekemistä EU:ssa. Tämä koskee myös riskipääomaa, jolla on tärkeä rooli kvanttiteknologioiden kehittämisessä. EU muun muassa kannustaa yhteisösjoiottajia tekemään pääomasijoituksia, yksinkertaistaa listautumissääntöjä listautumista koskevan säädöksen täytäntöönpanon yhteydessä, esittää toimenpiteitä, joilla tuetaan yksityisiin yrityksiin sijoittaneiden irtautumista, sekä tutkii yhdessä EIP:n kanssa mahdollisia aloitteita, joilla pyritään houkuttelemaan yksityisiä investointeja riski- ja kasvupääomaan ja käsittelemään kansallisten verotusmenettelyjen esteitä.⁶⁸

2.3.4 Toimitusketjun turvallisuuden vahvistaminen

Häiriönsietokykyisiin toimitusketjuihin tukeutuva elinvoimainen kvanttiekosysteemi on olennaisen tärkeä Euroopan taloudellisen turvallisuuden vahvistamisen kannalta. EU:n pitkäaikainen avoimuus kaupankäynnille, investoinneille ja tutkimukselle on ollut ja tulee jatkossakin olemaan keskeisen tärkeää Euroopan kvanttiekosysteemin kehittämisen kannalta, mutta se aiheuttaa myös tiettyjä haasteita. Yhtäältä eurooppalaiset kvanttialan yritykset ja tutkijat tukeutuvat jatkuviin toimituksiin luotettavista lähteistä ja hyötyvät niistä suuresti. Toisaalta riskinä voi olla, että näitä toimitusketjuja käytetään aseena. Siksi on olennaisen tärkeää tunnistaa Euroopan kvanttialan toimitusketjun kriittiset haavoittuvuudet ja puuttua niihin, jotta voidaan vähentää riskejä, jotka johtuvat EU:n liiallisesta riippuvuudesta Euroopan ulkopuolisista lähteistä. Riskien kartoittaminen ja nousevan kvanttiekosysteemin kehityksen tiivis seuranta ovat siksi olennainen osa eurooppalaista toimintamallia terveen, turvallisen ja kilpailukykyisen eurooppalaisen kvanttialan syväteknologiaympäristön luomiseksi.

Komissio toteuttaa parhaillaan osana Euroopan taloudellisen turvallisuuden strategiaa⁶⁹ ja kriittisten teknologioiden seurantakeskusta⁷⁰ tiiviissä yhteistyössä sidosryhmien ja jäsenvaltioiden kanssa EU:n laajuista kvanttiteknologioiden riskinarviointia kartoittaakseen toimitusketjun haavoittuvuuksia. Arvioinnissa tarkastellaan erityisesti

⁶⁵ <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/jobs-and-economy/eu-startup-and-scaleup-strategy>.

⁶⁶ *Uudistetun koheesiopolitiikan väliarviointi (COM(2025) 163)*.

⁶⁷ *Säästö- ja investointiunioni – Euroopan komissio*.

⁶⁸ Noudattaen soveltuvin osin asiaankuuluvia valtioneuvoston päätöksiä.

⁶⁹ *JOIN(2023) 20 final*; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>. Strategian yhteydessä arvioidaan myös teknologiaturvallisuuteen ja -vuotoihin liittyviä riskejä, joiden osalta kvanttiteknologiat ovat yksi tähän mennessä määritellyistä neljästä painopistealasta.

⁷⁰ <https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/eu-observatory-critical-technologies>.

materiaaleja, komponentteja ja keskeisiä teknologioita. Arviointien tavoitteena on yksilöidä kvanttiteknologioiden toimitusketjun strategiset riippuvuudet, mahdolliset pullonkaulat ja systeemiset haavoittuvuudet, jotka vaihtelevat harvinaisista materiaaleista tarkkuuskomponentteihin, ohjauselektronikkaan ja ohjelmistopinoihin. Tuloksia hyödynnetään kohdennetuissa lieventävissä toimenpiteissä, joita ovat esimerkiksi toimituslähteiden monipuolistaminen, eurooppalaisen tuotantokapasiteetin lisääminen, kumppanuuksien solmiminen toimittajamaiden kanssa Global Gateway -strategian puitteissa sekä riskinjakomekanismit. Ensimmäisten tulosten odotetaan valmistuvan vuonna 2026. Lisäksi rooli, joka kvanttiteknologioilla on EU:n turvallisuuden ja yleisen järjestyksen varmistamisessa, otetaan huomioon keskusteluissa käynnissä olevista ja tulevista aloitteista, jotka koskevat sekä ulkomailta tulevia että ulkomaille suuntautuvia sijoituksia, sekä vientivalvonnan yhteydessä.

Tuleva **kvanttisäädös** perustuu edellä kuvattuihin tuloksiin. Sillä tuetaan edelleen kvanttiekosysteemin vahvistamista ja laajemmin edellä mainittuja teollistamistoimia kannustamalla jäsenvaltioita, yrityksiä, sijoittajia ja tutkijoita investoimaan (pilotti)tuotantolaitoksiin ja tukemaan kyseisiä toimia laajamittaisten EU:n laajuisten aloitteiden tai kansallisten tai alueellisten toimenpiteiden puitteissa.

- Perustetaan siruyhteisyriksen puitteissa kuusi uutta kvanttiteknologioiden pilottituotantolinjaa teknologioiden siirtämiseksi laboratorion markkinoille [2025].
- Julkaistaan kvanttisirujen teollistamista koskeva etenemissuunnitelma [2026].
- Perustetaan kvanttiteknologioiden suunnittelulaitos [2026].
- Julkaistaan kvanttialan standardeja koskeva eurooppalainen etenemissuunnitelma [2026].
- Laajennetaan kvanttialan osaamisklustereiden verkostoa [2026].
- Toteutetaan ja saatetaan päätökseen toimitusketjun haavoittuvuuksia koskevia EU:n laajuisia arviointeja [2025–2026].

2.4 Toiminta-ala 4: Avaruudessa käytettävät kvanttiteknologiat ja kaksikäyttökvaanttiteknologiat (turvallisuus ja puolustus)

Kvaanttiteknologioilla on kaksikäyttöpotentiaalia. Näin ollen ne ovat olennaisen tärkeitä sekä Euroopan kilpailukykyyn että sen strategisen riippumattomuuden lisäämiseksi avaruusosalalla ja turvallisuus- ja puolustusosalalla. Kvaanttiteknologioissa viime aikoina saavutetut edistysaskeleet lupaavat puolustukseen ja turvallisuuteen liittyen merkittäviä hyötyjä, joita ovat muun muassa ultrasuojattu viestintä, tehostettu taistelukentän kartoitus ja optimoitu logistiikka. Ne voivat kuitenkin aiheuttaa myös riskejä, jos vastustajat saavat teknologisen etulyöntiaseman. Ennakoivat politiikka- ja valvontatoimenpiteet sekä tiivis koordinointi keskeisten kumppanien, kuten Euroopan puolustusviraston, kanssa ovat olennaisen tärkeitä, jotta voidaan hyödyntää kvanttiteknologioiden koko potentiaali vähentäen samalla niihin liittyviä riskejä.

Kvaanttiteknologiat avaruudessa

Kvaanttiteknologiat tarjoavat strategisesti merkittäviä mahdollisuuksia eurooppalaisille avaruusoperaatioille. Turvalliset kvantti viestintäteknologiat on jo sisällytetty EU:n keskeisiin avaruusalan aloitteisiin, kuten EuroQCI- ja IRIS²-hankkeisiin ja avaruuden kvanttigravimetriaan liittyvään Pathfinder-operaatioon. EU:n avaruustoimet kattavat myös kvanttiteknologiaa hyödyntävien inertiasuunnistusjärjestelmien – kuten Galileo-ohjelman puitteissa kehitettyjen, optisiin kvanttiantureihin perustuvien prototyyppien – kehittämisen autonomista paikannusta varten sellaisiin ympäristöihin, joissa maailmanlaajuinen satelliittinavigointijärjestelmä (GNSS) on tarkoituksellisesti tehty toimintakyvyttömiksi tai sitä on manipuloitu. Prototyyppinä on tarkoitus testata tulevana vuosina Galileo-satelliiteissa niiden toiminnallisen käyttöönoton mahdollisuuksien arvioimiseksi. Samaan aikaan arvioidaan,

olisiko Galileo-järjestelmää mahdollista päivittää tulevaisuudessa ottamalla käyttöön kvanttikelloja. Kvanttilaskennan kehittyneiden laskentavalmiuksien odotetaan myös tehostavan avaruusteknologiaa, mikä voi auttaa muun muassa lisäämään ihmisen ymmärrystä maailmankaikkeudesta. Monia kvanttiteknologioihin perustuvia avaruussovelluksia on mahdollista hyödyntää merkittävästi myös sotilas- ja tiedustelutarkoituksiin.

Näiden kvanttiteknologioiden avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä edistysaskeleita ajanmäärityksen vakauden, tarkkuuden ja häiriönsietokyvyn osalta, mikä vahvistaa Euroopan strategista riippumattomuutta satelliittinavigoinnissa. Tutkiakseen laajemmin kvanttiteknologioiden potentiaalia avaruusalalla komissio laajentaa Euroopan avaruusjärjestön (ESA) kanssa tehtävän yhteistyön nykyistä kehystä. Tarkoituksena on laatia yhdessä **avaruudessa käytettävää kvanttiteknologiaa koskeva etenemissuunnitelma** ja varmistaa avaruuteen liittyvien kvanttialan toimien täydentävyys ja synkronointi.

Turvallisuutta ja puolustusta edistävät kvanttiteknologiat

Kvanttiteknologioiden kaksikäyttöpotentiaali tarkoittaa sitä, että niissä saavutetuista läpimurroista voi olla merkittävää hyötyä myös strategisille turvallisuus- ja puolustussovelluksille. Esimerkiksi kvanttilaskenta voi muuttaa radikaalisti puolustusstrategioita mahdollistamalla nopeamman päätöksenteon ja auttamalla ratkaisemaan monimutkaisia operatiivisia ja logistisia haasteita. Se voi myös auttaa suunnittelemaan uusia sotilaskäyttöön tarkoitettuja materiaaleja tai suojaamaan arkaluonteisia tietoja kyberuhilta.

Kvanttilaskenta voi muuntaa keskeisiä turvallisuus- ja puolustussovelluksia, joita ovat esimerkiksi ääriämpötilassa olevien nestevirtojen simulaatiot, palamisdynamiikka tai lämmönkestävien materiaalien kehittäminen. Kvanttitunnistusteknologiat tarjoavat kriittisiä puolustusvoimavaroja, kuten erittäin tarkkaa gravimetriaa, magnetometriaa ja inertiasuunnistusta. Tällaiset anturit mahdollistavat maanalaisten rakenteiden havaitsemisen, merenalaisen seurannan ja kehittyneen uhkien havaitsemisen. Samalla kvanttiaviestintä, erityisesti kvanttiavaimen jakaminen, varmistaa ultrasuojatun tiedonvaihdon maanpäällisten ja satelliittiverkkojen välillä, mikä suojaa sotilas- ja tiedustelutietoja vakoilulta ja tulevilta kvanttiteknologioihin perustuvilta kyberuhilta. Sekä tunnistus- että viestintäteknologiat ovat näin ollen Euroopan strategisen riippumattomuuden ja toiminnallisen ylivoiman keskeisiä mahdollistajia puolustuksen ja turvallisuuden yhteydessä.

Globaalit toimijat, kuten Yhdysvallat⁷¹ ja Kiina, investoivat vahvasti kvanttiteknologioiden avaruus- ja sotilassovelluksiin, kuten GNSS:stä riippumattomaan navigointiin, suojattuun satelliitti- ja maanpäälliseen viestintään sekä kvanttiteknologiaa hyödyntäviin LIDAR-järjestelmiin⁷² ja tutkiin. Kvanttiteknologiat ovat alkaneet vaikuttaa myös laajempiin yhteenliittymiin ja yhteistyökehyksiin⁷³.

EU:ssa useiden jäsenvaltioiden⁷⁴ puolustusohjelmiin sisältyy jo investointeja puolustusvalmiiden kvanttiteknologioiden, kuten kylmäatomiantureiden, timanttiantureiden tai

⁷¹ Quantum Benchmarking Initiative: <https://www.darpa.mil/research/programs/quantum-benchmarking-initiative>.

⁷² Kvanttiteknologiaa hyödyntävä LIDAR on valoon perustuvan havainnoinnin ja etäisyyden mittauksen järjestelmä, jossa käytetään kvanttiominaisuuksia, kuten lomittumista, kohteen havaitsemisen ja etäisyyden arvioinnin herkkyyden ja tarkkuuden parantamiseen yli perinteisten menetelmien rajojen.

⁷³ Esimerkiksi [BRICS and Quantum Computing](#).

⁷⁴ Esimerkiksi Ranska (puolustuksessa käytettäviä kvanttiantureita koskeva PROQCIMA-ohjelma, <https://quantique.france2030.gouv.fr/acces-aux-marches/programme-proqcima>), Saksa (investoinnit kvanttiaviestintään ja -tunnistukseen liittovaltion opetus- ja tutkimusministeriön (BMBF) puitteissa), Italia (kylmäatomianturit maailmanlaajuisesta satelliittinavigointijärjestelmästä riippumattomaa navigointia varten), Itävalta (kvanttikellot ja inertia-anturit) ja Suomi (puolustuskäyttöön tarkoitettut siirrettävät kvanttitunnistusjärjestelmät).

kvanttietokoneiden, kehittämiseen, minkä lisäksi jäsenvaltiot tutkivat käyttötapauksia, kuten kehittynyttä ajanmääritystä, GNSS:stä riippumatonta paikannusta ja merenpohjan kartoitusta.

Parantaakseen mahdollisuutta investoida kaksikäyttöteknologioihin ja kriittisiin puolustusteknologioihin EU:n ohjelmien puitteissa komissio esitti hiljattain ehdotuksen⁷⁵ asian kannalta merkityksellisten olemassa olevien välineiden soveltamisalan muuttamisesta. Komissio on myös ottanut käyttöön toimenpiteitä kaksikäyttöpotentiaalitekniikoiden, kuten kvanttitekniikan, hyödyntämiseksi puolustuksessa esimerkiksi Euroopan puolustusrahaston ja siihen kuuluvan EU:n puolustusalan innovaatiojärjestelmän (EUDIS) puitteissa toteutettavien toimien avulla.

Kaikkien näiden toimien lähtökohtana on Euroopan pyrkimys varmistaa, että kvanttialalla saavutettu kehitys on hyödynnettävissä, turvallista ja vapaana kolmansien maiden vientisääntelystä ja että se on sopusoinnussa eurooppalaisten puolustus- ja turvallisuustavoitteiden kanssa.

EU ja Nato tiedostavat myös, että kvanttitekniikat ovat tiedusteluun, valvontaan, navigointiin ja turvalliseen infrastruktuuriin liittyvien tehtävien kannalta kriittisiä mahdollistavia tekijöitä. Nato perusti vuonna 2024 transatlanttisen kvanttiyhteisön, josta oli tarkoitus tulla ”kvanttitekniikoihin valmis allianssi”. Komissio ja Nato tekevät yhteistyötä kvanttitekniikoiden parissa osana kehittyviä ja murroksellisia tekniikoita koskevaa EU:n ja Naton jäseneltyä vuoropuhelua.

Eurooppalaisessa sisäisen turvallisuuden strategiassa (ProtectEU) ja Euroopan puolustusrahastossa kvanttitekniikat määritellään EU:n pitkän aikavälin turvallisuuden ja teknologisen etulyöntiaseman varmistamisen kannalta keskeiseksi alaksi. **Euroopan puolustuksen tulevaisuutta koskevan valkoisen kirjan** mukaan kvanttitekniikoilla on mahdollisuus sekoittaa ja muuttaa perinteisiä sodankäyntitapoja. Valkoisessa kirjassa ilmoitetaan, että komissio antaa oman panoksensa **Euroopan puolustusmateriaalitekniikan etenemissuunnitelmaan** asian kannalta merkityksellisten kvanttialan kehitysaskelten, aloitteiden ja ohjelmien muodossa. Tällä nopeutetaan puolustuksen muutosta hyödyntämällä kaksikäyttöisiin kehittyneisiin tekniikoihin voimavaroihin tehtäviä investointeja EU:n, kansallisella ja yksityisellä tasolla.

Näiden toimien ohjaamiseksi **komissio laatii vuoteen 2026 mennessä erityisen kvanttitunnistuksen avaruus- ja puolustustekniikoita koskevan etenemissuunnitelman**, jolla yhdenmukaistetaan siviili-, turvallisuus- ja puolustusyhteisöjen prioriteetteja. Tämä auttaa koordinoimaan esimerkiksi gravimetriassa, navigoinnissa ja kehittyneessä uhkien havaitsemisessa käytettäviin seuraavan sukupolven kvanttiantureihin tehtäviä investointeja.

Lisäksi EU käynnistää vuodesta 2026 alkaen spin-in-aloitteita, joilla nopeutetaan siviilialan kvantti-innovaatioiden käyttöönottoa turvallisuus- ja puolustussovelluksissa. Aloitteilla yhdistetään huipputason yrityksiä ja tutkimusryhmiä puolustusalan toimijoihin, mikä auttaa lyhentämään kehitysyklejä ja vahvistaa Euroopan teknologista etulyöntiasemaa **kaksikäyttöpotentiaalivalmiuksien** alalla.

- Allekirjoitetaan ESan kanssa yhteistyösopimus avaruudessa käytettävää kvanttitekniikaa koskevan etenemissuunnitelman laatimisesta [vuoden 2025 toinen neljännes].
- Laaditaan kvanttitunnistuksen avaruus- ja puolustustekniikaa koskeva etenemissuunnitelma [2026].
- Annetaan panos Euroopan puolustusmateriaalitekniikan etenemissuunnitelmaan [vuoden 2025 viimeinen neljännes].

⁷⁵ [COM\(2025\) 188, 22.4.2025](#): Ehdotus asetukseksi asetusten (EU) 2021/694, (EU) 2021/695, (EU) 2021/697, (EU) 2021/1153, (EU) 2023/1525 ja 2024/795 muuttamisesta siltä osin kuin on kyse puolustukseen liittyvien investointien edistämisestä EU:n talousarviossa ReARM Europe -suunnitelman toteuttamiseksi.

- Käynnistetään spin-in-aloitteita siviilialan yritysten ja tiedemaailman tuomiseksi mukaan puolustussovelluksiin [vuodesta 2026 eteenpäin].

2.5 Toiminta-ala 5: Kvanttiosaaminen

Eurooppa on kehittänyt vahvan akateemisen kvanttialan osaamisperustan. Kvanttitekniikan kannalta merkityksellisiltä aloilta korkeakoulututkimuksen suorittaneiden määrä on Euroopan unionissa maailman suurin väestöön suhteutettuna. Fysiikan, tieto- ja viestintätekniikan ja tekniikan aloita sekä niihin liittyviltä aloilta valmistuu vuosittain yli 110 000 opiskelijaa.⁷⁶ Kvanttitekniikan lippulaivaohjelmaan kuuluvan strategisen tutkimus- ja teollisuusohjelman 2030⁷⁷ mukaan Euroopassa on yli 40 kvanttitekniikoihin ja kvanttimekaniikkaan erikoistunutta maisteriohjelmaa. Tämä ei kuitenkaan vielä riitä vastaamaan EU:n startup-yritysten ja teollisuuden kysyntään, kun otetaan huomioon, että niillä on suuri pula ammattilaisista, joilla on asiaankuuluvaa soveltavaa osaamista. Puutteet ovat kaikkein kriittisimmät soveltavilla aloilla,⁷⁸ kuten kvanttiohjelmistotekniikassa, järjestelmäintegroinnissa ja kvanttikyberturvallisuudessa, mikä hidastaa EU:hun sijoittautuneiden startup- ja scale-up-yritysten kaupallistamispolkua.

Komissio toteuttaa osaamisunionin⁷⁹ puitteissa useita aloitteita osaamisvajaiden ratkaisemiseksi, mukaan lukien kvanttitekniikoihin liittyvät vajeet. Komissio perustaa vuonna 2026 virtuaalisen *EU:n kvanttiosaamisakatemia*, joka toimii keskitettynä yhteispisteenä ja tarjoaa näkyvyyttä saatavilla olevaan kvanttitekniikan koulutukseen ja käytännön sovellusmahdollisuuksiin kaikilla koulutusasteilla. Tämän aloitteen puitteissa komissio edistää yhteistyötä tiedemaailman, koulutuslaitosten, tutkimusyhteisön ja teollisuuden kumppaneiden kanssa koulutusohjelmien ja erillisten koulutusmoduulien suunnittelussa ja toteuttamisessa soveltaen monialaista lähestymistapaa. Ohjelmat sisältävät tutkintoon johtavia kansainvälisen koulutusluokituksen (ISCED) tason 7 (ylempi korkeasteen koulutus) tai tason 8 (tutkijakoulutusaste) yhteisiä opetussuunnitelmia, joissa käytetään eurooppalaista opintosuoritusten ja arvosanojen siirtojärjestelmää (ECTS). Näitä ohjelmia edistetään virtuaalisilla opintomessuilla ja apurahajärjestelmillä.

Lisäksi komissio pyrkii edistämään tulevaisuuteen suuntautuvia taitoja helpottamalla yhteisten, innovatiivisten eurooppalaisten opinto-ohjelmien kehittämistä myös strategisilla aloilla ja keskeisillä tekniikan aloilla, kuten kvanttitekniikassa. Tähän voidaan liittää yhteisesti sovittuihin kriteereihin perustuva eurooppalainen tutkinto tai eurooppalainen yhteistutkintomerkki.

Yksi osaamisunionin tavoitteista on houkutella osaajia eri puolilta maailmaa ja pitää heistä kiinni. Tämän tavoitteen mukaisesti akatemia tukee myös kvanttialan apurahajärjestelmiä, joiden ansiosta EU:sta ja sen ulkopuolelta tulevat korkean osaamistason tohtorikoulutettavat sekä EU:n ulkopuolella asuvat nuoret ammattilaiset voivat työskennellä EU:ssa.

Akatemia kehittää myös viestintä- ja tiedotuskäytäntöjä toimiansa laajentamiseksi ja niitä koskevan tiedon levittämiseksi. Tähän sisältyvät muun muassa erityinen **kvanttiosaamisen portaalina** toimiva aloitusverkkosivu, joka on integroitu digitaalitaitoja ja työpaikkoja käsittelevään foorumiin, korkeakoulujen sekä ylempään perusasteen ja keskiasteen opettajille tarkoitettuihin Teach-the-Teacher-moduulit kvanttilukutaidon saavuttamiseksi koulutuksen varhaisessa vaiheessa sekä parhaiden käytäntöjen jakaminen jäsenvaltioille ja kelpoisuusehdot täyttävälle kolmansille maille.

⁷⁶ [Global Comparison of STEM Education | SpringerLink](#).

⁷⁷ Strateginen tutkimus- ja teollisuusohjelma 2030 (kvanttitekniikan lippulaivaohjelma): <https://qt.eu/media/pdf/Strategic-Research-and-Industry-Agenda-2030.pdf>.

⁷⁸ IQM, *State of Quantum, 2025* ja RAND Europe: *Quantum's Future Workforce Needs More Than Physicists*.

⁷⁹ [COM\(2025\) 90 final](#).

Virtuaalisen akatemian viestintätoimilla pyritään lisäämään yleistä tietoisuutta sekä parantamaan yhteiskunnallista ymmärrystä, luottamusta ja tietoon perustuvaa poliittista sitoutumista kvanttiteknologian alalla. On myös tärkeää, että akatemian viestintä- ja tiedotustoimilla edistetään monimuotoisuutta ja kavennetaan Euroopan kvanttialan työvoiman keskuudessa edelleen vallitsevaa sukupuolten välistä kuilua⁸⁰.

Virtuaalinen akademia on tärkeä ensimmäinen askel, mutta pitkän aikavälin visiona on perustaa useita, toisiinsa verkottuneita akatemioita, jotka ovat jakautuneet maantieteellisesti eri puolille EU:ta ja jotka kytetään kvanttialan osaamisklustereihin ja puolijohdealan osaamiskeskukseen tehokkuuden lisäämiseksi.

Lisäksi komissio tukee Digitaalinen Eurooppa -ohjelman puitteissa **kvanttialan oppisopimuskoulutusohjelmaa** koskevaa pilottihanketta.⁸¹ Tarkoituksena on kouluttaa jatkuvasti uusia kvanttialan asiantuntijoita, jotka ovat saaneet harjoitusta tosielämän hankkeissa ja ovat valmiita siirtymään tai palaamaan EU:n työmarkkinoille, sekä ottaa käyttöön työelämään palaamista edistäviä järjestelmiä ammattilaisille. Lisäksi komissio pyrkii luomaan positiivista kierrettä korkeakoulujen ja teollisuuden välille kehittämällä vuodesta 2026 lähtien **eurooppalaisia kilpailuja, joissa kilpaillaan pitkälle viedyssä digitaalisessa osaamisessa**. Tarkoituksena on ottaa nuoret mukaan kehittämään kvanttiteknologiaan perustuvia ratkaisuja keskeisiin yhteiskunnallisiin ja teollisuuden haasteisiin sekä edistää luovaa, innovatiivista ajattelua.

Koska teknologia kehittyy nopeasti, myös kvanttiteknologioihin liittyvien ammatillisten profiilien osaamisvaatimukset kehittyvät ja muuttuvat. Siksi myös koulutuksen järjestäjien sekä teollisuuden tarpeiden ja työvoiman kysynnän jatkuva seuranta on keskeisen tärkeää. Osaamisunionin puitteissa toimiva osaamista koskevan tiedon hankinnan eurooppalainen seurantakeskus seuraa oikea-aikaisesti Euroopan strategisten alojen osaamistarpeiden kehitystä.

Lisäksi Euroopan innovaationeuvosto käynnistää vuonna 2025 **kvanttiteknologia-alan startup-yritysten residenssitutkijoita** koskevan pilottiohjelman. Toimella helpotetaan tutkijoiden kohdennettua sijoittamista kasvuyritysten erityistarpeiden mukaisesti. Tätä helpotetaan erityisellä alustalla, joka auttaa yhdistämään tutkijat sekä innovatiiviset startup- ja scale-up-yritykset toisiinsa.

Lisäksi komissio käynnistää **kvanttialan osaajien liikkuvuutta koskevan eurooppalaisen ohjelman** edistääkseen työvoiman kansainvälistä liikkuvuutta ja osaamisen kehittämistä EU:n, jäsenvaltioiden ja kumppanimaiden välillä. Tähän sisältyvät myös EU:n ulkopuolelta tuleville tohtorintutkinnon suorittaneille ja uransa alkuvaiheessa oleville kvanttialan ammattilaisille myönnettävät apurahat sekä olemassa olevan työvoiman säilyttäminen ja tukeminen aivovuodon ehkäisemiseksi. Komissio pyrkii houkuttelemaan ja kehittämään kvanttialan kansainvälisiä huippututkijoita sekä pitämään heistä kiinni pilotoimalla Marie Skłodowska-Curie -toimea **Choose Europe**, joka koskee myös muun muassa kvanttialan tutkijoita.

- Perustetaan EU:n kvanttiosaamisakatemia [2026].
- Käynnistetään eurooppalaisia kilpailuja, joissa kilpaillaan pitkälle viedyssä digitaalisessa osaamisessa kvanttialalla [vuodesta 2026 eteenpäin].
- Käynnistetään kvanttiteknologia-alan startup-yritysten residenssitutkijoita koskeva pilottiohjelma [2025].
- Käynnistetään kvanttialan osaajien liikkuvuutta koskeva eurooppalainen ohjelma [vuodesta 2026 eteenpäin].

⁸⁰ STEM-alojen korkeakoulutuksessa ja työurilla esiintyy merkittävää sukupuolten välistä epätasapainoa. Ks. [She Figures 2024 -raportti](#).

⁸¹ <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/opportunities/funding/digital-2025-skills-08-quantum-academy-step-sectoral-digital-skills-academies>.

3 EU:n kvanttistrategian strateginen täytäntöönpanokehys

3.1 EU:n kvanttistrategian täytäntöönpanon tärkeimmät osatekijät

Euroopan kvanttialalla on tiettyjä ainutlaatuisia piirteitä: kvanttiteknologiat ovat edelleen suurelta osin vasta kehityksessä, ja monet niiden keskeisistä laitteisto- ja ohjelmistokomponenteista ovat vielä varhaisessa kehitysvaiheessa. Niiden kehittäminen noudattaen perinteistä lineaarista polkua perustieteestä markkinoille veisi 10–15 vuotta. Prosessia pyritään nopeuttamaan soveltamalla jäljempänä kuvattua **teknologian elinkaaren perustuvaa räätälöityä täytäntöönpanologiikkaa**, jossa tutkimus, innovointi, infrastruktuuri ja markkinoiden varhainen luominen yhdistetään tiiviisti toisiinsa toistuvaksi kehäksi.

Elinkaaren perustuva toimintamalli on erityisen tärkeä eurooppalaisessa ekosysteemissä, koska kaikilla kvanttialoilla on edelleen merkittäviä tieteellisiä ja teknisiä esteitä⁸², joihin on puuttettava, jotta saadaan kehitettyä konkreettisia teknologioita. Euroopan on ratkaistava nämä ongelmat ja muutettava saavutetut ratkaisut nopeasti markkinoille valmiiksi sovelluksiksi ennen kuin globaalit kilpailijat vakiinnuttavat itselleen strategisen määräävän aseman.

Tieteellisten ja teknisten esteiden käsittelemiseksi Euroopan kvanttialan tutkimus- ja innovointialoitteella (jota kuvataan edellä 2.1 jaksossa) tuetaan

- **kohdennettuja tiede- ja teknologiatoimia**, joissa keskitytään edistymistä kaikilla kvanttialoilla nykyisin rajoittavien keskeisten tiede- ja teknologiahaasteiden ratkaisemiseen käsittelemällä näitä pääasiassa tiedettä ja teknologiaa koskevilla ylhäältä alaspäin suuntautuvilla ehdotuspyynnöillä, joilla täydennetään tavanomaisia, alhaalta ylöspäin suuntautuvia ehdotuspyyntöjä
- **markkinoita mullistavia tutkimus- ja innovointitoimia sekä kohdennettuja toimia tiettyjen kvanttiteknologioiden ja mahdollistavien teknologioiden kypsyttämiseksi** tavoitteena vähentää kvanttialan innovointiin liittyviä riskejä ja nopeuttaa merkittävien tutkimustulosten teollista käyttöönottoa.

Edellä mainittujen toimien vahvistamiseksi sovelletaan lisäksi seuraavaa toimintamallia:

Suurhaastemekanismi

Kvanttialan suurhaasteet toimivat strategisina välineinä, joilla käsitellään tarkkaan määriteltyjä kvanttiteknologian ongelmia, joilla on suuri vaikutus. Näiden suurhaasteiden tarkoituksena on koota yhteen tutkijoita, teollisia käyttäjiä, valmistajia, integroijia ja toimijoita sekä kvanttiteknologioiden että mahdollistavien teknologioiden parista koordinoitusti. Suurhaasteiden tavoitteet ja rakenne ovat samankaltaiset kuin aiemmissa tehtävälähtöisissä aloitteissa.

Niissä keskitytään yksittäisiin startup- ja scale-up-yrityksiin, ja tavoitteena on auttaa näitä toteuttamaan läpimurtoteknologiaa koskeva etenemissuunnitelmansa kilpailukykyisen, yhteistyöhön perustuvan kehitysprosessin kautta. Suurhaaste tuo tällaiset yritykset yhteen johtavien teollisten käyttäjien ja tutkijoiden kanssa kehittämään yhdessä kriittisiä ja skaalautuvia kvanttiratkaisuja. Johtavien teollisten käyttäjien osallistuminen on olennaisen tärkeää, jotta startup-yritykset voivat vastata teollisuuden vaatimuksiin ja validoida

⁸² Esteet liittyvät kvanttilaskennassa esimerkiksi skaalautuviin kvanttivirheenkorjausjärjestelmiin, modulaaristen arkkitehtuurien kvanttiliitännöihin ja kryogeeniseen ohjauselektronikkaan, kvanttiaviestinnässä esimerkiksi pitkän matkan kvanttitoistimiin, laitteesta riippumattomaan lomittumisen jakautumiseen ja turvallisiin, luotetuista solmuista vapaisiin verkkoihin sekä kvanttitunnistuksessa esimerkiksi pienoiskokoisiin siirrettäviin gravimetreihin, korkearesoluutioisiin Q-MRI-järjestelmiin ja GNSS:stä riippumattomassa navigoinnissa käytettäviin inertia-antureihin.

teknologiansa teollisissa ympäristöissä. Puolustusalan toimijat, kuten puolustusministeriöt ja puolustusalan yritykset, voivat tarvittaessa osallistua tiettyihin suurhaasteisiin loppukäyttäjinä.

Suurhaasteisiin valitut startup- ja scale-up-yritykset hyötyvät monista eri välineistä (avustuksista, omasta pääomasta, lainoista tai muista sekarahoitusvälineistä). Sekä julkiset että yksityiset rahoitusalan toimijat otetaan mukaan heti alusta alkaen, jotta varmistetaan toimien yhdenmukaisuus strategisten investointitavoitteiden kanssa ja maksimoidaan vaikutukset.

Vuosina 2025–2027 komissio pilotoi yhdessä Euroopan investointipankin ja jäsenvaltioiden kanssa ainakin kahta tällaista suurhaastetta. Toisessa keskitytään vikasietoisiin kvanttilaskentajärjestelmiin, jotka kykenevät ratkaisemaan monimutkaisia teollisia ongelmia. Toinen puolestaan kohdistuu kvanttipohjaisiin paikannus-, navigointi- ja ajanmäärittäjäjärjestelmiin ympäristöissä, joissa maailmanlaajuiset satelliittinavigointijärjestelmät eivät toimi. Jos rahoitusta on saatavilla, jatkossa suurhaasteita seuraa mahdollisesti lisää esimerkiksi kvanttitekniologiaa hyödyntävässä lääketieteellisessä kuvantamisessa (Q-MRI), jota voidaan käyttää sairauksien varhaisessa diagnosoinnissa ja yksilöllistetyssä lääketieteessä.

Teknologian elinkaareen perustuva toimintamalli

Kaikkien edellä mainittujen toimien perustana on **teknologian elinkaareen perustuva toimintamalli, jossa EU:n kvantti-strategian viisi strategista toiminta-alaa yhdistetään** koordinoituksi, iteratiiviseksi kehitysprosessiksi. Tämä mahdollistaa jatkuvan iteraation keksimisen, kehittämisen, testaamisen ja käyttöönoton välillä.

Edellä 2.2 jaksossa esitellyt Euroopan julkiset kvantti-infrastruktuurit ja pilottituotantolinjat ovat mallissa keskeisessä asemassa. Nämä resurssit toimivat tutkimuksen ja teollistamisen välisenä siltana. Niiden rakentaminen, ylläpito ja laajentaminen luovat tarvittavan fyysisen ja organisatorisen perustan, joka mahdollistaa koko kvanttiekosysteemin vahvistamisen ja vaalimisen. Ne voivat auttaa muuntamaan tutkimuksen käytännön sovelluksiksi tarjoamalla testialustoja, laitteistoja ja verkostoja, joita tarvitaan tutkimuksen läpimurtojen testaamiseen, validointiin ja laajentamiseen. Ne toimivat myös erinomaisina kokeiluympäristöinä, jotka auttavat houkuttelemaan osajia sekä kehittämään käytännön sovelluksia ja käyttötapauksia. Lisäksi ne auttavat kvanttialan startup-yrityksiä ja pk-yrityksiä saamaan käyttöönsä uusimpia teknologia-alustoja ja laboratoriotiloja, joissa nämä voivat kehittää prototyyppejään ja valmistella ne teollista käyttöönottoa varten. Kvanttialan osaamisklustereiden federoitu verkosto toimii tämän elinkaareen perustuvan suotuisan toimintamallin katalysaattorina, joka yhdistää toisiinsa tutkimusorganisaatioita, startup-yrityksiä, scale-up-yrityksiä, suuria teollisuustoimijoita ja infrastruktuurin tarjoajia ja luo näin siltoja tieteen ja teollisuuden toimijoiden välille.

Jotta voidaan varmistaa, että elinkaari on sekä vankka että tarkoituksenmukainen, otetaan käyttöön keskeisiä suorituskykyindikaattoreita, seurataan välitavoitteiden toteutumista ja vertaillaan tuloksia olemassa oleviin teknologioihin.

Tämä yhdenmukainen malli myös yhdenmukaistaa EU:n ja jäsenvaltioiden strategioita keskittämällä investoinnit yhteisten tavoitteiden edistämiseen ja luomalla koordinoituja palautemekanismeja. Sillä vältetään päällekkäisyydet, luodaan kriittistä massaa ja vahvistetaan Euroopan maailmanlaajuisesta vaikutusvaltaa kvanttitekniologioiden kehittämisessä ja käyttöönotossa.

4 Kansainvälinen yhteistyö

Tilanteessa, jossa geopoliittinen epävarmuus ja sen suorat vaikutukset maailmanlaajuiseen investointi- ja kaupankäyntiympäristöön lisääntyvät, Euroopan on suojeltava etujaan säilyttäen samalla avoimuutensa ja tehden ennakoivaa yhteistyötä luotettavien kumppaneiden kanssa.

Tämä ajatus näkyy monissa EU:n viimeaikaisissa toimintapolitiikoissa, kuten kansainvälisessä digitaalistrategiassa ja taloudellisen turvallisuuden strategiassa.

Ensisijaisia kumppaneita ovat samanmieliset maat, erityisesti ne, joiden kanssa EU koordinoi jo nyt teknologiaa ja kauppapolitiikkaa koskevia kysymyksiä esimerkiksi vapaakauppasopimusten, kauppaja- ja teknologianeuvostojen⁸³ tai digitaalisten kumppanuuksien⁸⁴ puitteissa. Komissio aikoo laajentaa tätä yhteistyötä aloitteilla, jotka koskevat yhteisiä tutkimusohjelmia, koordinoituja ehdotuspyyntöjä, asiantuntemuksen jakamista, infrastruktuurien vastavuoroista käyttömahdollisuutta, yhdenmukaisia teollis- ja tekijänoikeuskehyksiä sekä maailmanlaajuisten kvanttialan standardien laatimista. Se tekee yhteistyötä myös alakohtaisiin toimintapolitiikkoihin liittyvien konkreettisten kvanttiteknologiasovellusten osalta esimerkiksi uusien materiaalien kehittämiseksi. Tässä yhteydessä EU on jo alkanut toteuttaa kvanttiteknologiaa koskevia yhteisiä tutkimus- ja innovointihankkeita Etelä-Korean, Japanin ja Kanadan kanssa.

EU tekee yhteistyötä myös nopeasti kasvavien, kehittyvien kvanttiekosysteemien kanssa, sillä ne tarjoavat EU:n yrityksille taloudellisia mahdollisuuksia, edistävät EU:n kvanttiteollisuuden kilpailukykyä maailmanlaajuisesti sekä tarjoavat eurooppalaisille kvanttialan yrityksille keinon monipuolistaa kumppanuuksiaan ja vähentää riippuvuuksiaan. Tämä toimintamalli ohjaa kahden- ja monenvälisiä kumppanuuksia, jotka perustuvat yhteisiin arvoihin, keskinäiseen luottamukseen ja valmiuksien ja markkinoiden täydentävyyteen ja joilla varmistetaan samalla EU:n etujen suojelun asianmukainen taso strategisilla aloilla.

Lisäksi EU vahvistaa kvanttiteknologiaan liittyvää rooliaan kansainvälisillä standardointifoorumeilla, kauppaa koskevissa vuoropuheluissa ja monenvälisissä kvanttialan yhteenliittymissä.⁸⁵

Kaikissa edellä mainituissa toimissa komissio tekee tiivistä yhteistyötä jäsenvaltioiden kanssa luodakseen sellaisen kvanttialan kansainvälistä yhteistyötä koskevan johdonmukaisen eurooppalaisen kehyksen, jossa yksilöidään ensisijaiset maat ja jäsennellyn yhteistyön alat. Se tukee myös yhteisiä diplomaattisia aloitteita ja kvanttiteknologioita koskevien yhteisten eurooppalaisten kantojen muodostamista, millä varmistetaan, että Eurooppa saa äänensä paremmin kuuluviin kvanttialan innovoinnin globaalin hallinnan ja etiikan muotoilemisessa.

- Laajennetaan ja käynnistetään uusia kahden- ja monenvälisiä yhteistyöaloitteita samanmielisten maiden kanssa [vuodesta 2025 eteenpäin].
- Tehdään jäsenvaltioiden kanssa yhteistyötä kvanttialan kansainvälistä yhteistyötä koskevan eurooppalaisen kehyksen luomiseksi [vuodesta 2025 eteenpäin].

5 Hallinto

Vahva, osallistava EU:n tason hallinto on olennaisen tärkeä, jotta voidaan ohjata, koordinoida ja seurata EU:n kvanttistrategian täytäntöönpanoa ja edistää osallistumista kaikkialta unionista, mikä tarkoittaa sekä kaikkien jäsenvaltioiden ja kaikenikäisten kvanttialan sidosryhmien edustajien osallistamista että sukupuolten tasapuolisen edustuksen varmistamista.

Ensinnäkin **korkean tason neuvoo-antava ryhmä**, joka kokoaa yhteen johtavat eurooppalaiset kvanttitehteilijät ja teknologia-asiantuntijat, tarjoaa riippumatonta strategista ohjausta EU:n kvanttistrategian täytäntöönpanossa.

⁸³ Intian ja Yhdysvaltojen kanssa.

⁸⁴ Etelä-Korean, Japanin, Kanadan ja Singaporen kanssa.

⁸⁵ Kesäkuussa 2025 pidetyssä G7-maiden huippukokouksessa johtajat tunnustivat kvanttiteknologian muutospotentiaalin ja lupasivat lisätä investointeja, edistää luotettavaa maailmanlaajuisia yhteistyötä ja vahvistaa kansallisten mittauslaitosten välisiä yhteyksiä G7-maiden yhteisen työryhmän kautta. Ks. [Kananaskis Common Vision for the Future of Quantum Technologies](#).

Toiseksi **jäsenvaltioiden kanssa tehtävän jäsennellyn yhteistyön kehys** auttaa varmistamaan johdonmukaisen täytäntöönpanon kaikissa EU:n tason ja kansallisissa ohjelmissa, koordinoimaan vuotuista elinkaarikehitystä viidellä strategisella toiminta-alalla ja seuraamaan kvanttialan toimitusketjujen ja niiden kriittisten komponenttien turvallisuuden ja häiriönsietokyvyn kehittymistä. **Erityinen asiantuntijaryhmä**⁸⁶, joka kokoaa kaikki jäsenvaltiot yhteen, toimii aktiivisesti jo nyt ja osallistuu tiiviisti EuroHPC-yhteisyrityksen hallintoneuvoston tulevaan työhön sitten, kun yhteisyritystä koskevaa asetusta on muutettu.

Lisäksi komissio jatkaa tiivistä vuorovaikutustaan koko eurooppalaisen kvanttialan yhteisön – tiedemaailman, startup-yritysten, teollisuuden toimijoiden sekä innovaatioidenryhmien ja niiden edustajien – kanssa.

6 Päätelmät

Kvanttitekniikat ovat käännekohdassa. EU on vakiinnuttanut asemansa kvanttialan tutkimuksen maailmanlaajuisena johtajana ja luonut pohjan kilpailukykyiselle teolliselle perustalle. Kvanttitekniikoiden hyödyntämiseen liittyvä maailmanlaajuinen kilpailu on kuitenkin kiihtymässä. Johtavat maat lisäävät julkisia investointeja, koordinoivat kansallisia strategioita ja vahvistavat teknologian siirtymistä tutkimuksesta teollisuuteen teknologisen itsenäisyyden ja taloudellisen edun saavuttamiseksi. Kvanttitekniikoiden kaksikäyttöpotentiaali voi myös parantaa maiden turvallisuus- ja puolustusvalmiuksia. Samaan aikaan yksityisistä investoinneista on tulossa keskeinen erottava tekijä onnistumisen ja epäonnistumisen välillä. Jotta Eurooppa säilyttäisi kilpailukykyänsä, pystyisi vaikuttamaan kvanttialan innovaatioiden taustalla oleviin arvoihin ja kykenisi hyödyntämään täysin henkisen johtoasemansa tuomat taloudelliset, turvallisuuteen liittyvät ja muut edut, sen on toimittava kiireesti, selkeästi ja yhtenäisesti.

Euroopan on nyt aika johtaa. Tämä strategia ei ole päämäärä vaan kehittyvä kehys – muuttuva suunnitelma – Euroopan kvanttialan tulevaisuutta varten. Se edellyttää EU:n, jäsenvaltioiden, teollisuuden, tiedeyhteisön ja laajan kansalaisyhteiskunnan yhteistä sitoutumista. Jos tässä onnistutaan, kvantitieteet saavat aikaan seuraavan teknologisen vallankumouksen ja tukevat EU:n kilpailukykyä Euroopan ollessa tämän kehityksen eturintamassa muokkaamassa sitä omilla ehdoillaan.

⁸⁶ [Jäsenvaltioiden edustajien eurooppalainen kvantitieteiden koordinaatio-ryhmä.](#)

LISÄYS

Yhteenveto EU:n kvanttistrategian toimista

Toiminta-ala 1: Kvanttialan tutkimus- ja innovointialoite
<ul style="list-style-type: none">• Muutetaan EuroHPC-yhteisyritystä koskevaa asetusta siten, että yhteisyrityksen toimeksianto laajennetaan koskemaan kaikkia kvanttitekologioita, ja siirretään ensimmäisenä toimena kvanttialan tutkimus- ja innovointitoimiin liittyvät Horisontti Eurooppa -puiteohjelman nykyiset toimet yhteisyrityksen piiriin [vuoden 2025 kolmas neljännes]• Esitetään ehdotus kvanttisäädökseksi [2026]• Pilotoidaan kahta kvanttialan suurhaastetta (vikasietoiset kvanttilaskentajärjestelmät sekä kvanttitekologiaan perustuvat paikannus-, navigointi- ja ajanmääritysjärjestelmät) [2025–2027]
Toiminta-ala 2: Euroopan kvantti-infrastruktuurit
<ul style="list-style-type: none">• Julkaistaan EU:n kvanttilaskentaa ja -simulointia koskeva etenemissuunnitelma [2026]• Laajennetaan EuroHPC-yhteisyritykseen perustuvien kvanttilaskentajärjestelmien määrää ja kapasiteettia [vuodesta 2026 eteenpäin]• Perustetaan kvanttilaskennan seurantakehys [2026]• Otetaan käyttöön ensimmäinen EU:n kattava yhteenliitetty, kokeellinen, maanpäällinen ja avaruudessa sijaitseva suojattu viestintäverkko [vuoteen 2030 mennessä]• Julkaistaan kvanttiviestintää koskeva etenemissuunnitelma [2026]• Perustetaan pilottilaitos eurooppalaista kvantti-internetiä varten [2026]• Otetaan käyttöön hajautettu gravimetrijärjestelmä eri puolilla Eurooppaa [vuodesta 2026 eteenpäin]• Julkaistaan kvanttitunnistusta koskeva etenemissuunnitelma [2026]• Perustetaan eurooppalainen Q-MRI-pilotti-infrastruktuuri ja laajennetaan sitä eri puolille Eurooppaa [vuodesta 2025 eteenpäin]
Toiminta-ala 3: Euroopan kvanttialan ekosysteemi
<ul style="list-style-type: none">• Perustetaan kuusi uutta kvanttiteknologioiden pilottituotantolinjaa siruyhteisyrityksen puitteissa [2025]• Perustetaan kvanttiteknologioiden suunnittelulaitos [2026]• Julkaistaan kvanttisirujen teollistamista koskeva etenemissuunnitelma [2026]• Julkaistaan kvanttialan standardeja koskeva eurooppalainen etenemissuunnitelma [2026]• Laajennetaan kvanttialan osaamisklustereiden verkostoa [2026]• Toteutetaan ja saatetaan päätökseen toimitusketjun haavoittuvuuksia koskevia EU:n laajuisia arviointeja [2025–2026]
Toiminta-ala 4: Avaruudessa käytettävät kvanttiteknologiat ja kvanttiteknologiat, joilla on kaksikäyttöpotentiaalia (turvallisuus ja puolustus)
<ul style="list-style-type: none">• Allekirjoitetaan ESAn kanssa yhteistyösopimus avaruudessa käytettävää kvanttitekologiaa koskevan etenemissuunnitelman laatimisesta [vuoden 2025 toinen neljännes]• Laaditaan kvanttitunnistuksen avaruus- ja puolustusteknologiaa koskeva etenemissuunnitelma [2026]• Annetaan panos Euroopan puolustusmateriaaliteknologian etenemissuunnitelmaan [vuoden 2025 viimeinen neljännes]• Käynnistetään spin-in-aloitteita siviilialan yritysten ja tiedemaailman tuomiseksi mukaan puolustussovelluksiin [vuodesta 2026 eteenpäin]
Toiminta-ala 5: Kvanttiosaaminen
<ul style="list-style-type: none">• Perustetaan EU:n kvanttiosaamisakatemia [2026]

- Käynnistetään eurooppalaisia kilpailuja, joissa kilpaillaan pitkälle viedyssä digitaalisessa osaamisessa kvanttialalla [vuodesta 2026 eteenpäin]
- Käynnistetään kvanttiteknologia-alan startup-yritysten residenssitutkijoita koskeva pilottiohjelma [2025]
- Käynnistetään kvanttialan eurooppalainen liikkuvuusohjelma [vuodesta 2026 eteenpäin]

Kansainvälinen yhteistyö

- Käynnistetään kahden- ja monenvälisiä yhteistyöaloitteita [vuodesta 2025 eteenpäin]
- Tehdään jäsenvaltioiden kanssa yhteistyötä kvanttialan kansainvälistä yhteistyötä koskevan eurooppalaisen kehyksen luomiseksi [vuodesta 2025 eteenpäin]