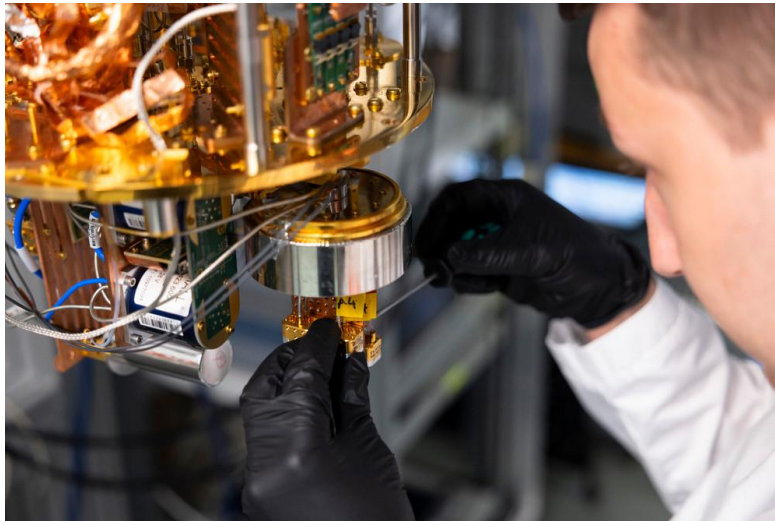


TUTKIMUSRAPORTTI

VTT-R-00204-26



Teknologiakehityksen investointikannusteet

Kirjoittajat: Ville Valovirta
Matti Pihlajamaa
Matthias Deschryvere

Luottamuksellisuus: VTT Public

Versio: 25.3.2026

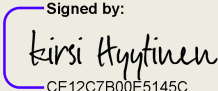


Raportin nimi Teknologiakehityksen investointikannusteet	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Työ- ja elinkeinoministeriö	Asiakkaan viite
Projektin nimi Selvitys teknologiakehityksen investointikannusteista	Projektin numero/lyhytnimi Kannus
Raportin laatija(t) Matthias Deschryvere, Matti Pihlajamaa, Ville Valovirta	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 58/
Avainsanat Teknologiapolitiikka, kannusteet, t&k-investoinnit	Raportin numero VTT-R-00204-26
Tiivistelmä Nopeasti kehittyvät murrokselliset ja mahdollistavat teknologiat vaikuttavat laajasti talouteen ja yhteiskuntaan. Tutkimuksen ja osaamisperustan kehittämisen rinnalla on tärkeää kannustaa yrityksiä ottamaan käyttöön uusia teknologioita ja kehittämään niihin liittyviä innovaatioita. Yritykset ovat haluttomia tekemään riskipitoisia ja pitkäjänteisiä investointeja uusiin teknologioihin, kun teknologian ja markkinoiden kehitykseen liittyy huomattavaa epävarmuutta. Etenkin loppukäyttäjyryitysten mukaan saaminen uuden teknologian kehittämiseen on haastavaa, kun tulokset ovat epävarmoja ja hyödyntämisen aikajännettä on vaikea arvioida. Uusien teknologioiden kehittäminen ja hyödyntäminen taloudessa ja yhteiskunnassa edellyttävät innovaatiomyönteistä toimintaympäristöä ja kannusteita. Tässä raportissa arvioidaan uusien teknologioiden kehittämisen ja hyödyntämisen kannusteita ja esitetään suosituksia niiden parantamiseksi. Selvitys tukee valtioneuvoston päätöksentekoa ja kansainvälistä yhteistyötä OECD:n innovaatio- ja teknologiapolitiikan työryhmän (TIP) kanssa. Raportissa tehdään katsaus teknologiakehityksen tukemisen tarpeisiin, kuvataan teknologiakehityksen kannustinkeinoja ja vertaillaan teknologiainfrastruktuurien rahoitus- ja hallintamalleja. Lisäksi tehdään vertailu Ruotsin ja Tanskan tilanteeseen sekä esitetään kaksi teknologiaekosysteemin kuvausta (kvanttiteknologiat, fotonikka). Teknologiakehityksen kohdennettujen kannusteiden arvioidaan täydentävän perustellusti yleisiä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiopolitiikan kannusteita erityisesti murroksellisten teknologioiden kehittämiseen ja soveltamiseen. Johtopäätöksinä tehdään ehdotuksia teknologiainfrastruktuurien ja testiympäristöjen rahoituksen ja hallintamallien organisoinnista. Lisäksi ehdotetaan uuden teknologian soveltamiseen ja käyttöönottoon kannustavien kysyntälähtöisten toimien vahvistamista.	
Luottamuksellisuus	VTT Public
Espoo 27.3.2026	
Laatija	Tarkastaja
Ville Valovirta Senior scientist	Kirsi Hyytinen Research team leader
VTT:n yhteystiedot	
Tekniikantie 21, 02150 Espoo; postiosoite PL 1000, 02044 VTT	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
Tilaaaja, VTT	
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>	



Hyväksyminen

TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY

Päivämäärä:	27.3.2026
Allekirjoitus:	Signed by:  CE12C7B00E5145C...
Nimi:	Kirsi Hyytinen
Asema:	Research Team Leader



Sisällysluettelo

1. Johdanto	4
2. Tarpeet teknologiakehityksen tukemiseen	4
3. Teknologiakehityksen kannustinkeinot	10
4. Pohjoismainen vertailu	25
4.1 Ruotsi	26
4.2 Tanska	28
4.3 Kvanttitekniologioihin kohdistuva tki-politiikka	30
4.4 Havainnot	32
5. Tapaustarkastelut	33
5.1 Kvanttitekniologiat	33
5.2 Fotoniikka	37
6. Teknologiainfrastruktuurien yhteiskäyttö- ja rahoitusmallit	43
7. Johtopäätökset	49
Lähdeviitteet	52



1. Johdanto

Nopeasti kehittyvät murrokselliset ja mahdollistavat teknologiat vaikuttavat laajasti talouteen ja yhteiskuntaan. Tutkimuksen ja osaamisperustan kehittämisen rinnalla on tärkeää kannustaa yrityksiä ottamaan käyttöön uusia teknologioita ja kehittämään niihin liittyviä innovaatioita. Yritykset ovat haluttomia tekemään riskipitoisia ja pitkäjänteisiä investointeja uusiin teknologioihin, kun teknologian ja markkinoiden kehitykseen liittyy huomattavaa epävarmuutta. Etenkin loppukäyttäjyryitysten mukaan saaminen uuden teknologian kehittämiseen on haastavaa, kun tulokset ovat epävarmoja ja hyödyntämisen aikajännettä on vaikea arvioida.

Uusien teknologioiden kehittäminen ja hyödyntäminen taloudessa ja yhteiskunnassa edellyttävät innovaatiomyönteistä toimintaympäristöä ja kannusteita. Teollisuuspoliittisessa strategiassa, valtion t&k-rahoituksen käytön monivuotisessa suunnitelmassa sekä teknologiakohtaisissa strategioissa (mm. kansallisessa kvanttistrategiassa) on tunnistettu tarve kehittää toimintaympäristöä ja innovaatioekosysteemiä kokonaisvaltaisesti ja siten kannustaa yrityksiä uusien teknologioiden kehittämiseen sekä soveltamiseen.

Tässä selvityksessä tarkastellaan uusien teknologioiden kehittämisen ja hyödyntämisen kannusteita. Selvitys tukee valtioneuvoston päätöksentekoa ja kansainvälistä yhteistyötä OECD:n innovaatio- ja teknologiapolitiikan työjaoston (TIP) kanssa.

2. Tarpeet teknologiakehityksen tukemiseen

Tarve valtion toimille yritysten kannustamiseksi investoimaan uuden teknologian kehittämiseen ja soveltamiseen nousee havainnosta, että yksityiset markkinat eivät tuota riittävästi pitkän aikavälin tutkimus- ja kehityspanoksia suhteessa talouden uudistumistarpeeseen ja yhteiskunnallisiin tavoitteisiin. Uuteen teknologiaan liittyy merkittäviä alkuinvestointeja, epävarmuutta ja niin sanottuja positiivisia ulkoisvaikutuksia: yrityksen tuottama tieto ja innovaatiot leviävät väistämättä joltain osin myös muiden toimijoiden hyödynnettäviksi. Tämä tarkoittaa, että yksittäisten yritysten kannustimet investoida voivat olla heikommät kuin koko yhteiskunnan näkökulmasta olisi optimaalista. Lisäksi uuden teknologian käyttöönotto voi vahvistaa tuottavuutta, talouskasvua, työllisyyttä ja kansainvälistä kilpailukykyä tavalla, joka hyödyttää koko kansantaloutta, minkä vuoksi julkisen vallan rooli riskien jakamisessa ja innovaatioympäristön kehittämisessä katsotaan perustelluksi.

Teknologian vaikutuksia talouteen on jäsennetty useiden näkökulmien avulla, jotka korostavat yhtäältä yleistä tarvetta edistää investointeja teknologian kehitykseen ja soveltamiseen ja toisaalta nostavat esiin syitä kohdentaa valtion toimia tiettyihin valikoituihin teknologia-aloihin. Näkökulmat korostavat teknologian erityisluonnetta kuten yleiskäyttöisyyttä, muuta innovaatiotoimintaa mahdollistavaa roolia, uutuutta, murroksellisuutta ja kriittisyyttä. Seuraavassa kuvataan kuhunkin näkökulmaan liittyvät perustelut ja niistä esiin nousevat johtopäätökset politiikan kohdentamiselle ja vaikutuskeinoille.

Yleiskäyttöiset teknologiat

Yleiskäyttöiset teknologiat kuten sähkö, tieto- ja viestintäteknologiat ja tekoäly edustavat radikaaleja innovaatioita, jotka vaikuttavat läpitunkevasti talouden ja yhteiskunnan eri osiin ja synnyttävät taloudellisen tuottavuuden pitkäkantoisia aaltoja. Ne ovat dynaamisesti kehittyviä ja



mahdollistavat uusien keksintöjen ja innovaatioiden syntymistä arvoketun eri osissa lukuisilla toimialoilla. Yleiskäyttöisten teknologioiden tutkimuksella on vakiintunut perinne, joka on osoittanut niiden laajat tiedon leviämisen eli spillover-vaiikutukset (Bresnahan & Tajtenberg 1995, Bekar ym. 2018). Tiedon levitessä syntyy täydentäviä innovaatioita ja muodostuu uusia innovaatiopolkuja (Teece 2017, Agrawal ym. 2023). Höyrykone mullisti teollisuuden ja liikkumisen, sähkö mahdollisti elektroniikan ja tieto- ja viestintäteknologiat ovat mahdollistaneet uusia kommunikoinnin ja kaupankäynnin muotoja.

Uuden teknologian käyttökohteiden löytäminen taloudessa vie aikaa ja käyttöönotto edellyttää olemassa olevien käytäntöjen ja organisointitapojen muuttamista ja vanhoista luopumista. Yleiskäyttöisten teknologioiden hyödyntäminen edellyttää niiden omaksumiskykyä, johon liittyy tietotaidon lisäksi myös infrastruktuuri ja institutionaalinen valmius tukea sositteknistä muutosta (Hogendorn & Frischmann 2020). Maat ja alueet, jotka pystyvät muita joustavammin mukauttamaan taloudellisia ja sosiaalisia rakenteitaan kuten regulaatiota ja infrastruktuuria vastaamaan uuden teknologia-aallon vaatimuksia, pystyvät nopeammin hyötymään sen mahdollisuuksista. Yleiskäyttöiset teknologiat kuitenkin tuottavat yleensä tuottavuushyötyjä vasta huomattavan viiveen jälkeen, kun toimialat sopeutuvat muutokseen ja rakentavat täydentäviä valmiuksiaan. Historialliset esimerkit osoittavat, että viive on ollut tyypillisesti kymmenestä vuodesta useisiin vuosikymmeniin ennen kuin täydentävät innovaatiot, organisointimallit, käyttäjätottumukset ja infrastruktuuri mukautuvat uuden teknologian mahdollisuuksiin (David 1990, Crafts 2021). Ajankohtainen esimerkki on generatiivinen tekoäly, jonka arvioidaan täyttävän yleiskäyttöisen teknologian tunnusmerkit (Calvino ym. 2025). Vaikka tekoälyn teknologinen kehitys on erittäin nopeaa, ei ole selviä merkkejä siitä, että talouden ja yhteiskunnan rakenteiden muutos olisi aiempia muutosprosesseja olennaisesti nopeampi.

Innovaatiopolitiikan toimia tarvitaan erityisesti tiedon ja teknologian laajan leviämisen mahdollistamiseen ja täydentäviin investointeihin kuten koulutukseen, tutkimustiedon tuottamiseen ja infrastruktuurien rakentamiseen. Välittömien tuottavuushyötyjen tavoittelun sijaan tulisi pyrkiä laajamittaisten kyvykkyyksien muodostamiseen sekä tiedon ja teknologian leviämiseen (Crafts 2021). Poliittikkatoimenpiteinä yleiskäyttöisiä teknologioita koskevassa tutkimuksessa esiin nousevat erityisesti osaavan työvoiman kouluttaminen ja yritysten yhteiskehittämisen kustannusten madaltaminen. Yleisten innovaatiotoiminnan edellytysten merkitystä korostetaan kapeiden toimialakohtaisten politiikkatoimien sijaan (Agrawal ym. 2023, David & Wright 1999). Sovelluskohteita koskevaa kokeilutoimintaa kannattaa myös tukea esimerkiksi testiympäristöjen, haastekilpailujen ja sääntelyhiekkalaatikoiden avulla (Agrawal ym. 2023). Digitalisoituvassa taloudessa data on myös tuotannontekijä, jolloin sen laatuun, saatavuuteen ja yhteentoimivuuteen panostamalla voidaan pienentää yhteiskehittämisen kustannuksia ja edistää teknologian leviämistä (Hogendorn & Frischmann 2020). Avointen standardien avulla voidaan edistää myös kilpailullisen markkinan muodostumista ja ehkäistä taloudellisen toiminnan keskittymistä.

Yleiskäyttöisiä teknologioita koskevan politiikan tulisi olla mukautettu teknologian leviämisen etenemisen mukaan. Teknologiakehityksen alkuvaiheessa kannattaa keskittyä osaamisten ja standardien rakentamiseen. Kehityksen edetessä on hyödyllistä edistää infrastruktuurin ja käyttökohteiden muodostumista esimerkiksi hankinta-aloitteiden avulla. Kun markkinarakenteet alkavat muodostua, pääpainon tulisi olla markkina- ja kilpailuolosuhteiden varmistamisessa ja riskien hallinnassa (Hogendorn & Frischmann 2020). Yleiskäyttöisiä teknologioita koskeva tutkimus on laajaa ja akateemisesti vahvasti ankkuroitunut etenkin taloushistorialliseen tutkimukseen sekä tuottavuus- ja kasvulaskentaan.



Mahdollistavat avainteknologiat

Mahdollistavat avainteknologiat (*key enabling technologies*) on käsite, jota on käytetty paljon Euroopan unionin politiikassa. Ne ovat teknologioita, jotka eivät vielä ole laajasti levinneitä, mutta joilla nähdään olevan potentiaali muodostua yleiskäyttöisiksi teknologioiksi.

EU on nimennyt kuusi mahdollistavaa avainteknologiaa: edistyneet valmistusteknologiat ja materiaalit, bioteknologiat, mikro- ja nanoelektroniikka sekä fotonikka, tekoäly ja turvallisuus- ja viestintäteknologiat (Ramahandry ym. 2021). Niille on yhteistä, että kaupallisten sovellusten kehittyminen mahdollistavista teknologioista edellyttää tyypillisesti yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa tehtävän tutkimuksen ja teollisen tutkimus- ja kehittämistoiminnan (t&k-toiminnan) välillä. Yhteistyön muodot ja tiedon hyödyntämisen ja leviämisen käytännöt ja kannusteet ovat silloin olennaisia taloudellisten vaikutusten syntymisen kannalta (Aschhoff ym. 2010). Toisaalta jotta yritykset pystyvät hyödyntämään näitä teknologisia osaamisia, niillä tulee olla riittävä tekninen kyvykkyys omaksua uutta tietoa ja soveltaa teknologiaa käytäntöön.

Mahdollistaville avainteknologioille on yhteistä tutkimus- ja kehityspainotteisuus, pääomavaltaisuus, monialainen osaamispohja, pitkä aikajänne teknologisen tutkimuksen ja hyödynnettävien innovaatioiden välillä, korkeat kerrannaisvaikutukset talouteen ja merkittävä potentiaali vaikuttaa uusiin innovaatioihin (Aschhoff ym. 2010). Omaksumiskyky (*absorptive capacity*) käsittää paitsi oman teknologian kehittämiskyvyn lisäksi myös organisatoriset valmiudet innovaatioprosessien johtamiseen ja uuden teknologian integrointiin olemassa oleviin liiketoimintaprosesseihin (Aschhoff ym. 2010).

Mahdollistavien avainteknologioiden näkökulmaa on sovellettu Euroopan unionin t&k-rahoitusohjelmissa ja alueellisessa innovaatiopolitiikassa. Niin sanottu älykkään erikoistumisen strategia rakentuu vahvojen osaamisalojen varaan, jossa avainteknologioilla on keskeinen rooli uuden kilpailukyvyn lähteenä (Montresor & Quatraro 2017).

Mahdollistavia avainteknologioita koskevassa tutkimuksessa on havaittu, että avainteknologioiden vaikutukset eroavat toisistaan. Silloin kun teknologinen osaaminen vastaa rakenteeltaan talouden rakenteeseen, ne avaavat uusia innovaatiomahdollisuuksia soveltavilla toimialoilla. Tällaisia ovat olleet mm. edistyneet valmistusteknologiat, nanoteknologia ja fotonikka. Voimakas investointi tiettyyn teknologia-alaan voi kuitenkin sitoa resursseja muilta toimialoilta ja tuottaa jopa kielteisen vaikutuksen innovaatiolähtöiseen kasvuun koko talouden tasolla (Wessendorf ym. 2021). Riskinä on, että voimavarojen keskittäminen tiettyyn teknologiaan vahvistaa polkuriippuvuutta ja siten hidastaa talouden uudistumista (John ym. 2022).

Politiikkasuosituksina nähdään tarpeelliseksi tukea mahdollistavien avainteknologioiden kehittämistä ja soveltamista laajalla keinovalikoimalla. Näihin sisältyvät muun muassa akateemisen ja teollisuuslähtöisen tutkimuksen ja teknologiakehityksen tuki, klusterien kehityksen tuki, standardointi, riskirahoituksen saatavuuden edistäminen sekä koulutuksen ja osaamisen vahvistaminen (Aschhoff ym. 2010).

Tuoreen vertailun mukaan Suomi on menettänyt viime vuosina asemiaan avainteknologioissa. Heikentynyt asema liittyy etenkin heikompaan tuotokseen tieteellisissä julkaisuissa, tuotemerkkihakemuksissa ja ohjelmistopatenteissa (Pelkonen 2025). Tilanne on samansuuntainen koko Euroopan unionin tasolla. Suhteellista kilpailuetua globaalisti löytyy vain kahdessa 13:sta nimetystä avainteknologiasta: edistyneissä valmistusmenetelmissä ja bioteknologiassa. Digitaalisten teknologioiden alueella kilpailukyky on Yhdysvaltoihin ja Kiinaan verrattuna kauttaaltaan heikompi (Cantner ym. 2022).



Nousevat teknologiat

Nousevia teknologioita (*emerging technologies*) luonnehtivat niiden radikaali uutuus, nopea kasvu, koherenssi, merkittävä vaikutus, epävarmuus ja monitulkintaisuus (Rotolo ym. 2015). Niillä on potentiaalisesti suuri vaikutus yhteiskunnan ja talouden rakenteisiin, mutta koska teknologiat ovat vasta muotoutumassa, niiden tarkkoja vaikutuksia on vaikea ennakoida. Myöskään relevantteja toimijoita on näin ollen vaikea tunnistaa. Nousevien teknologioiden näkökulma on yleinen etenkin ennakkoinnissa ja tulevaisuuden tutkimuksessa. Tunnistamiseen käytetään tyypillisesti tieteellistä julkaisemista ja patentointia koskevaa dataa, joiden avulla pyritään tunnistamaan nousevia teknologiatrendejä.

Nousevien teknologioiden nähdään vaativan erillistä huomiointia innovaatiopolitiikassa verrattuna vakiintuneisiin teknologioihin johtuen niiden kehittämiseen sisältyvästä epävarmuudesta ja investointitarpeista ennen kuin ne vakiinnuttavat asemansa markkinoilla. Innovaatiopolitiikan keskustelussa on pidetty tärkeänä teknologisen monimuotoisuuden ylläpitämistä, joka lisää vaihtoehtoja ja helpottaa kilpailevaan teknologiaan vaihtamista (Djakonoff ym. 2024).

Monimuotoisuuden vaatimus luo kuitenkin haasteen johtuen resurssien rajallisuudesta, joka asettaa rajoitteita teknologianeutraalin lähestymistavan soveltamiseen. Nousevien teknologioiden näkökulma korostaa politiikkatoimia, jotka mahdollistavat teknologiatrendien varhaisen havaitsemisen, relevanssin arvioinnin ja niihin pohjautuvien osaamisten rakentamisen.

Nousevien teknologioiden rinnalla on käytetty myös termiä **eturintaman teknologiat** (*frontier technology*). Erityisesti OECD:n piirissä niillä on viitattu uusiin tieteellistä ja teknologista edelläkävijyyttä edustaviin aloihin, joista odotetaan syntyvän laajoja tiedon leviämisvaikutuksia ja joiden kaupallistaminen teolliseen mittakaavaan edellyttää tyypillisesti huomattavia investointeja (Andrews ym. 2015). Eturintaman teknologiat ovat nopeasti kehittyviä ja läpimurtoluonteisia teknologioita, jotka yhdistävät useita tieteenaloja ja joilla on potentiaalia muuttaa talouden ja yhteiskunnan rakenteita. Niille tyypillisiä ominaisuuksia ovat korkea epävarmuus ja riskisyys, vahva tutkimusintensiivisyys, nopea skaalautuvuus sekä merkittävät verkostovaikutukset. Eturintaman teknologioihin luetaan usein muun muassa tekoäly ja koneoppiminen, kvanttitekniikat, synteettinen biologia ja biotekniikka, kehittyneet materiaalit, autonomiset järjestelmät, avaruustekniikat ja energiateknologian uudet ratkaisut kuten fuusiovoima ja seuraavan sukupolven akkuteknologiat.

Näihin kohdistuvia investointeja voidaan lisätä politiikkatoimin, jotka vähentävät tutkimus- ja kehittämistoiminnan riskejä sekä tukevat ekosysteemien muodostumista, kuten pitkäjänteisellä julkisella TKI-rahoituksella, kohdennetuilla ohjelmilla ja tiekartoilla, missio- ja kysyntävetoisella innovaatiopolitiikalla (esim. innovatiivisilla hankinnoilla), julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuuksilla, sääntelyhiekkalaatikoilla sekä verokannustimilla, jotka rohkaisevat yrityksiä investoimaan uusia teknologioita hyödyntävään liiketoimintaan. Johtuen merkittävistä vaikutuksista lukuisiin eturintaman teknologiaa soveltaviin toimialoihin ja kehitysprosessien pitkään kestoan ja korkeisiin riskeihin on lisääntynyt keskustelu tarpeesta harjoittaa perinteisen innovaatiopolitiikan lisäksi myös laajempaa, aktiivista teollisuuspolitiikkaa (Criscuolo ym. 2022, Berger ym. 2024).

Murrokselliset teknologiat

Murrokselliset eli disruptiiviset teknologiat viittaavat kehityksen alla oleviin teknologioihin, jotka synnyttävät laajoja muutoksia taloudessa ja yhteiskunnassa. Ulkopoliittisen instituutin (FIIA) raportti vuodelta 2024 määrittelee murrokselliseksi teknologiaksi sellaisen teknologian, joka tuottaa systemaattisia muutoksia toimintaympäristöön. ne mahdollistavat radikaaleja kehityskulkuja ja voivat vaikuttaa kriittisiin resursseihin sekä kansalliseen varautumiseen (Holmgren 2024).



Disruptiivinen teknologia haastaa vallitsevan teknologian ylittämällä sen suorituskyvyn keskeisten ulottuvuuksien osalta (Soot & Tellis 2011). Koska disruptiivinen teknologia pohjautuu uudenlaisiin osaamisiin, se myös murentaa aiempien osaamisten arvoa. Käyttäjät joutuvat mukauttamaan toimintaansa voidakseen hyödyntää uusia teknologioita. Tämä aiheuttaa epäjatkuvuuskohtia kuluttajien ja organisaatioiden toimintaan (Kilki ym. 2018).

Murroksellisten teknologioiden näkökulmaa on sovellettu etenkin yritysten strategian jäsentelyssä tarkoituksena tunnistaa mahdollisuuksia ja riskejä liiketoiminnan perustavanlaatuisen muutokseen uuden teknologian myötä. Viime aikoina käsitteen käyttö on laajentunut tarkastelemaan koko taloutta ja yhteiskuntaa. Teknologisen disruption nähdään aiheuttavan laajoja murroksia yhteiskunnassa kattaen työmarkkinat, infrastruktuurin, turvallisuuden ja ympäristön. Kuhunkin näistä liittyy riskejä ja eettisiä kysymyksiä, jotka nostavat esiin pyrkimyksiä sääntelyn keinoin hallita kehitystä. Samalla sääntely kuitenkin asettaa rajoitteita innovaatioille, mikä saattaa hidastaa teknologiasta syntyviä taloudellisia kasvuvaikutuksia.

Valtioneuvosto on tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa koskevissa strategisissa valinnoissaan nostanut tietyt murrokselliset teknologiat erityisen huomion kohteiksi: kyberturvallisuus, avaruusteknologiat, kvanttitekologiat, tekoäly, puolijohteet (ml. sirut) sekä bio- ja geenitekologiat. Näihin liittyvien osaamisten kehittäminen nähdään luovan kansainvälistä kilpailukykyä, strategista autonomiaa ja taloudellista kasvua. Myös kansainvälisten kumppanuuksien nähdään rakentuvan murrosteknologioiden ympärille.

Myös vuonna 2024 valmistunut puolustuselonteko kiinnittää huomiota murroksellisiin teknologioihin. Se tarkastelee Suomen turvallisuusympäristön nopeaa muutosta ja korostaa tarvetta vahvistaa puolustuskykyä tilanteessa, jossa teknologinen kehitys muuttaa sodankäynnin luonnetta entistä vaikeammin ennakoitavaksi. Selonteon laajemman teknologisen kontekstin ymmärtämistä tukevat tuoreet analyysit murroksellisista teknologioista, kuten tekoälystä, kvanttilaskennasta, robotiikasta ja bioteknologiasta, joiden nähdään haastavan perinteisiä toimintamalleja sekä luovan uusia haavoittuvuuksia ja mahdollisuuksia kansalliselle varautumiselle. Murroksellisten teknologioiden näkökulma nostaa taloudellisen kasvun tavoitteiden rinnalle vahvasti myös teknologiaan liittyvät riskit, niiden ennakkoinnin ja varautumisen.

Kriittiset teknologiat

Kriittiset teknologiat nähdään strategisina voimavaroina, jotka ovat välttämättömiä resilienssin ja liikkumavapauden ylläpitämiseksi. Kriittisinä teknologioina mainitaan tyypillisesti mm. tekoäly, puolijohteet, kvanttilaskenta ja edistyneet viestintäteknologiat. Kriittisiin teknologioihin nähdään toisaalta liittyvän suuria riskejä. EU:n taloudellisen turvallisuuden strategiassa esitetään keskeisiä riskityyppejä. Teknologian toimitusketjujen häiriintyminen voi aiheuttaa mittavia ja koko talouteen ulottuvia negatiivisia vaikutuksia, kuten on nähty mikrosirujen saatavuushäiriöissä. Toinen riski liittyy kriittisen infrastruktuurin fyysiseen ja kyberturvallisuuteen. Kolmanneksi omavaraisuuden tarpeita aiheuttaa teknologiaosaamisen suojaaminen. Kriittistä teknologiaa ja siihen liittyviä riippuvuuksia voidaan myös käyttää taloudellisen painostuksen välineenä. Taloudellisten riskien lisäksi kriittisiin teknologioihin liittyy myös yhteiskunnallisia ja turvallisuuteen liittyviä vaikutuksia.

Euroopan taloudellisen turvallisuuden strategiassa on nimetty kymmenen kriittisen teknologian aluetta: edistykseelliset puolijohteet, tekoäly, kvanttitekologiat, bioteknologiat, edistyneet viestintä-, navigointi- ja digitaaliset teknologiat, mittausteknologiat, avaruusteknologiat, energiateknologiat, robotiikka ja autonomiset järjestelmät sekä edistyneet materiaalit ja valmistus- ja kierrätysteknologiat. Ne nähdään keskeisinä Euroopan turvallisuudelle sekä kilpailukyvyllä, jotka mahdollistavat vihreän ja digitaalisen siirtymä toteutumisen (European Commission 2023). Kriittiset



teknologiat toimivat innovaatiolähtöisen talouden tuottavuuden kasvun ajureina, mutta samalla hyötyjen aikaansaaminen edellyttää niihin liittyvien riskien hallintaa. Suomessa Teknologiateollisuus on vastaavasti perään kuuluttanut teollista perustaa ja kriittistä infrastruktuuria muodostavien teknologioiden saatavuuden ja osaamisen varmistamiseen.

Politiikan vaikutuskeinoina on ehdotettu laajaa joukkoa teollisuus- ja teknologiapolitiikkojen yhdistelmiä. Nämä sisältävät t&k-toiminnan tukien lisäksi myös teollisen tuotannon subventioita, alan suojaamista sääntelyn keinoin ja kansallisia infrastruktuuri-investointeja (Rodrik 2004, Juhasz 2023). Kilpailu teknologisesta etumatkasta onkin saanut monet maat rahoittamaan yritystukien avulla t&k-toiminnan lisäksi myös tuotantokapasiteetin kasvattamista (Falck & Falk 2024). Teollisen tuotannon valmistuskapasiteetin kasvattamiseen tarkoitetut yritystuet voivat kuitenkin sisältää merkittäviä riskejä, kuten markkinavääristymien syntyminen, tehottomien investointien tukemisen ja innovaatiokannustimien heikkenemisen. Tuet voivat lisätä yritysten markkinaosuuksia ilman vastaavaa tuottavuuden paranemista ja siten heikentää pitkän aikavälin kilpailukykyä sekä lukita rakenteellisesti tehottomia toimijoita markkinoille (Millot ym. 2025).

Myös julkisten hankintojen roolia pidetään tärkeänä. Suomessa Teknologiateollisuus on esittänyt mm. pilvi-infrastruktuuriin, tekoälyyn ja kyberturvaan liittyvien ratkaisujen hankintoja. Ne tulisi kohdistaa teknologian pilotointiin ja skaalaamiseen todellisissa julkisen sektorin käyttöympäristöissä edesauttaen innovaattoreita siirtymään kehitysvaiheesta kohti markkinakypsyyttä.

Teknologinen suvereniteetti

Mahdollistavilla avainteknologioilla nähdään olevan keskeinen rooli myös teknologisen omavaraisuuden ja **suvereniteetin** saavuttamisessa. Teknologinen suvereniteetti on valtion kyky kaikkina aikoina turvata keskeisten teknologioiden saatavuus, joita tarvitaan yhteiskunnallisten tarpeiden ja tavoitteiden toteutumiseen (Falck & Falk 2024). Teknologiseen suvereniteettiin nähdään eurooppalaisessa keskustelussa liittyvän kolme ulottuvuutta (European Parliament 2021). Teknologinen ulottuvuus käsittää vahvan osaamispohjan ja teollisen kyvykkyyden teknologian kehittämiseksi. Taloudellinen ulottuvuus viittaa kykyyn kääntää tutkimus- ja kehitystyön tulokset kaupalliseksi tuotteiksi ja valmiuteen ylläpitää keskeisten resurssien saatavuutta läpi toimitusketjujen. Tähän liittyy riippumattomuus kolmansista maista. Kolmas ulottuvuus liittyy sääntelyyn: eurooppalaisia arvoja heijastavan politiikan ja standardien kehitys, joilla on vaikutusta globaaliin regulaatioon, standardeihin ja toimintakäytäntöihin (European Parliament 2021).

Teknologisen suvereniteetin näkökulma laajentaa teknologiapolitiikan tavoitteita innovaatiolähtöisen taloudellisen kasvupäämäärän lisäksi huomattavasti laajemmaksi kattaen myös yhteiskunnalliseen turvallisuuteen, huoltovarmuuteen, geopoliittiseen riippumattomuuteen ja eettisiin näkökohtiin liittyviä päämääriä. Teknologisen suvereniteetin tarpeita nähdään syntyvän puolustukseen, digitaalisiin ratkaisuihin, ympäristö- ja energiatekniikkaan ja terveysturvallisuuteen liittyen (Falck & Falk 2024). Esimerkki teknologisen omavaraisuuden tarpeesta liittyy kvanttiteknologian kehitykseen: jotta nykyisten salaussavainten murtamiseen kykenevien kvanttietokoneiden kehitykseen kyetään varautumaan, tulisi Suomessa olla omaa osaamista kvanttiturvallisten salausten menetelmien kehittämiseen. Teknologinen omavaraisuus on myös vahvasti yhteenkytkeytynyt läpi arvoketjujen. Yhteiskunnan sähköistyessä ja tekoälyn sekä pilvilaskennan yleistyessä energian ja erityisesti puhtaan energian saatavuudesta on tullut strategista infrastruktuuria, joka ei ole pelkkä tukifunktio (Suominen 2026).



Yhteenveto

Edellä kuvatut näkökulmat teknologian erityispiirteisiin ovat monelta osin päällekkäisiä ja rinnakkaisia. Mutta ne nostavat esiin myös toisistaan eriäviä vaikutuksia. Suositellut politiikkakeinot ja niiden laajuus eroavat näin ollen jonkin verran toisistaan. Keskeinen ero liittyy siihen, missä määrin tulisi pitäytyä yleisessä teknologianeutraalissa politiikassa, jonka tavoitteena on lisätä yritysten teknologiakehityksen panostuksia kautta linjan ja missä määrin on perusteita kohdentaa toimia priorisoituihin teknologia-aloihin. Toinen kysymys liittyy siihen, kuinka paljon teknologiakehityksen tukitarpeiden nähdään johtavan perinteistä t&k-toiminnan tukea laajempaan teollisuuspolitiikan välineistöön, joka ulottuu teknologian kehittämistä pidemmälle sen kokeiluun, soveltamiseen, valmistamiseen ja markkinoiden rakentamiseen. Kolmas eroavuus liittyy teknologian myönteisten vaikutusten ja kielteisiin kehityskulkuihin liittyvien riskien tasapainottamiseen politiikan suuntaamisessa.

Taulukko 1. Teknologiakehityksen näkökulmia.

Näkökulma		Vaikutukset
Yleiskäyttöiset teknologiat	<i>General purpose technologies</i>	Laaja-alaiset tuottavuushyödyt ja leviämisvaikutukset taloudessa
Mahdollistavat avainteknologiat	<i>Key enabling technologies</i>	Toimivat rakennuspalikoina lukuisille innovaatioille
Nousevat teknologiat	<i>Emerging technologies</i>	Ennakointi ja riskienhallinta, yhteiskunnalliset vaikutukset
Murrokselliset teknologiat	<i>Disruptive technologies</i>	Liiketoiminnan, talouden ja yhteiskunnan rakenteita murtavat vaikutukset
Eturintaman teknologiat	<i>Frontier technologies</i>	Tiedelähtöisyys ja suurten investointien tarve skaalaamiseen
Kriittiset teknologiat	<i>Critical technologies</i>	Turvallisuus, toimitusketjut, teknologinen omavaraisuus, huoltovarmuus

3. Teknologiakehityksen kannustinkeinot

Teknologian kehittämiseen ja käyttöön kannustavat politiikkakeinot voivat pyrkiä vaikuttamaan liiketoiminnan kehittämisen eri osapuoliin: teknologiaa kehittävään yritykseen, yksityisiin rahoittajiin tai uuden teknologian käyttäjiin. Kukin toimija arvioi teknologiakehitykseen panostamisen houkuttelevuutta sen hyötyjen, kustannusten ja riskien kannalta. Julkisen sektorin käytössä olevien vaikutuskeinojen avulla voidaan pyrkiä pienentämään näihin liittyviä epävarmuuksia ja riskejä ja siten kannustaa aktiivisempaan kehittämiseen sekä lisätä yksityisiä panostuksia.

Yritysten näkökulmasta katsoen kehittämiseen liittyy etenkin teknologian toimivuuteen ja suorituskykyyn, käyttäjien ja markkinoiden hyväksyntään, sääntelyyn ja immateriaalioikeuksien suojaamiseen liittyviä riskejä. Näitä epävarmuuksia madaltavia politiikkakeinoja ovat mm. t&k-avustukset ja lainat, verokannustimet, innovaatioihin kannustavat julkiset hankinnat, sääntelyhiekkalaatikot sekä nopeutettu viranomaisluvitus kokeiluihin ja teolliseen tuotantoon.



Yksityisten rahoittajien kannalta teknologiakehitykseen nojautuvaan liiketoimintaan liittyy korkea riski ja tuottojen syntymisen pitkä aikajänne. Yksityisen pääoman valmius ottaa teknologiakehitykseen liittyviä riskejä on havaittu olevan rajallinen. Tämä on nähty erityisesti Euroopan ongelmana. Julkisen sektorin on perusteltua silloin pyrkiä luomaan edellytyksiä markkinoiden kasvulle ja kannustaa sijoittajia kasvattamaan riskinotto kykyään. Yksityisen rahoittajan kannusteiden lisäämiseksi voidaan pyrkiä lisäämään teknologiakehitykseen liittyvän investoinnin houkuttelevuutta pienentämällä rahoituksellisia ja markkinoiden kehitykseen liittyviä riskejä. Riskejä ovat etenkin sijoitetun pääoman menetys, taloudellisten tuottojen epävarmuus ja aikajänne sekä sääntelyyn ja geopolitiikkaan liittyvät riskit. Rahoittajien riskien madaltamiseen soveltuvia politiikkakeinoja ovat mm. yksityisiä investointeja aktivoiva ("vivuttava") julkinen rahoitus, verotuksen muokkaaminen ja investointeihin kannustava ennustettava sääntely.

Teknologian käyttäjien kannalta keskeisiä riskejä ovat uuden teknologian epävarmat hyödyt, turvallisuus ja luotettavuus, tietosuoja ja yksilönsuoja, toimimattomasta teknologiasta syntyvät taloudelliset riskit, toimittajalukko ja eettiset riskit. Käyttäjien toimintaa aktivoivia politiikkakeinoja ovat käyttäjiä ja kehittäjiä yhteentuovat klusteriohjelmat, julkisen sektorin käyttäjiä mobilisoivat innovatiiviset hankinnat, pilotoinnin ja demonstroinnin tuki, standardisoinnin ja standardien soveltamisen tuki ja teknologian hyötyjen vaikutusarviointi.

Seuraavaksi kuvataan teknologiakehityksen kannustinkeinoja julkisen teknologiapolitiikan näkökulmasta korostaen erityisesti kannustinvaikutuksia eri osapuoliin: teknologiayrityksiin, yksityisiin sijoittajiin ja teknologian käyttäjiin. Politiikkakeinot edustavat monelta osin yleisiä t&k-toiminnan vaikutuskeinoja, joiden tilannetta arvioidaan erityisesti yritysten teknologiakehityksen kannustinvaikutusten näkökulmasta.

Avustukset ja lainat

Julkisten t&k-avustusten tavoitteena on ennen kaikkea lisätä yritysten tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan määrää ja laatua tilanteissa, joissa markkinat yksin johtaisivat liian vähäisiin panostuksiin. Avustuksilla pyritään alentamaan yritysten kohtaamia riskejä ja kustannuksia, kannustamaan pitkäjänteisiin ja radikaalimpiin innovaatioihin sekä nopeuttamaan uusien teknologioiden kehitystä ja käyttöönottoa. Samalla niillä tavoitellaan myönteisiä ulkoisvaikutuksia, kuten osaamisen leviämistä, tuottavuuden kasvua ja uusien markkinoiden syntyä, joita yksittäisen yrityksen on vaikea aikaansaada. T&k-avustusten avulla voidaan myös vahvistaa yritysten kykyä hyödyntää tutkimustietoa, edistää yhteistyötä tutkimusorganisaatioiden kanssa ja tukea teknologioiden soveltamista yhteiskunnallisesti tärkeillä alueilla, kuten vihreässä siirtymässä ja digitalisaatiossa. Tutkimusten mukaan t&k-tuet lisäävät yritysten omia panostuksia keskimäärin 17-25 % (Correa ym. 2013). Ne eivät näin ollen syrjäytä yksityisiä investointeja, vaan täydentävät niitä. Avustuksilla on todettu olevan myös myönteinen vaikutus yksityisten sijoittajien kiinnostukseen rahoittaa avustuksen saajien liiketoimintaa (ns. sertifiointivaikutus) (Howell 2017).

T&k-tukien kohdentaminen ennalta määritellyille teknologia-aloille yleisten, teknologianeutraalien kriteerien sijaan sisältää useita riskejä. Ensinnäkin se altistaa päätöksenteon virheille, koska julkinen valta voi lukita resursseja teknologioihin, joiden pitkän aikavälin potentiaali osoittautuu heikommaksi kuin ennakoitiin. Samalla lupaavat mutta ennakoimattomat innovaatiot voivat jäädä ilman tukea. Toiseksi kohdennettu tuki voi vääristää kilpailua suosimalla tiettyjä toimijoita tai ratkaisuja markkinaehtoisien valinnan kustannuksella, mikä heikentää tehokkuutta ja hidastaa tuottavimpien ratkaisujen syntyä. Kolmanneksi teknologiapainotteinen ohjaus voi lisätä eturyhmävaikuttamisen ja poliittisen ohjautuvuuden riskiä, jolloin tukipäätökset perustuvat osin muuhun kuin hankkeiden todelliseen laatuun tai yhteiskunnalliseen vaikuttavuuteen. Lopuksi tällainen lähestymistapa voi vähentää tutkimus- ja innovaatiojärjestelmän joustavuutta ja



sopeutumiskykyä nopeasti muuttuvassa teknologisessa ympäristössä, jossa läpimurrot syntyvät usein eri alojen rajapinnoilla.

Suomessa tärkein t&k-rahoitusta yrityksille tarjoava organisaatio on Business Finland, jonka rahoitus kohdistuu erityisesti pk-yrityksille, mutta myös startupit, midcap-yritykset ja tutkimusorganisaatiot voivat saada tukea yhteisiin kehityshankkeisiin. Se suuntaa rahoitusvaltuutensa yhä enemmän tutkimus- ja kehityshankkeisiin. Vuoden 2025 lopussa Business Finland on lakkauttanut useita rahoitusmuotoja (Tempo, Talent, Exhibition Explorer ja Market Explorer) ja keskeyttänyt Nuoret innovatiiviset yritykset (NIY) -rahoituksen. Muutoksen taustalla vaikuttavat valtiontalouden säästötoimet, jotka ohjaavat vähentämään muuta kuin t&k-toimintaan kohdistuvaa rahoitusta. Suomalaisten yritysten panostusten kasvattaminen tutkimus- ja kehitystyöhön on jatkossa Business Finlandin selvästi tärkein tavoite.

T&k-avustusten avulla valtio voi suunnata tukea hyvinkin tarkasti valittuihin teknologioihin, toimialoihin ja hankkeisiin. Se voi myös asettaa ehtoja esimerkiksi yhteistyöstä tutkimusorganisaatioiden kanssa, yritysten välisestä konsortioitumisesta tai korkeampien riskiprofiilien hyväksymisestä. Tämä edellyttää hakemusten arviointia, seuranta ja raportointia, mikä kasvattaa hallinnointikustannuksia. T&k-tukien vaikuttavuutta tarkasteltaessa ohjelmat, joissa on vain yleiset ja väljät kriteerit, tuottavat usein laajapohjaisia mutta vaihtelevia tuloksia, koska yritykset voivat suunnata rahoituksen suhteellisen matalan riskin kehityshankkeisiin ilman vaatimusta laajemmasta vaikuttavuudesta. Tämä lisää osallistujamääriä mutta heikentää todennäköisyyttä, että tuki ohjautuu kaikkein kunnianhimoisimpiin tai laajaa yhteiskunnallista hyötyä luoviin projekteihin. Sen sijaan tiukasti ehdollistetut tukiohjelmat—joissa edellytetään tutkimusyhteistyötä, yritysten välistä yhteistyötä tai korkeampaan teknologiariskiin liittyviä hankkeita—pystyvät usein tuottamaan laajempaa vaikuttavuutta, koska ne ohjaavat hakijoita kohti rakenteellisesti haastavampia ja pidemmän aikavälin innovaatioita. Samalla ne voivat kuitenkin rajata osallistujien joukkoa, lisätä hallinnollista taakkaa ja kasvattaa hankkeiden valmistelukustannuksia, mikä voi vähentää erityisesti pk-yritysten osallistumista.

Verokannustimet tutkimus- ja kehittämistoimintaan

Verokannustin on innovaatiopolitiikan työkalupakkiin lukeutuva vaikutuskeino, jolla pyritään lisäämään yritysten panostuksia t&k-toimintaan. Verrattuna suoriin yritystukiin kuten avustuksiin verokannustimien käytön etuna pidetään hallinnollista keveyttä, koska toiminnan kohdentaminen tapahtuu yrityksen toimesta ilman rahoittajan ulkoista hankearviointia. Verokannustimet puolestaan yleisempinä ja yrityslähtöisinä tukimuotoina, joissa yksilöllisiin yhteistyöehtoihin tai riskitasoihin vaikuttaminen on huomattavasti rajatumpaa ilman verojärjestelmän monimutkaistumista. Ne ovat kevyempiä hallinnoida ja kattavat laajemman joukon toimijoita, vaikka valtion mahdollisuudet strategiseen ohjaukseen ovat heikommat. Monissa maissa on kuitenkin pyritty suuntaamaan verokannustimen käyttöä asettamalla ehtoja sen piirissä olevien yritysten koolle tai verovähennyksen myöntöperusteille (Pajarinen ym. 2007).

Etlan tutkimus on vertaillut verokannustinmallien vaikuttavuutta (Koski 2022). Yritysten tutkimus- ja kehitystyön panostukset ovat olleet suurimmat maissa, joissa vähennysperuste on ollut täysin tai kokonaan yrityksen t&k-menojen lisäykseen perustuva. Yritysten innovaatiopanokset osoittautuivat korkeammiksi maissa, joissa oli käytössä pieniä ja keskisuuria yrityksiä suosivia verokannustimen ehtoja kuten mahdollisuus siirtää käyttämättä jäänyttä verovähennysoikeutta tuleville vuosille (Koski 2022).

Suomessa on käytössä kaksi t&k-toimintaa koskevaa verokannustinta: vuosina 2021-2027 sovellettava tutkimusyhteistyövähennys sekä vuonna 2023 voimaan tullut tutkimus- ja



kehittämistoiminnan yhdistelmävähennys¹. Ne eroavat toisistaan vähennyksen määrän ja perusteen osalta, mutta ovat osittain päällekkäisiä. Tutkimusyhteistyövähennyksen voi tehdä vain lain määritelmän täyttäviltä tutkimus- ja tiedonlevittämisorganisaatiolta ostettujen tutkimus- ja kehittämistoiminnan palvelujen perusteella, kun taas yhdistelmävähennykseen oikeuttavat yleisesti tutkimus- ja kehittämistoiminnan palkka- ja ostopalvelumenot.

Suomalaiset startup-yritykset ovat tuoneet esiin, että nykyinen t&k-toiminnan verokannustin ei ole alkaville teknologiayrityksille helposti hyödynnettävissä. Haasteina nähdään kannustimen määräaikaisuus, koettu monimutkaisuus ja rajallinen vaikuttavuus erityisesti nuorille ja kasvaville yrityksille, joilla ei aina ole verotettavaa voittoa verovähennyksen realisoimiseksi. Pitkään tappiota tekeviä t&k-intensiivisiä startuppeja ovat esimerkiksi terveysteknologiaa kaupallistavat yritykset, joiden pitkät tuotekehitys- ja myyntilupaprosessit viivästyttävät yritystoiminnan voitolliseksi kääntymistä. Startup-yritykset ovat peräänkuuluttaneet pysyvää ja ennustettavaa mallia, laajempaa kustannuspohjaa, parempaa yhteensopivuutta muiden TKI-instrumenttien kanssa sekä mahdollisuuksia hyvityksen palautettavuuteen tai siirrettävyyteen (Startup-yhteisö 2025).

Teknologiansiirto

Yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa kehitetyn teknologian siirto yrityksille tapahtuu tyypillisesti lisensoinnin, spinoff-yritysten perustamisen ja erilaisten yhteistyömuotojen kautta, joissa tutkimusorganisaatiot luovuttavat immateriaalioikeuksia tai osaamista yritysten hyödynnettäväksi. Maksullinen lisensointi edustaa perinteistä mallia, jossa tutkimusorganisaatio saa välitöntä rahallista korvausta ja voi vähentää kaupallistamiseen liittyviä riskejä siirtämällä teknologian kehittämisvastuun yritykselle. Samalla se menettää osan mahdollisesta pitkän aikavälin arvonnoususta ja joutuu hyväksymään rajoitetun roolin teknologian myöhemmässä kehityksessä. Omistusosuuteen perustuvat lisenssit, jotka ovat tyypillisiä erityisesti spinoff-yrityksissä, voivat puolestaan lisätä tutkimusorganisaation kannustimia tukea teknologian jatkokehitystä ja mahdollistaa merkittäviä taloudellisia tuottoja yrityksen menestyessä. Näihin liittyy korkeampi epävarmuus, sillä spinoffien tuotto realisoituu usein vasta pitkällä aikavälillä ja on altis varhaisen vaiheen yritystoiminnan riskeille.

Tutkimuslähtöisten spinoff-yritysten näkökulmasta maksulliseen lisensointiin perustuvat teknologiansiirron mallit tarjoavat selkeän ja hallitun tavan hyödyntää tutkimusorganisaation kehittämää teknologiaa. Yritys maksaa käyttöoikeudesta joko kertakorvauksia, etappimaksuja tai rojalteja ja saa vastineeksi täyden määräysvallan teknologian kaupallistamiseen ilman omistuksellisia sidoksia. Tämä voi vähentää hallinnollista monimutkaisuutta ja helpottaa esimerkiksi sijoittajaneuvotteluja. Samalla se kasvattaa nuorten yritysten taloudellista painetta, koska alkuvaiheen maksut voivat olla raskaita niukoilla resursseilla toimiville startupeille. Lisäksi tutkimusorganisaation kannuste tukea teknologian pitkäjänteistä kehitystä voi jäädä rajalliseksi, koska sen taloudellinen hyöty perustuu sopimusmaksuihin pikemminkin kuin yrityksen menestymiseen.

Omistusosuuksiin perustuvat lisensointimallit alentavat yrityksen alkuvaiheen kustannuksia ja luovat vahvemman yhteisen intressin startupin ja tutkimusorganisaation välille, sillä tutkimusorganisaatio saa suoran osuuden yrityksen mahdollisesta arvonnoususta (Bray & Lee 2000, Feldman ym. 2002). Tämä malli voi parantaa kassavirran hallintaa ja helpottaa alkuvaiheen rahoituksen saamista, koska se vähentää varhaisten käteissuoritusten tarvetta ja viestii

¹ Vuonna 2023 voimaan tullut tutkimus- ja kehittämistoiminnan yhdistelmävähennys koostuu vuonna 2023 käyttöön otetusta yleisestä lisävähennyksestä ja vuonna 2024 voimaan tulleesta ylimääräisestä lisävähennyksestä (Verohallinto 2025 <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/168751/tutkimus-ja-kehittamistoiminnan-yhdistelmavahennys2/>).



pitkäjänteisestä kumppanuudesta. Toisaalta omistukseen perustuva yhteistyö voi tuoda mukanaan hallinnollisia haasteita, kuten epäselvästi määritelty roolit ja päätöksentekovastuut. Tuottojen epävarmuus on huomattavaa, koska akateemisiin innovaatioihin perustuvien startup-yritysten kaupallinen menestys on luonteeltaan vaikeasti ennustettavaa. Nämä riskit korostuvat erityisesti tilanteissa, joissa startup-lisensiointia on havaittu kasvavan nopeasti, mutta tuotot realisoituvat usein vasta pitkällä aikavälillä ja ovat alttiita varhaisen vaiheen epävarmuuksille. Suomessa Helsingin yliopisto ja Aalto-yliopisto soveltavat mallia. Kumpikin hallinnoi immateriaalioikeuksia ja omistuksia erillisen yhtiön kautta. Myös Teknologian tutkimuskeskus VTT kaupallistaa kehittämäänsä teknologiaa spinoff-yrityksille tätä mallia soveltaen. Malli on osa LaunchPad-yrityskiihdyttäjän toimintaa. VTT:ssä kehitetyn teknologian ja siihen kohdistuvien immateriaalioikeuksien pohjalta liiketoimintaansa kehittäviä startup-yrityksiä ovat muun muassa Solar Foods, Paptic, Onego Bio ja Volare.

Teknologiainfrastruktuurit

Tutkimusinfrastruktuurit tarjoavat tutkimusyhteisölle huippuluokan laitteistoja, datapalveluja ja osaamista, joiden avulla voidaan tuottaa uutta tieteellistä tietoa sekä edistää perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta. Ne ovat olennainen osa tutkimus- ja innovaatioekosysteemiä ja tukevat tutkimusta pitkäjänteisesti esimerkiksi mahdollistamalla tiedonkeruun, analyysin ja monitieteisen yhteistyön. EU-tasolla tutkimusinfrastruktuurit ovat olleet pitkään keskeisessä roolissa tutkimus- ja innovaatiopolitiikassa, ja ne edistävät tieteellisten tulosten syntyä, osaamisen karttumista sekä tutkimuslähtöistä innovaatiota eri aloilla. Sijoittuminen varhaisempaan tutkimusvaiheeseen erottaa ne teknologiainfrastruktuureista, vaikka molemmat toimivat toisiaan täydentävinä osina eurooppalaisessa innovaatiojärjestelmässä.

Teknologiainfrastruktuurit tukevat puolestaan teknologian kehitystä ja kaupallistamista tarjoamalla yrityksille ja tutkimusorganisaatioille testialustoja, pilottilinjoja, demonstraatioympäristöjä ja muita kehitykselle kriittisiä resursseja. Ne auttavat yrityksiä vähentämään uuden teknologian kehitykseen liittyviä teknisiä ja taloudellisia riskejä, nopeuttavat kaupallistamista ja lyhentävät markkinoille pääsyä tarjoamalla mahdollisuuden prototyyppien kehitykseen, validointiin ja skaalaukseen ennen suuria investointipäätöksiä. EARTON mukaan teknologiainfrastruktuurit ovat avainasemassa eurooppalaisen kilpailukyvyn vahvistamisessa, koska ne mahdollistavat uusien ratkaisujen kehittämisen ja testaamisen realistisissa olosuhteissa sekä tukevat teollisuuden edellytyksiä siirtää innovaatiot markkinoille. Keskeinen ero tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien välillä on niiden sijoittuminen innovaatioketjuun: tutkimusinfrastruktuurit keskittyvät tieteen edistämiseen ja tutkimusvalmiuksien tarjoamiseen, kun taas teknologiainfrastruktuurit painottuvat teknologioiden kypsytykseen, pilotointiin, validointiin ja kaupalliseen hyödyntämiseen.

Teknologiainfrastruktuureissa trendi on ollut viime aikoina kasvu isompaan mittakaavaan, mikä mahdollistaa niitä hyödyntäville yrityksille mahdollisuuden skaalata tuotantoa pidemmälle ilman omia investointeja kalliisiin tiloihin ja laitteisiin. Näin on erityisesti puolijohteiden, mikro- ja nanoelektroniikan ja materiaalitekniikan aloilla, joissa tarvitaan mm. puhdistiloja. Esimerkki Espoon Otaniemessä sijaitsevan Micronovan puhdistilan käyttäjästä on Kyocera Technologies. Japaninen Kyocera osti VTT:ltä lähteneen spinoff-yrityksen, joka kehitti mems-anturiin pohjautuvaa teknologiaa. Micronovan puhdistilan käyttäjänä yrityksen ei ole tarve sijoittaa oman kalliin puhdistilan rakentamiseen ja ylläpitämiseen, vaan se voi ostaa tilasta käyttöaikaa tarpeensa mukaisesti. Oman puhdistilan investointikustannus olisi kymmeniä miljoonia euroja, minkä kerääminen voi alkavalle yritykselle olla lähes mahdoton haaste.

Pilottilinjat ovat osa laajempaa teknologiainfrastruktuurien kokonaisuutta. Ne koostuvat yhtäältä teknisestä infrastruktuurista ja toisaalta osaamisesta ja tietotaidosta (mm. sertifiointin tuki).



Oulun terveysteknologian pilottilinja

Tyypillisesti terveysteknologian läpimurtojen matka laboratoriosta potilaskäyttöön on hidas ja edellyttää huomattavia panostuksia. VTT:n hallinnoima pilottilinja Oulussa pienentää ongelmaa merkittävästi tarjoamalla ympäristön, jossa tuotekehitysvaiheen prototyyppijä voidaan valmistaa lääkinällisille laitteille asetettujen tiukkojen vaatimusten mukaisesti. Pilottilinja mahdollistaa terveysteknologian prototyyppien sekä pienten ja keskisuurten sarjojen tuotannon nopeuttaen niiden matkaa tutkimuksesta potilaskäyttöön. Pilottilinja mukailee ISO13485-standardin vaatimuksia ja mahdollistaa laadukkaan tuotekehityksen, prototyyppivalmistuksen sekä nopeamman siirtymän massavalmistukseen ja viranomaishyväksyntään Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Euroopassa ainutlaatuinen pilottilinja on suunniteltu erityisesti valoa hyödyntävien eli fotonikkapohjaisten lääkinällisten laitteiden kehitykseen ja testaukseen. Se on suunnattu erityisesti puettavien sensorien ja erittäin herkän diagnostiikan kehittämisen tarpeisiin.

Ottaen huomioon, että etenkin liiketoimintaansa vasta kehittäville aloittavilla teknologiayrityksillä on rajallinen maksukyky teknologiainfrastruktuurin käytöstä ja palveluista, tutkimusorganisaatiot ovat kehittäneet tulosperusteisia hinnoittelumalleja. Näihin lukeutuvat kaupallistumiseen asti viivästetyt maksut testauksesta, tulospalkkiot lisensointiin linkitetty tulospalkkiot sekä rojaltipohjaiset palkkiomallit.

Kvanttinova: Seuraavan sukupolven mikroelektroniikan ja puolijohteiden innovaatiokeskittymä

Kvanttinova on nousemassa Suomen seuraavan sukupolven innovaatiokeskittymäksi erikoistuneille mikroelektroniikan ja puolijohdeteknologioiden aloille. Se hyödyntää teknologiakonvergenssin trendiä yhdistämällä osaamista RF-teknologioista, MEMS-ratkaisuista, integroidusta fotonikasta, materiaali- ja prosessikehityksestä, heterogeenisestä integraatiosta sekä suprajohdettavista kvanttitekniologioista. Sen tehtävänä on tarjota ympäristö, jossa tieteen perustuvat innovaatiot voivat skaalautua tehokkaasti varhaisesta tutkimuksesta teolliseen soveltamiseen.

Kvanttinovan ytimessä on huippuluokan yhteiskäyttöinen kokonaisuus, joka on suunniteltu sirujen suunnitteluun, kehittämiseen ja valmistukseen. Puhdastilainfrastruktuuri tukee pilottituotantoa sekä jo käytettävissä olevilla 200 millimetrin sekä tulevaisuudessa 300 millimetrin piikiekoilla mahdollistaen paremman luotettavuuden, toistettavuuden ja skaalautuvuuden. Tämä yhteiskäyttömalli madaltaa kynnystä kaikenkokoisille yrityksille – startupeille, pk-yrityksille ja vakiintuneille toimijoille – hyödyntää edistyneen valmistuksen valmiuksia.

Kokonaisuutta orkestroi Kvanttinova Ltd. Kyseessä on yhteistyöhanke, jossa ovat mukana Teknologian tutkimuskeskus VTT, Aalto-yliopisto, Espoon kaupunki, Enter Espoo sekä suomalaisen puolijohdeteollisuuden kumppanit. Nämä toimijat muodostavat yhdessä vahvan, toisiinsa kytkeytyneen alueellisen TKI-ympäristön. Kvanttinova täydentää Suomen muita mikroelektroniikan keskittymiä, erityisesti Tampereella, Oulussa, Turussa ja Joensuussa, ja asemoi pääkaupunkiseudun keskeiseksi solmukohtaksi kansallisessa puolijohde-ekosysteemissä.

Rahoitusmalli

Kvanttinovan erikoistuneita pilottilinjoja vahvistavat monikanavainen rahoitus ja laajat kumppanuudet. Yksityisten investointien lisäksi keskus hyötyy Euroopan unionin Chips Joint Undertaking (JU) -ohjelman rahoituksesta sekä Työ- ja elinkeinoministeriön, Business Finlandin ja Suomen Akatemian tuesta. VTT:llä on johtava rooli useissa Chips JU -pilottilinjoissa, kuten



FAMESissa (FD-SOI), APECSissa (heterogeeninen integraatio), NanoICissä (sub-2 nm SoC -teknologiat), PIXEuropessa (integroitu fotonikka) ja SUPREMEssa (suprajohtava kvanttipilotti).

Monitasoinen hallinto- ja toimintamalli

Kvanttinova toimii kolmella toisiinsa kytkeytyvällä tasolla:

1. Kvanttinova Ltd. (makrotaso): Palveluyhtiö, joka vastaa ekosysteemin kokonaiskoordinaatiosta ja strategisesta suunnasta.

2. Kvanttinova-hubi (mesotaso): VTT:n ja kuuden keskeisen teollisen kumppanin tekemien infrastruktuuri-investointien muodostama kokonaisuus.

3. VTT:n operoimat yhteiskäyttöiset prosessointikyvykkyudet ja puhdastilat (mikrotaso): Palvelupaketti, joka sisältää laitteiston ylläpidon, prosessointituen ja laajat TKI-palvelut sekä tutkimustoiminnan. Yksi sopimus mahdollistaa joustavan pääsyn ulkoisille toimijoille. Tämä kerroksellinen malli varmistaa sujuvan hallinnon ja mahdollistaa monimutkaisten rahoituslähteiden, kumppanien odotusten ja pitkäjänteisen infrastruktuurikehityksen yhteensovittamisen.

Lähteet ja Kvanttinovaa koskevat lisätiedot: Konstari & Pursula (2025a, 2025b, 2025c), Rodriguez (2025), Teknologiaateollisuus (2025) ja Tuovinen (2025).

Tunnistettuja yhteispohjoismaisia haasteita teknologiainfrastruktuurien käyttöön ja ylläpitoon liittyen ovat muun muassa (Jakobsen 2020):

- **Suurten investointien tarve:** Uusien infrastruktuurien perustaminen ja olemassa olevien ylläpito vaatii jatkuvia investointeja. Pohjoismaiden suhteellisen pienet kotimarkkinat tekevät takaisinmaksusta vaikeaa.
- **Kapeat markkinat ja asiakaspohja:** Kun teknologia erikoistuu, potentiaalisten asiakkaiden määrä pienenee. Suuret yritykset voivat hakea palveluja ulkomailta, mutta pk-yrityksille tämä on usein este.
- **Hallinnollinen kuormitus ja transaktiokustannukset:** Yhteisten investointien, omistajuuden ja käyttöoikeuksien hallinta on monimutkaista. Lisäksi juridiset mallit (esim. yhteisyritykset) koetaan jäykiksi ja kalliiksi.
- **Luottamukseen ja epävirallisiin verkostoihin nojaaminen:** Nykyinen yhteistyö perustuu usein henkilökohtaisiin verkostoihin, mikä rajoittaa järjestelmällistä ja pitkäjänteistä yhteistyötä.
- **Näkyvyyden ja saavutettavuuden puute:** Monilla infrastruktuureilla on rajallinen tunnettuus ja kansainvälinen houkuttelevuus. Yritykset eivät aina löydä oikeaa infrastruktuuria tarpeeseensa.
- **Rahoituksen väheneminen:** Julkisen tuen väheneminen voi pakottaa teknologiainfrastruktuurien tarjoajat vähentämään investointeja infrastruktuuriin ja nostamaan palveluhintoja, mikä voi vähentää pienten yritysten kiinnostusta hyödyntää palveluita.



Pääomarahoitusta ja yhdistelmärahointu

Valtion pääomarahointu voi täydentää yksityistä pääomarahointusta tarjoamalla varhaisen vaiheen siemenrahointusta ja tekemällä sijoituksia yksityisiin pääomarahastoihin. Tavoitteena on pienentää sijoittajien epävarmuutta teknologialähtöisten startup-yritysten rahoittamiseen, joille teknologiakehitykseen investointi näyttää erityisen riskipitoisena (Lerner 2022). Valtion pääomarahointu voi täydentää yksityistä rahoitusmarkkinaa erityisesti korkeaa riskiä sisältävien teknologiayritysten osalta, joilla on vaikeuksia kerätä rahoitusta yksinomaan yksityisiltä sijoittajilta.

Laajan OECD-maat kattavan analyysin perusteella valtion pääomarahointu kohdistuu yksityisiä sijoituksia yleisemmin korkean teknologian alojen yrityksiin, joilla on pidemmät teknologian kehityskaaret (Berger ym. 2024). Niiden riskiprofiilia voidaan pitää näin ollen korkeampana. Verrattaessa yritysten tuloksia havaittiin, että julkista rahoitusta saaneet yritykset kehittivät yhtä paljon innovaatioita patentoinnin määrällä ja laadulla mitaten kuin pelkästään yksityistä pääomarahointusta saaneet yritykset. Ne saivat keskimäärin kuitenkin vähemmän jatkorahoitusta ja menestyivät hieman heikommin kuin ainoastaan yksityisesti rahoitetut yritykset. Mutta erityisesti silloin kun julkinen rahoittaja toimi yhteistyössä yksityisten sijoittajien kanssa, erot tasoittuivat ja yritykset menestyivät yhtä hyvin. Valtion pääomarahointu voidaan nähdä täydentävän yksityistä pääomarahointusta kohdentamalla korkean teknologian ja tutkimuslähtöisten yritysten liiketoiminnan kaupallistamiseen sekä yhteiskunnallisesti tärkeisiin aloihin kuten vihreän siirtymän ja digitalisaation innovaatioihin.

Yhdistelmärahointu (*blended finance*) tarkoittaa mallia, jossa julkiset yksityiset varat yhdistetään siten, että julkinen rahoitus toimii riskin pienentäjänä ja houkuttelee yksityistä pääomaa mukaan. Tämä on erityisen hyödyllistä kasvuyrityksille, joilla on korkea riski ja rajalliset vakuudet, mutta suuri pitkän aikavälin potentiaali. Julkiset rahoittajat voivat tarjota avustuksia, lainoja ja oman pääoman muotoista rahoitusta, jotka madaltavat yksityisten sijoittajien riskiä. Mallilla tavoitellaan vivutusvaikutusta, jossa julkinen pääoma voi houkutella moninkertaisesti yksityisiä investointeja.

Business Finland on luonut Deep Tech Accelerator (DTA) -rahoitusmallin, joka on esimerkki yhdistelmärahointuksesta. Mallissa yhdistetään avustuksia ja lainoja siten, että julkinen rahoitus vähentää riskiä ja houkuttelee yksityisiä sijoittajia mukaan. Tavoitteena on nopeuttaa tutkimuslähtöisten innovaatioiden kaupallistamista ja kansainvälistymistä. Rahoitus muodostuu kolmesta 12-18 kuukauden jaksosta. Kaksi ensimmäistä ovat avustusta ja kolmas on lainaa. Kaksi ensimmäistä rahoitusjaksoa koostuvat enintään 400 000 euron avustuksesta. Kolmas jakso voi sisältää enintään miljoonan euron suuruisen lainan. Business Finland kattaa 75 % kustannuksista, loput yritys rahoittaa omalla tai yksityisellä pääomalla. Rahoitusmalli yhdistää julkisen riskinjakomekanismin ja pyrkii kannustamaan yrityksiä hankkimaan yksityistä lisärahoitusta. Esimerkiksi kvanttilaskentaa hyödyntäviä simulointipalveluita kehittävä Quanscient Oy on yksi deep tech -rahoituksen saajista.

Euroopan innovaationeuvosto (EIC) tarjoaa yhdistelmärahointusta, joka koostuu avustuksen ja pääomainvestoinnin kombinaatiosta. Se tukee teknologiayrityksiä, jotka kehittävät markkinoita mullistavia, erityisesti syväteknologiaan pohjautuvia innovaatioita. Rahoituksen tavoitteena on vauhdittaa radikaalien teknologioiden syntyä, tukea tutkimustulosten kaupallistamista ja kiihdyttää pk-yritysten kansainvälistä kasvua. EIC:n kolme pääinstrumenttia – Pathfinder, Transition ja Accelerator – kattavat koko innovaatioketjun varhaisesta tutkimuksesta markkinoille viennin valmisteluun. Rahoitus kohdentuu erityisesti pk-yrityksille ja startupeille. Keskeisiä ehtoja ovat korkea innovatiivisuus, globaali kasvupotentiaali sekä valmius testata, pilotoida ja skaalata ratkaisuja kohti kaupallistamista. Ohjelma on erittäin kilpailtu: arviolta vain noin 1-6 prosenttia hakijayrityksistä on saanut rahoituksen.

Suomalaiset startupit sekä pk-yritykset ovat aktiivisesti hyödyntäneet EIC-rahoitusta tulevaisuuden teknologioiden kehittämiseen ja kaupallistamiseen. Esimerkkinä rahoituksen saajasta on



kvanttiteknologiaa kehittävä SemiQon, joka sai vuonna 2025 yhdistelmärahoituksen EIC:ltä. Se koostuu 2,5 miljoonan euron t&k-avustuksesta ja 15 miljoonan euron oman pääoman ehtoista rahoituksesta. Toinen vastaavaa Accelerator-rahoitusta saanut suomalaisyritys on siruvalmistuksen teknologiaa kehittävä Comptek Solutions. Yrityksen mukaan arvostettu EU-rahoitus vakuutti myös yksityisiä sijoittajia ja toi heille uskottavuutta. Yksi asiakasyritys on tullut strategiseksi investoijaksi, minkä myötä muiden investointien saaminen on helpottunut. Comptekin tapaus on esimerkki siitä, miten onnistuminen vahvasti kilpaillussa julkisessa rahoitushaussa on synnyttänyt niin sanotun sertifiointivaikutuksen, jossa julkinen rahoitus voi lisätä yrityksen uskottavuutta ja rahoituskelpoisuutta yksityisten sijoittajien silmissä.

Yrityskiihdyttämöt

Teknologiayrityksille suunnatut kiihdyttämöt ovat kehittyneet alun perin yksityisten pääomasijoittajien kehittämistä malleista, joissa tavoitteena oli löytää lupaavia alkuvaiheen yrityksiä, tarjota niille intensiivinen valmennusjakso ja vastineeksi saada osuus yrityksen omistuksesta. Yksityiset kiihdyttämöt – kuten Y Combinator ja Techstars – perustuivat nopeaan, muutaman kuukauden mittaiseen ohjelmaan, joka yhdisti sijoituksen, mentoroinnin ja näkyvyyden sijoittajaverkostolle. Malli rakensi startup-ekosysteemin, jossa keskeistä oli nopea kokeilu, kehitys ja skaalautumispotentiaalin arviointi. Kiihdyttämöistä kasvoi samalla osa pääomasijoitusmarkkinaa: ne toimivat sekä sijoittajina että yrityskiihdyttäjinä ja loivat keinon tunnistaa lupaavia rahoituskohteita, joka ruokki kasvuyritysten rahoituskierroksia.

EU:n tasolla kiihdyttämömallit ovat monipuolistuneet ja eriytyneet eri sektoreille, erityisesti deep tech -aloille. Eurooppalaiset kiihdyttämöt kuten Antler ja HighTechXL ovat laajentuneet useisiin maihin ja toimivat osana laajoja startup-ekosysteemejä, joissa ohjelmiin sisältyy mentorointia, pääomasijoituksia ja tiivistä verkostoitumista alan yritysten ja sijoittajien kanssa. Näissä kiihdyttämöissä korostuu usein teknologiakehitys ja pilotointi sekä pääsy eurooppalaisille markkinoille ja sijoittajille.

Suomessa toimii kymmeniä kiihdyttämöitä, joista osa on yleisiä kuten Kiuas, Business Helsinki, Maria 01-verkosto. Osa on erikoistuneita tiettyyn toimialaan, kuten Health Incubator Helsinki, Vaasan EnergySpin, Riihimäellä toimiva puolustusalan DEFINE, koulutusalan xEdu ja avaruusteknologiaan keskittyvä ESA BIC. Osa näistä tarjoaa lähinnä tiloja, mentorointia ja verkostoitumispalveluja, osa taas yhdistää varhaisen vaiheen rahoituksen kiihdyttämön toimintamalliin.

NATO on soveltanut kiihdyttämömallia DIANA-ohjelmassaan, joka keskittyy kaksikäyttöteknologioihin (dual-use) ja syväteknologisiin ratkaisuihin. DIANA Accelerator yhdistää puolustusalan tarpeet startup-kyvykkyyksiin ja tarjoaa yrityksille kaksivaiheisen ohjelman: ensimmäisessä vaiheessa laajat valmennus- ja testausmahdollisuudet, toisessa vaiheessa valikoiduille yrityksille kohdennettua rahoitusta ja kaupallistamisen tukea. Kiihdyttämö toimii 17 paikan verkostona eri Nato-maissa ja hyödyntää liittouman testikeskuksia sekä asiantuntijaverkostoja. Suomessa NATO-yhteistyö näkyy erityisesti DIANA-kiihdyttämön perustamisena Espoon Otaniemeen, jossa VTT, Aalto-yliopisto ja Helsingin yliopisto tarjoavat yrityksille valmennusta, testikeskuksia ja teknologista tukea. Ohjelma keskittyy tulevaisuuden viestintäteknologioihin, kvanttiteknologiaan ja kyberturvallisuuteen, ja se tarjoaa suomalaisille teknologiayrityksille väylän Nato-yhteistyöhön ja puolustussektorin markkinoille.



Kysyntälähtöiset vaikutuskeinot

Kysyntää aktivoivilla ja vahvistavilla vaikutuskeinoilla voidaan lisätä yritysten halukkuutta ja investointeja teknologia- ja tuotekehitykseen luomalla ennakoitavaa ja kasvavaa kysyntää uusille ratkaisuille, pienentämällä markkina- ja teknologiariskejä sekä vahvistamalla kannustimia pitkäjänteiseen TKI-toimintaan. Kun yritykset näkevät selkeän polun tuotteidensa kaupallistamiseen, ne uskaltavat investoida enemmän radikaaleihin kehityshankkeisiin. Samalla yhteistyö asiakkaiden, käyttäjien ja julkisen sektorin kanssa tuottaa arvokasta palautetta, joka ohjaa tuotekehitystä relevantteihin ongelmiin. Lisäksi kysyntälähtöiset instrumentit voivat vauhdittaa uuden teknologian diffuusiota ja ekosysteemien rakentumista, mikä edelleen vahvistaa yritysten kokemaa kustannus-hyöty-suhdetta TKI-panostuksille.

Kysynnän koordinointi

Teknologiakehityksen jarruna on erityisesti suurta tuotannollista mittakaavaa edellyttävien investointien korkeat riskit. Sijoittajat edellyttävät riittävää varmuutta tulevasta asiakaskysynnästä ennen sitoutumistaan mittaviin investointeihin. Kun teknologian toimivuuteen ja kustannustasoon liittyy epävarmuuksia, käyttäjät odottavat muiden kokemuksia ennen sitoutumista käyttöönottoon. Jos asiakaskunta on hajanainen, kysyntä ja tarjonta eivät kohtaa. Teknologisen tuotteen tuotanto ei skaalaudu mittakaavaan, jossa sen yksikkökustannukset olisivat kilpailukykyisiä. Yhteiskunnallisesti arvokkaiden innovaatioiden kuten ympäristöön, terveyteen ja turvallisuuteen liittyvien ratkaisujen käyttöönotto ja leviäminen ovat näissä tilanteissa hitaita tai viivat estyä kokonaan. Esimerkiksi eurooppalaisen siruvalmistuksen ja kvanttiteollisuuden tuotteiden kysyntää on ehdotettu koordinoitavan voimakkaammin.

Teknologian kehittäjät peräänkuuluttavat erityisesti suurten teollisten käyttäjien kuten energia-, kemian-, ilmailu- ja turvallisuussektorien kysynnän koordinointia (mm. Vasara 2026). Kysynnän koordinointi – esimerkiksi ostajien yhteiset tekniset vaatimukset, ennakoivat hankintasuunnitelmat tai yhteiset markkinasignaalit – voi merkittävästi nopeuttaa teollisen valmistuksen skaalaamista, koska se vähentää epävarmuutta tulevasta kysynnästä, mahdollistaa tuotantokapasiteetin suunnittelun pitkällä aikavälillä ja parantaa yritysten investointiedellytyksiä. Koordinointi auttaa myös yhdenmukaistamaan markkinoita ja ehkäisemään tarpeetonta sirpaloitumista, mikä pienentää yksikkökustannuksia ja tehostaa toimitusketjujen rakentamista. Samalla siihen liittyy kuitenkin riskejä, kuten kilpailuoikeudellisia kysymyksiä, jotka voivat nousta esiin, jos markkinatoimijat jakavat liiallisesti sensitiivistä tietoa tai jos koordinaatiomekanismit kaventavat kilpailua. Siksi onnistunut kysynnän koordinointi edellyttää selkeitä pelisääntöjä, avoimuutta ja huolellista juridista rajausta, jotta se tukee skaalautumista ilman, että markkinoiden terve kilpailu vaarantuu.

Julkiset hankinnat

Innovaatiomyönteiset julkiset hankinnat on kysyntälähtöinen keino vaikuttaa yritysten kannustimiin teknologian kehittämiseen ja kaupallistamiseen. Niillä voidaan luoda varhaisen vaiheen kysyntää uusille teknologioille ja niihin pohjautuville tuotteille ja palveluille. Ne voivat nopeuttaa innovaatioiden leviämistä, kannustaa yrityksiä t&k-panostuksiin ja vaikuttaa markkinarakenteiden syntyymiseen innovaatioille (Kundu ym. 2025).

Esteinä on julkisen sektorin ostajien heikko tuntemus tarjolla olevista innovaatiomahdollisuuksista, epävarmuus uuden teknologian toimivuudesta ja hankintaosaamisen puutteet liittyen innovaatiomyönteisiin hankintoihin. Julkisen sektorin kannustamiseksi uuden teknologian hyödyntämiseen hankintojen avulla Business Finland tarjoaa rahoitustukea innovatiivisten



hankintojen toteuttamiseen. Tukea voi saada hankinnan valmisteluun, markkinavuoropuheluihin ja yritysten toteuttaman kehitystyön kustannuksiin. Tuen kohteeksi valittavissa hankinnoissa tulee olla riittävä uutuusarvo ja näkymä kehitettävän ratkaisun skaalautumiseen ostajaorganisaatiota laajempaan markkinaan – julkiselle tai yksityiselle sektorille. Tällaisissa hankinnoissa on potentiaalia tarjota yrityksille ja niiden mahdollisille rahoittajille kannustimet investoida ratkaisun kehittämiseen, kun liiketoiminnallinen potentiaali hankinnan jälkeen on näkyvissä.

Tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurin innovatiiviset hankinnat

Uuden teknologia-alueen tutkimus- ja teknologiainfrastruktuureihin voi sisältyä markkinoilla jo olemassa olevien tuotteiden lisäksi myös uusien kehitystyötä sisältävien laitteiden ja järjestelmien hankintoja. Erityisesti teknologiakehityksen eturintamassa toimittaessa ei valmiita ratkaisuja ole kaikilta osin saatavilla, vaan niitä kehitetään tutkijoiden ja teknologiayritysten yhteistyönä. Kun tällaiset projektit toteutetaan innovatiivisena hankintana, voidaan luoda kannusteita yrityksille investoida teknologia- ja tuotekehitykseen. Seurantatutkimuksissa on havaittu, että hankintoihin liittyvä yhteistyö ja oppiminen voi synnyttää tuote- ja prosessi-innovaatioita ja luoda kannattavaa tulorahoitusta teknologiayrityksille (Hegerty ym. 2022).

Kvanttitietokoneen hankinta

VTT:n vuonna 2020 toteuttama kvanttitietokoneen hankinta oli 20,7 miljoonan euron innovaatiokumppanuus, jonka tavoitteena oli kehittää ja toimittaa Suomen ensimmäinen kvanttitietokone sekä samalla vahvistaa kansallista ja eurooppalaista kilpailukykyä nopeasti kehittyvällä kvanttiteknologian alalla. Hankinta käynnistettiin työ- ja elinkeinoministeriön rahoituksella ja toteutettiin kolmivaiheisena prosessina, jossa edettiin 5 kubitin laitteesta 20 kubittiin ja lopulta 50 kubitin kvanttitietokoneeseen. Kehitystyö tehtiin VTT:n ja toimittajien tiiviissä yhteistyössä. Keskeisenä tuloksena Suomi sai kotimaisin voimin kehitetyn kvanttitietokoneen, joka edesauttoi uuden teknologiaekosysteemin muodostumista yritysten, tutkimuslaitosten ja yliopistojen yhteistyölle. Hankinnassa kehitettyjen osaamisten myötä on syntynyt myös uusia spinoff-yrityksiä (QMill, Arctic Instruments).

Esikaupalliset hankinnat

Esikaupallisissa hankinnoissa on kyse julkisen sektorin tarpeisiin vastaavien haasteiden ratkaisemisesta tutkimus- ja teknologiakehityksen keinoin yritysten toimesta. Toisin kuin tavanomaisissa julkisissa hankinnoissa esikaupalliset hankinnat eivät sisällä valmiin ratkaisun toimitusta tuotantokäyttöön. Ne kohdistuvat uuden ratkaisun konseptointiin, prototyyppien kehittämiseen ja testaukseen. Käyttöönotto operatiiviseen palvelutuotantoon tapahtuu erillisen hankinnan tai rajattujen käyttöoikeuksien muodossa. Julkinen ostaja hankkii tutkimus- ja kehityspalveluja useilta toimittajilta rinnakkain tavoitteena kehittää uusia, markkinoille vielä kypsyttämättömiä ratkaisuja omiin tarpeisiinsa. Mallin tavoitteena on tarjota mahdollisuus kehittää ratkaisuja vaiheittaisessa prosessissa (konseptisuunnittelu, prototyyppit, tuotekehitys ja testaus) yhteistyössä julkisen sektorin potentiaalisten käyttäjien kanssa. Esikaupalliset hankinnat ovat tutkimus- ja kehityspalvelun hankintoja, jotka jäävät hankintalain soveltamisalan ulkopuolelle. Laittoman valtiontuen välttämiseksi ne on kuitenkin syytä kilpailuttaa avoimesti.



Prosessi etenee kilpailullisena monivaiheisena hankintana, jossa useat toimittajat kehittävät vaihtoehtoisia ratkaisumalleja ja heitä karsitaan vaiheittain parhaan arvon tuottavien ratkaisujen perusteella. Toimittajat säilyttävät IPR-oikeudet, kun taas hankinnan toteuttava organisaatio saa tarvittavat käyttö- ja lisensiointioikeudet. Esikaupallisilla hankinnoilla voidaan edistää uusien teknologioiden soveltamista tavalla, jota ohjaa todellinen asiakastarve. Verrattuna t&k-avustuksina jaettavaan yritystukeen kyseessä on kysyntälähtöinen toimintamalli, jonka mielekäs rooli on kehittää ja kokeilla seuraavan sukupolven teknologisia ratkaisuja pohjautuen todelliseen asiakastarpeeseen.

Useissa maissa on käynnistetty esikaupallisen hankinnan ohjelmia. Euroopassa tällaisia on muun muassa Alankomaissa, Saksassa ja Iso-Britanniassa. Osa näistä on yleisiä kaikille toimialoille avoimia ohjelmia, osa puolestaan tiettyihin teemoihin tai missioihin kohdennettuja.

Iso-Britannian Innovaatiosopimukset

Innovaatiosopimukset (Contracts for Innovation) on ohjelma, jonka tavoitteena on kytkeä yhteen julkisen sektorin haasteet ja yritysten innovaatiokyky. Julkisorganisaatioille se tarjoaa keinon ratkaista vaikeita haasteita innovatiivisten kumppanien kanssa. Yrityksille ohjelma avaa mahdollisuuden saada sopimus valtion kanssa teknologian demonstroimiseksi ja kehittämiseksi. Ohjelmaa hallinnoi innovaatorahoitusorganisaatio Innovate UK.

Yksi ohjelman osa-alueista on kvanttimitaukseen liittyvä missio. Sen tavoitteena on kiihdyttää kvanttisensoreiden ja kvanttipaikannuksen kehitystä ja käyttöönottoa. Sovelluskohteina on terveydenhuolto, paikannusjärjestelmät, tarkka ajanmittaus ja liikenteen, televiestinnän, energian ja puolustuksen kriittiseen infrastruktuuriin liittyvät sensorit. Hankintatarpeiden määrittelyssä keskeisessä roolissa ovat näitä toimialoja edustavat julkisen sektorin organisaatiot, joiden tunnistamiin kehitystarpeisiin hankinnat vastaavat. Ohjelma toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen vaiheen kohteena on tuotteen teknologisen valmiusasteen nostaminen. Sen sopimusten arvo voi olla enintään 1,5 miljoonaa puntaa. Toisessa vaiheessa hankintasopimuksen kohteena on uuden teknisen ratkaisun kehitys ja käyttöönotto.

Saksan kyberturvallisuuden esikaupallinen hankinta

Toinen esimerkki on Saksan liittovaltion kyberturvallisuuden innovaatioyksikön Cyberagenturin toteuttama esikaupallinen hankinta (Side-channel attacks with quantum sensing PCP). Hankinnan kohteena oli kehittää ja testata kvanttimitaukseen pohjautuvia lähestymistapoja kyberhyökkäysten tunnistamiseen. Lähtökohtana on, että kvanttisensorit voivat paljastaa mikropiireihin kohdistuvia uusia hyökkäyksiä hyödyntämällä niiden korkeaa tarkkuutta ja herkkyyttä. Hankkeessa arvioidaan eri kvanttisensoritekniikoiden soveltuvuutta ja verrataan niitä nykyisiin analyysimenetelmiin. Prosessi etenee vaiheittain arvioinnista proof-of-concept-demon.



Ohjelmallinen tuki murrosteknologioiden kehittämiseksi

Teknologiakehityksen eturintamassa etenevien murroksellisten teknologioiden soveltamiseksi on useissa maissa perustettu amerikkalaisen DARPA:n mallin mukaisia ohjelmallisia kokonaisuuksia ja innovaatio-organisaatioita. DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) on Yhdysvaltain puolustusministeriön alainen organisaatio, jonka tavoitteena on kehittää teknologisia läpimurtoja ja ylläpitää Yhdysvaltain sotilaallista etumatkaa riskipitoisilla ja kunnianhimoisilla t&k-hankkeilla. Se toimii kevyellä ja hierarkialtaan matalalla organisaatiolla, jossa noin sata määräaikaista ohjelmapäällikköä johtaa satoja ulkoistettuja tutkimusohjelmia autonomisesti ja nopeasti. DARPA:lla ei ole omia laboratorioita. Prosessi perustuu ohjelmapäällikköiden valitsemiin korkean riskin ja korkean vaikuttavuuden tutkimusaiheisiin, ketteriin hankintamenettelyihin, lyhytkestoisiin kokeiluihin ja tarvittaessa nopeaan projektien lopettamiseen, mikä mahdollistaa radikaalien teknologioiden kehittämisen. DARPA:n rahoitus on synnyttänyt sekä sotilaallisia innovaatioita (esim. täsmäaseet, häiveteknologiat) että laajasti käytettyjä siviiliteknologioita (esim. internet ja modernit tietoverkot). DARPA:n toteutusmallia pidetään maailmanlaajuisesti esikuvana valtion teknologiatarpeista lähtevälle innovaatiotoiminnan organisoinnille (Fuchs 2011, Bonvillian ym. 2019, Carleton & Cocane 2023).

Darpa ei ole tavanomainen julkinen rahoittaja, vaan se toimii aktiivisena muutoksen tekijänä ohjataksaan ohjelmakokonaisuuden kohti määriteltäviä tavoitteita (Bonvillian 2018). Menestystekijöiksi on arvioitu ohjelmien tavoitteellisuus, ohjelmapäällikön autonomia valita rahoituskohteet ja -muodot sekä vahva linkki uuden teknologian ensikäyttöihin erityisesti hankintojen kautta (GAO 2015, Yerger 2024). DARPA-mallin vahvuutena pidetään sitä, ettei se vain kehittä uusia teknologioita toivoen, että joku myöhemmin kaupallistaa ne. Se toimii aktiivisesti linkittäen teknologiakehittäjät puolustushallinnon käyttäjiin, teollisuuteen ja sijoittajiin (Bonvillian ym. 2019). Yhdysvalloissa mallia on sovellettu puolustussektorin lisäksi myös muille toimialoille. ARPA-E edistää uusien energiateknologioiden kehitystä ja IARPA tiedusteluun liittyviä kyvykkyyksiä (Bonvillian 2018).

DARPA-mallia on pyritty soveltamaan myös Euroopassa. SPRIN-D on Saksan liittovaltion ohjelma läpimurtoteknologioille ja murroksellisille innovaatioille. DARPA:n tavoin myös SPRIN-D on organisoitu erilliseksi organisaatioksi, jonka toiminnalle erillislaki antaa suuret vapausasteet. Vuonna 2019 käynnistetyn ohjelman budjetti on miljardi euroa kymmeneksi vuodeksi. Se yhdistelee joustavasti erilaisia rahoitusmuotoja kuten avustuksia, pääomasijoituksia ja esikaupallisia hankintoja. Innovaatiohaasteista muotoillut haut toteutetaan tyypillisesti kahta esikaupallisen hankinnan formaattia hyödyntäen: SPRIND Challenge ja SPRIND Funke.

Saksan digitaalisen lompakon innovaatiohaaste

EUDI Wallet Prototype oli SPRIND:n innovaatiohaaste, joka toteutettiin 15 kuukautta kestäneenä esikaupallisen hankinnan prosessina. Tavoitteena oli kehittää, testata ja vertailla erilaisia teknisiä ratkaisuja tulevaa Saksan kansallista ja EU-tasosta digitaalisen identiteetin lompakkoa varten. Sen päätavoitteena oli tuottaa käyttäjäystävällisiä, turvallisia ja yksityisyyttä suojaavia lompakoprototyyppiejä, joilla voitaisiin tukea EUDI-ekosysteemin rakentamista ja vauhdittaa digitaalisen identiteetin käyttöönottoa. Projekti toteutettiin moniportaiseen kilpailumalliin perustuen: ensimmäisessä vaiheessa rahoitettiin kuutta tiimiä, toisessa neljää ja kolmannessa kahta, joille tarjottiin vaiheesta riippuen 300 000–450 000 euroa kehitystyöhön. Tiimit rakensivat ja testasivat erilaisia arkkitehtuureja ja ominaisuuksia ja parhaat ratkaisut etenivät seuraaville kierroksille. Prosessi päättyi lokakuussa 2025, jolloin neljän finalistitiimin prototyypit julkaistiin ja kilpailun opit koottiin osaksi Saksan EUDI Wallet -hankkeen jatkokehitystä. Kaikki ratkaisut julkaistiin avoimena lähdekoodina ja niiden tuottama tieto liitettiin osaksi kansallisen EUDI-ekosysteemin ja tulevan testialustan suunnittelua.



DARPA-mallin soveltamista on ehdotettu myös Suomeen. Esimerkkinä paljon tulevaisuuden mahdollisuuksia sisältävästä teknologisesta kehityskohteesta, johon mallia voitaisiin soveltaa, on nostettu esiin kasvigonomiikan ja kvanttilaskennan yhdistäminen (Kohl & Lehto 2026).

Sääntelyn testiympäristöt

Sääntelyn testiympäristöiksi kehitetyt sääntelyhiekkalaatikot (*regulatory sandbox*) ovat valvottuja testiympäristöjä, joissa yritykset ja viranomaiset voivat yhdessä kokeilla uusia teknologioita, palveluja tai liiketoimintamalleja todellisissa mutta hallituissa olosuhteissa ennen niiden laajempaa käyttöönottoa. Tavoitteena on tukea innovaatioita, vähentää sääntelyn tulkintaan liittyvää epävarmuutta ja mahdollistaa sääntöjenmukaisuuden testaaminen jo varhaisessa vaiheessa, mikä nopeuttaa turvallisten tuotteiden pääsyä markkinoille. Sääntelyhiekkalaatikon konsepti on syntynyt rahoitusalanalla. Sieltä se on levinnyt useille muille toimialoille ja teknologian käyttökohteille kuten terveydenhuoltoon ja tekoälyn soveltamiseen. Sandbokseissa voidaan tarvittaessa joustaa tietyistä lainsäädännön asettamista vaatimuksista. Yritykset voivat saada viranomaisilta myös ohjausta esimerkiksi tietosuojan tai muun lainsäädännön soveltamisesta, mikä alentaa oikeudellisia riskejä ja lisää sääntelyn ennakoitavuutta. Näin sandboxit tukevat sekä innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä että viranomaisten oppimista tulevien sääntelytarpeiden näkökulmasta.

Iso-Britannian rahoitusalan sääntelyn testiympäristö

Iso-Britannian Financial Conduct Authorityn (FCA) vuodesta 2015 lähtien operoima sääntelyhiekkalaatikko on yksi maailman tunnetuimmista ja toimivimmista fintech-hiekkalaatikoista. Sandbox mahdollistaa finanssiteknologian innovaatioiden testaamisen oikeassa markkinaympäristössä aidolla asiakaskunnalla, mutta tiukasti valvotussa ja rajatussa mittakaavassa. FCA tarjoaa osallistujille sääntelyyn liittyvää asiantuntijaohjausta, auttaa tunnistamaan tarvittavat kuluttajansuojatoimet ja tarjoaa mahdollisuuden nopeuttaa tuotteiden markkinoille pääsyä aiempaa alhaisemmin kustannuksin. Hiekkalaatikko on avoin erilaisille toimijoille ja soveltuu monenlaisten fintech-ratkaisujen testaukseen – mukaan lukien tekoälyn, avoimeen rahoitukseen ja kvanttilaskentaan liittyvät palvelut. FCA:n sandbox on osoittautunut vaikuttavaksi: tutkimusten mukaan sandboxiin päässeet yritykset ovat keränneet merkittävästi enemmän rahoitusta, lisänneet patentointia ja parantaneet operatiivisia valmiuksiaan verrattuna verrokkiyrityksiin (Cornelli ym. 2024).

Tanskan tekoälyn sääntelyhiekkalaatikko

Tanska on perustanut kansallisen tekoälyn sääntelyhiekkalaatikon, jonka tavoitteena on auttaa yrityksiä ja julkisia toimijoita kehittämään ja testaamaan tekoälyratkaisuja turvallisesti ja lainmukaisesti. Tanskan digitaalisen hallinnon virasto ja tietosuojaviranomainen tarjoavat osallistujille räätälöityä ohjausta erityisesti tietosuojalainsäädännön (GDPR) ja EU:n tekoälyasetuksen soveltamisesta. Mallin tarkoituksena on vähentää epävarmuutta lainsäädännön tulkinnasta, lyhentää innovaation matkalla syntyviä viiveitä ja edistää vastuullisen, korkealaatuisten tekoälyratkaisujen kehittämistä. Sandbox toimii kontrolloituna testiympäristönä, jonka avulla uudet ratkaisut voidaan mukauttaa vaatimustenmukaisiksi jo varhaisessa vaiheessa. Tanska pyrkii sen avulla toimimaan vastuullisen tekoälyn edelläkävijänä.



Standardoinnin ja standardien soveltamisen tuki

Standardoinnin ja standardien soveltamisen tuki on keskeistä Euroopan teknologisen suvereniteetin vahvistamisessa, koska yhteisesti sovitut ja laajasti käytetyt standardit varmistavat teknologioiden yhteentoimivuuden, turvallisuuden ja luotettavuuden sekä vähentävät riippuvuutta ulkopuolisista toimittajista ja ekosysteemeistä. Standardit luovat tasapuoliset markkinaehdot, mahdollistavat innovaatioiden skaalautumisen ja nopeuttavat uusien teknologioiden käyttöönottoa koko Euroopassa. Lisäksi aktiivinen rooli standardoinnissa antaa Euroopalle vaikutusvaltaa globaalien teknologisten pelisääntöjen muovaamisessa, mikä suojaa strategisia etuja ja varmistaa, että keskeiset infrastruktuurit ja kriittiset teknologiat kehittyvät eurooppalaisten arvojen ja tavoitteiden mukaisesti.

Yhteentoimivuutta edistävien standardien käytön vauhdittaminen nähdään erityisen tärkeänä pilvipalveluissa, tekoälyssä ja julkisen sektorin tietoratkaisuissa, koska nämä alueet muodostavat digitaalisen infrastruktuurin ytimen ja ovat kriittisiä palveluiden skaalautuvuudelle sekä datan sujuvalle liikkumiselle. Ilman yhteisiä rajapintoja, formaatteja ja toimintamalleja syntyy lukkiutumia yksittäisiin toimittajiin, mikä hidastaa kilpailua, rajoittaa innovointia ja lisää kustannuksia. Yhteentoimivuusstandardit mahdollistavat datan turvallisen vaihdon, järjestelmien keskinäisen ymmärryksen sekä monitoimittajaympäristöjen kehittymisen, mikä on välttämätöntä esimerkiksi tekoälyn luotettavalle hyödyntämiselle ja julkisten palveluiden tehokkaalle digitalisaatiolle. Kun pilvipalvelut ja tekoälyratkaisut noudattavat avoimia ja yhteisesti sovittuja standardeja, Euroopan markkinat pysyvät kilpailukykyisinä, palvelut joustavina ja kansalaisille tarjottavat digitaaliset ratkaisut laadukkaina ja läpinäkyvinä.

Yhteenveto

Teknologiakehityksen investointikannustimien katsaus osoittaa, että vaikka vaikutuskeinojen valikoima ei ole Suomessa eikä ulkomailla muuttunut kovin oleellisesti yksittäisten politiikkakeinojen tasolla, on havaittavissa selvä suuntaus kohti integroidumpia keinojen yhdistelmiä. Tämä näkyy erityisesti julkisen ja yksityisen sektorin yhteistyön lisääntymisenä, jossa valtion rooli nähdään vaikuttavimpana, kun se pyrkii aktivoimaan ja ”vivuttamaan” yksityisiä investointeja. Kokeilut ovat lisääntyneet, joissa eri rahoitusinstrumentteja, sijoittajavuorovaikutusta, yritysvalmennusta ja testauspalveluita on koottu yhteen kiihdyttämömallien mukaisiksi ohjelmiksi tai missioiksi.

Tutkimuskirjallisuus osoittaa, että politiikkakeinojen yhdistelmät (*policy mix*) voivat olla vaikuttavampia kuin yksittäiset instrumentit, sillä ne pystyvät samanaikaisesti korjaamaan useita innovaatiotoiminnan pullonkauloja ja hyödyntämään välineiden välisiä myönteisiä vuorovaikutuksia. Cunninghamin ym. (2013) katsaus korostaa, että esimerkiksi yritysten T&K-tukea täydentävät toimenpiteet – kuten osaamisen kehittäminen tai markkinoilletulon tukeminen – voivat selvästi parantaa yksittäisen instrumentin vaikuttavuutta, vaikka systemaattinen näyttö suunnitelluista politiikkayhdistelmistä on vielä rajallista. Meissnerin ja Kergroagin (2021) analyysi puolestaan painottaa, että politiikkayhdistelmien kartoitus ja mittaaminen paljastavat instrumenttien keskinäiset riippuvuudet, jotka ovat keskeisiä ymmärrettäessä, miksi yhdistelmät voivat tuottaa parempia tuloksia kuin irralliset välineet. Lisäksi Borrás ja Edquist (2019) argumentoivat, että innovaatiojärjestelmien moninaisiin ja systeemiin ongelmiin vastaaminen edellyttää holistisia instrumenttikokonaisuuksia, sillä yksittäiset politiikkatoimet eivät kykene kattamaan kaikkia innovaatiotoiminnan esteitä. Käytännössä kokonaisvaltaisten politiikkainstrumenttien yhdistelmien rakentaminen ja johtaminen edellyttävät myös uusia toimialarajat ylittäviä käytäntöjä ja toimintamalleja. Koko julkishallinnon integroivia (*whole-of-government*) lähestymistapoja ollaan kehittämässä ja kokeilemassa (mm. missiot, policy-portfoliot) (Boekholt ym. 2024), mutta kokemukset ovat vielä hajanaisia.



4. Pohjoismainen vertailu

Tässä luvussa tarkastellaan Ruotsin ja Tanskan politiikkatoimia suhteessa teknologiainfrastruktuurien kehittämiseen ja hyödyntämiseen yleisesti sekä tarkemmin liittyen kvanttiteknologioihin. Tarkastelun lähtökohtana on politiikkatoimenpiteiden kokonaisuuden (ns. policy mix) analyysi: huomio kohdistuu siihen, miten rahoitusinstrumentit, ohjaus- ja koordinaatiokäytännöt, infrastruktuurien operointimallit sekä yritysten osallistamisen keinot muodostavat kokonaisuuden, joka joko madaltaa tai nostaa kynnystä hyödyntää tutkimus- ja innovaatioinfrastruktuureja.

Vertailu etenee kahdessa vaiheessa. Ensin kuvataan yleisemmin teknologiainfrastruktuurien ohjausta ja käyttöä Ruotsissa ja Tanskassa, koska monet yritysten osallistamisen haasteet ja ratkaisut ovat yhteisiä teknologia-aloista riippumatta (esim. näkyvyys, saavutettavuus, hinnoittelu, valtiontukitulkinnat, operointikulujen kattaminen ja infrastruktuurien ajantasaisuus). Toiseksi tarkennetaan kvanttiteknologioihin, joissa infrastruktuurien ja ekosysteemien rakentaminen on erityisen pääomaintensiivistä ja jossa yritysten osallistaminen edellyttää usein sekä tutkimusyhteistyötä että selkeitä markkinaa ja skaalautumista tukevia välineitä. Maavertailu perustuu dokumenttianalyysiin, jossa on hyödynnetty julkisesti saatavilla olevia selvityksiä, raportteja, strategioita ja muita lähteitä, jotka avaavat aihepiiriin nykytilaa, kehityskulkuja, toimintamalleja, haasteita ja vahvuuksia eri maissa. Luvun tavoitteena on tunnistaa Ruotsin ja Tanskan politiikkatoimien keskeiset eroavuudet ja nostaa esiin instrumentteja, joilla yritysten osallistumista voidaan tukea erityisesti silloin, kun teknologiat ovat varhaisessa vaiheessa, infrastruktuurien kustannusrakenne on korkea ja markkinat ovat vielä muodostumassa.

Luvussa keskitytään Ruotsiin ja Tanskaan, mutta myös muista Pohjoismaista löytyy kiinnostavia esimerkkejä. Näistä mainittakoon Norjan katapulttiohjelma (Norsk katapult), joka käynnistettiin 2017 yhtenä Norjan teollisuuspoliittisen selonteon yhdeksästä toimenpiteestä. Ohjelman tavoitteena on tarjota teollisuudelle kansallinen kokonaisuus testaus-, simulointi- ja verifiointifasilitetteja sekä niihin liittyvää osaamista. Katapulttikeskukset tukevat yrityksiä niiden teollisissa kehitysprosesseissa Norjan teollisuuden kannalta priorisoiduilla aloilla. Laajempaa näkymää pohjoismaiselle tasolle tuo Danish Technological Institutin toteuttama maavertailu (DTI 2020), jonka perusteella on tunnistettavissa keinoja parantaa teknologiainfrastruktuurien käyttöä. Näitä ovat:

- Portaalit ja markkinapaikat (esim. Testbeds Sweden²) lisäämään näkyvyyttä sekä helpottamaan tiedonvaihtoa ja tarjouspyyntöjen jakamista laajemmalle verkostolle.
- Asiakkaiden kutsuminen verkostojen tai klustereiden jäseniksi ja 'hubijäsenyyden' tarjoaminen, jolloin maksua vastaan saa tiettyjä etuja ja käyttöoikeuksia. Verkostot mahdollistavat myös vuoropuhelua asiakkaiden ja teknologiainfrastruktuuritoimijoiden välillä ja voivat tukea tarjouspyyntöjen muodostamista.
- Keskitetyt yhteyspisteet tietyn teknologia-alan puitteissa. Tutkimuslaitokset, testauslaitokset ja muut toimijat voivat yhdistää voimansa ja koota kaikki kyseiseen alaan liittyvät palvelut ja fasilitetit yhdeksi tarjoamaksi.
- Pohjoismainen yhteistyö infrastruktuuritoimijoiden välillä lisäämään teknologiainfrastruktuurien näkyvyyttä ja kustannustehokkuutta.

² <https://www.vinnova.se/en/m/testbed-sweden/>



4.1 Ruotsi

Teknologiainfrastruktuurit ovat Ruotsissa usein yliopistojen, korkeakoulujen tutkimuslaitosten omistamia. Laitokset investoivat niihin sekä julkisen perusrahoituksen että omien tulojensa turvin. Käytetty käsitteistö on Ruotsissa vaihdellut. Aiemmin puhe keskittyi vahvasti kokeiluympäristöihin- ja alustoihin (testbädd). Viime aikoina se on vaihtunut yleisempään puheeseen tutkimus- ja innovaatioinfrastruktuureista (European Commission 2024).

Testbed Sweden Initiative (2017–2021) kautta on tuettu merkittävästi uusien kokeilu- ja demonstraatioympäristöjen perustamista sekä olemassa olevien kehittämistä. Infrastruktuurit on huomioitu myös mm. kansallisessa life science -strategiassa (2019), kestävä aluekehityksen strategiassa (2020) sekä ulkomaankauppa- ja kilpailukykystrategiassa (2023). Viimeisimmässä tutkimus- ja innovaatio-suunnitelmassa (Prop. 2024/25:60) esitetään 185M SEK lisäystä infrastruktuurirahoitukseen, sisältäen tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurit, vuodelle 2025, 210M SEK vuodelle 2026, 250M SEK vuodelle 2027 ja 345M SEK vuodelle 2028.

Teknologiainfrastruktuurien käytön rahoitus kanavoidaan usein Vinnovan kautta. Lisäksi Energimyndigheten ja muut toimialakohtaiset viranomaiset voivat tukea infrastruktuurien käyttöä omilla ohjelmillaan.

Ruotsissa on lähes 150 tunnistettua kokeilualustaa (testbed) liittyen digitalisaatioon, energiaan ja ympäristöön, terveyteen, teollisuuteen ja materiaaleihin, älykaupunkeihin sekä liikenteeseen (Edström & Wizenburg 2022). Alustat vaihtelevat laboratorio-olosuhteista, kontrolloituihin tai simuloituihin ympäristöihin sekä kontrolloimattomiin ympäristöihin, joissa ratkaisuja voidaan kokeilla tosielämän tilanteissa. RISEn kyselyn (Edström & Wizenburg 2022) mukaan teknologiainfrastruktuurien pitkän aikavälin haasteina ovat varmistaa rahoitus ja investoinnit, joilla huolehditaan, että infrastruktuurit pysyvät teknologisessa eturintamassa, sekä uusien infrastruktuurien käyttöönoton ja liiketoiminnan kasvun osoittaminen. Teknologiainfrastruktuureja pidetään tärkeinä erityisesti pk-yrityksille, mutta samaan aikaan juuri niillä on haasteita infrastruktuurien käytössä (Teknikföretagen & Rise 2021, Teknikföretagen 2024).

Vinnova pyrkii edistämään kokeilualustojen käyttöä kansallisen koordinaattorin roolissa. Käytännössä tähän koordinoivaan rooliin kuuluu tiedon kokoaminen ja välittäminen eri toimijoille. Vinnova on tuottanut ohjeistuksia ja koulutusmateriaalia kokeilualustojen kehittäjille. Materiaalit käsittelevät muun muassa alustojen kehitystarpeiden tunnistamista sekä tarjoaman myymistä uusille käyttäjille.

Julkinen rahoitus teknologiainfrastruktuurien käyttöön on pääosin projektimuotoista. Keskeinen kanava on 17 strategista innovaatio-ohjelmaa, jotka kaikki sisältävät rahoitusta sekä uusien infrastruktuurien synnyttämiseen että niiden käyttöön. Strategisten innovaatio-ohjelmien seuraaja Impact Innovation -ohjelma on käynnistynyt vuonna 2024 viiden temaattisen ohjelman voimin. Teknologiainfrastruktuureilla on keskeinen rooli myös sektorikohtaisissa ohjelmissa, kuten Vehicle Strategic Research and Innovation (FFI) sekä Advanced Digitalisation. Huomioarvoista on, että julkisen rahoituksen osuus jää alle puoleen näissä ohjelmissa (European Commission 2024). Pääsy infrastruktuureihin sisältyy myös esimerkiksi Euroopan avaruusjärjestön ESA:n tukemaan Esa Business Incubation Centre Swedenin palveluihin. Keskukseen valitut avaruusalan startup-yritykset voivat saada maksimissaan 50 tuhannen euron tuen, jota on mahdollista hyödyntää esimerkiksi kokeilualustojen käyttöön. Vastaava ESA BIC Finland toimii myös Suomessa usealla paikkakunnalla.

Infrastruktuureilla on vahva alueellinen ulottuvuus ja niiden käyttö on huomioitu alueellisissa älykkään erikoistumisen (smart specialization) strategioissa sekä alueellisissa tki-strategioissa. Myös EU:n aluekehitysrahoitusta (EAKR, Just transition fund) on mahdollista hyödyntää teknologiainfrastruktuurien rakentamiseen ja käyttöön, kuten on toteutunut Skånen ja Tukholman alueilla. Muita infrastruktuureihin kytkeytyviä EU-instrumentteja ovat eurooppalaiset digitaaliset



innovaatiohubit, Euroopan yhteistä etua koskevan tärkeän hankkeen (IPCEI, Ruotsissa Electric transport laboratory SEEL), avoimen innovoinnin testausalustat (Open Innovation Test Beds, OITBs) sekä Digitaalinen Eurooppa -ohjelman alakohtaiset tekoälyn testaus- ja kokeilulaitokset (Testing and Experimentation Facilities, TEFs) tarjoavat pääsyä kokeilu ympäristöihin. TEFien kohdalla haasteena on ollut hahmottaa missä määrin tuki pk-yrityksille on sallittua (European Commission 2024).

Vinnova on lanseerannut pk-yrityksille suunnatun innovaatioasetelin (innovationscheck), jolla voi ostaa ulkopuolista osaamista innovaatiotoiminnan tukemiseen. Rahoitus on myönnetty vuosille 2022–2025. Hakijoiden tulee täyttää EU:n pk-yritysten määritelmä, olla osakeyhtiö ja rahoitetun hankkeen tulee edistää YK:n Agenda 2030 -tavoitteita. Yritysten tulee olla innovaatiovaiheessa tai käynnistää innovaatioprojekti rahoituksen avulla. Setelit kattavat ulkopuolisen asiantuntijaosaamisen kolmella alueella:

1. *Liiketoiminnan kehittäminen.* Mahdollistaa innovaatiopotentialin arvioinnin ja vahvistamisen. Tukea voi käyttää esimerkiksi asiakaskysynnän, markkinakoon, liiketoimintamallin ja muiden kaupallisten epävarmuuksien selvittämiseen.
2. *Infrastruktuuri.* Antaa yritykselle mahdollisuuden kokeilla esimerkiksi tuotannon skaalausta tai teknistä validointia hyödyntämällä laboratorioita, kokeilualustoja, demo- ja tuotantolaitoksia. Tukeen sisältyy myös pääsy laskentakapasiteettiin, tietokantoihin ja muuhun erikoistuneeseen IT-infrastruktuuriin. Seteli mahdollistaa uusien teknologioiden tutkimisen, testaamisen ja skaalaamisen käytännön ympäristöissä.
3. *Immateriaalioikeudet:* Tarkoitettu aineettomien oikeuksien hallintastrategian kehittämiseen, mikä vahvistaa yrityksen kestäväää kilpailukykyä ja arvonaluontia. Strategian laadinta voi sisältää omistuskysymysten tunnistamisen, ulkoisen toimintaympäristön analyysin sekä konkreettisen toteutussuunnitelman.

Innovaatioasetelin ehdoissa painotetaan teknologiainfrastruktuurien hyödyntämistä: infrastruktuurirahoituksen maksimitukisumma on 400 tuhatta kruunua (n. 36 000 €) ja sitä voi hakea kaksi kertaa siinä missä liiketoiminnan kehittämiseen ja immateriaalioikeuksiin kohdistuva tuki on korkeintaan 100 tuhatta kruunua (n. 9 000 €). Tuki jaetaan alueellisten inkubaattoreiden ja tiedepuistojen kautta.

Toinen Vinnovan hyödyntämä tuki-instrumentti on VFT (Verifiering för tillväxt, ”verifikaatorahoitus”). VFT-rahoitusta ei kohdistu suoraan tutkimukseen. Tältä osin se täydentää perinteistä t&k-rahoitusta. Tutkimuksen sijaan sen tarkoitus on tukea varhaisten vaiheen ideoiden testaukseen ja validointiin, erityisesti deeptech-aloilla. VFT-rahoitusta voidaan hyödyntää sekä markkinoiden analyysiin (kilpailijakartoitus, sovelluskohteiden tunnistaminen, sääntely-ympäristön hahmottaminen, patentointi) että teknisempään testaukseen. Esimerkiksi bioprosessien kokeiluympäristössä Testa Centerissä, yritykset ovat saaneet mahdollisuuden biotuotteiden verifiointiin täysimittaisessa bioprosessiympäristössä 30 % omarahoitusosuudella³.

Ruotsissa Knut ja Alice Wallenbergin säätiö on tukenut merkittävästi kvanttiteknologia-alan investointeja. Wallenberg Centre for Quantum Technology (WACQT) on Chalmersin teknillisen yliopiston koordinoima 12-vuotinen hanke, jonka 1,4 miljardin kruunun budjetin päärahoittaja Knut ja Alice Wallenbergin säätiö on.

160 yksityisen ja julkisen toimijan rahoittama AI Sweden on esimerkki laajapohjaisesta rahoituspohjasta. Sen jäsenet saavat käyttöönsä Data Factory -infrastruktuurin laskentatehon ja varastointikapasiteetin. Yllä mainittu Testa Center taas on perustettu Ruotsin valtion ja bioteknologiayritys Cystivan yhteistyössä.

³ <https://lifescience.stuns.se/our-projects/testa-center/>



Tieturvallisuuden testiympäristö AstaZero on kiinnostava esimerkki siitä, miten rahoitusmahdollisuudet voivat laajentua siirryttäessä varhaisemman vaiheen teknologiainfrastruktuureista kypsempiin testiympäristöihin. Merkittävä osa AstraZeron kuluista on rahoitettu 12-vuotisella lainalla Pohjoismaiden Investointipankista. Testiympäristön taustalla on myös julkista ja yksityistä rahoitusta. Keskeinen lainansaannin mahdollistava piirre oli vahva autoalan yritysten edustus. Yritykset sitoutuivat testialustan käyttöön, mikä loi uskottavuutta sen kaupalliselle mallille.

Haasteena Ruotsin teknologiainfrastruktuurien hyödyntämisessä on kentän hajanaisuus. Vastuut ja roolit käytön kannustamiseen eivät ole selviä. Testbed Sweden -ohjelman päätyttyä teknologiainfrastruktuurien kansalliseen kehittämiseen ei ole ollut selvää tiekarttaa tai strategiaa. Infrastruktuurien omistajilla, kuten tutkimuslaitos RISEllä, on kannusteet lisätä infrastruktuurien käyttöä, mutta tämän esteenä on hyödyntäjäyrityksille kohdistetun julkisen tuen hajonta moniin eri rahoituslähteisiin ja instrumentteihin.

RISE:n toteuttaman selvityksen (Edström & Winzenburg, 2022) mukaan tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien sekä testialustojen rahoitustavoissa on merkittävää vaihtelua. Tunnistettuja tapoja ovat muun muassa:

- julkiset t&k-tuet
- täysin kaupallinen käyttö – yritykset maksavat
- jäsenyysmalli
- julkinen rahoitus, esim. RISE:n NMI (Nationellt Mättekniskt Institut), vrt. VTT:n MIKES
- yksityisin tai julkisin varoin rahoitettu riskienhallintaan tähtäävä käyttö (esim. Sustainable Underground Mining, SUM -testialusta tai ydinjätteen loppusijoitusta tutkiva Äspölaboratoriet)
- julkiset hankinnat
- kaupunkien omat testialustat

4.2 Tanska

Tanskassa teknologiainfrastruktuureista vastaavat pääosin julkiset tutkimuslaitokset, joita ovat Alexandra Institute (informaatioteknologia), Bioneer (life sciences), DFM (metrologia), DBI (tuli ja turvallisuus), DHI (vesi), Force Technology (teknologiakonsultointi), Danish Technological Institute (teknologiatutkimus). Näiden lisäksi jotkut yliopistot tarjoavat yrityksille teknologiapalveluita. Komission maaraportti korostaa, että valtion tuki tutkimuslaitoksille on Tanskassa muuhun Eurooppaan verrattuna matala ja kattaa vain n. 6–8 % niiden kokonaiskustannuksista (European Commission 2024).

Kansallisesti käytetty käsitteistö erottaa tutkimusinfrastruktuurit ja innovaatioinfrastruktuurit, joista jälkimmäiset ovat vahvemmin suuntautuneita teknologioiden soveltamiseen (1–5 vuoden aikajänteellä) (GTS 2017). Näin ollen innovaatioinfrastruktuurit kattavat tässä raportissa tarkastelun kohteena olevat teknologiainfrastruktuurit. Tutkimuslaitokset käyttävät myös termiä ”testi-, demonstraatio- ja kehityslaitokset”, joiden voidaan nähdä kattavan sekä teknologiainfrastruktuurit että lähempänä sovellusta olevat teksti- ja kokeilualustat.

Kansallisissa tki-strategioissa teknologiainfrastruktuurit on huomioitu keskeisenä osana kansallista innovaatiojärjestelmää ja sektoraalisia innovaatioekosysteemejä esimerkiksi materiaalikehityksen, energian ja liikenteen alueilla (DAFSHE, 2018). Ne näkyvät myös alueellisella tasolla osana alueellisia kasvustrategioita (Erhvervsministeriet, 2021).

T&k-investointien BKT-osuuden kasvattamista ajavan Forskningalliansen (2021) mukaan testaus- ja demonstraatioympäristöjen vahvistaminen on kriittistä, jotta lisäpanostukset vihreiden



teknologioiden tutkimukseen saadaan muunnettua yhteiskunnalliseksi hyödyksi. Vuonna 2020 toteutettu selvitys 150 vihreän siirtymän parissa työskentelevän teknologiayrityksen tarpeista korosti teknologiainfrastruktuurien hyötyjä erityisesti tilanteissa, joissa teknologian kehitys on erityisen nopeaa tai kompleksista (GTS, 2020). Tällaisissa tilanteissa suurillakin yrityksillä on rajatut mahdollisuudet investoida itse tarvittaviin infrastruktuureihin. Toisaalta infrastruktuuritarpeiden havaittiin olevan laajentumassa yksittäisten komponenttien kokeiluista kohti kokonaisvaltaisempaa järjestelmätestausta. Yli puolet yrityksistä – jotka edustivat maatalous-, rakennus-, ja energiasektoreita – raportoivat kasvavasta tarpeesta testata innovaatioitaan suuremmissa mittakaavassa ja luonnollisissa ympäristöissä. Selvityksessä nousi esiin kasvava tarve infrastruktuureille sekä niiden lisäarvo eri osaamisalueiden ja toimijoiden yhdistämiselle. Ruotsin tapaan Tanskasta puuttuu kuitenkin selkeä kansallinen strategia teknologiainfrastruktuurien kehitykselle.

Kansalliset teknologiainfrastruktuurit on koottu ja listattu keskitetylle verkkosivulle⁴ tukemaan tiedon välitystä ja saavutettavuutta. Lavean määritelmän mukaisia testi-, demonstraatio- ja kehityslaitoksia on tunnistettu yhteensä 410 kappaletta, joista noin puolet on julkisten tutkimuslaitosten ja toinen puoli yliopistojen ylläpitämiä. Laitosten kartoitus toteutettiin vuonna 2020 ja sitä ollaan juuri päivittämässä.

Julkista rahoitusta infrastruktuurien perustamiseen haetaan opetus- ja koulutusministeriöstä sekä sekalaisista lisärahoituslähteistä. Tanskan energiavirastolla on Green Labs DK -ohjelma, josta yritysten, julkisorganisaatioiden ja tutkimuslaitosten muodostamat 'innovaatioklusterit' voivat hakea rahoitusta uusien ilmastoteknologioiden testaamista ja demonstrointia tukeville laitoksille (EUDP 2020). Rahoitusta voi käyttää uusien voittoa tavoittelemattomien laitosten perustamiseen tai olemassa olevien päivitykseen mutta ei käyttökuluihin. Rahoitus on maksimissaan 50 % hyväksyttävistä kustannuksista tai 7,5 miljoonaa euroa. Green Labs DK ja laajempi Energy Technology Development and Demonstration Programme (EUDP), jonka osa se on, keskittyvät teknologian kypsäysasteisiin 4–8 (teknologiakehitys, validointi ja demonstraatio).

Teknologiainfrastruktuureja rahoitetaan myös kahdeksan 'liiketoimintamajakan' (erhvervsfyrårne) kautta. Majakat ovat alueellisia ekosysteemihankkeita, jotka ponnistavat alueellisista vahvuuksista ja keskittyvät tiettyyn sektoriin. Esimerkiksi Bornholmin saaren painopisteenä on vihreä energia sekä vihreä meriliikenne siinä missä Funenin alueen fokuksessa on teollisuus, robotiikka ja automaatio. Majakkojen kautta kanavoidaan REACT-EU- (Recovery Assistance for Cohesion and the Territories of Europe) -elpymisrahoitusvälineen varoja, joita täydennetään muilla rahoituslähteillä kuten EAKR- ja ESF+-tuilla. Suurin osa majakoista sisältää toimia testi- ja demonstraatiolaitosten rakentamiseen ja käyttöön. Niiden ajatuksina on lähteä liikkeelle paikallisten yritysten tarpeista ja aluekehityksellisistä strategioista ja laajentua vähitellen kansallisiksi. Pk-yritysten kasvumahdollisuuksia edistetään muun muassa infrastruktuurien käytön kustannuksia kattavilla innovaatioseleillä (voucher), matchmaking- ja neuvontapalveluilla sekä yrityksen koon huomioivilla hinnoitteluperiaatteilla. Käytännön haasteeksi on noussut valtiontukisäädösten tulkinta – toimijoille ei ole selvää missä sallitun yritystuen raja kulkee (EC 2024). Erityisesti taloudellisen ja ei-taloudellisen toiminnan eron määrittäminen on koettu haastavaksi. Lisäksi sallittu tukiprosentti jää niin matalaksi, ettei infrastruktuurien käyttö ole usein pk-yrityksille houkuttelevaa.

Pk-yritykset voivat saada tukea teknologiainfrastruktuurien käyttöön myös Innobooster-ohjelman⁵ kautta. Innobooster keskittyy vihreään siirtymään, life sciences- ja hyvinvointialoihin sekä digitalisaatioon ja teknologiaan. Ohjelma keskittyy lähellä markkinoita oleviin innovaatioiden loppupään kehitystyön tukemiseen.

⁴ <https://www.teknologiskinfrastruktur.dk/>

⁵ <https://innovationsfonden.dk/en/p/innobooster>



Tanska hyödyntää aktiivisesti EU-ohjelmia, jotka edistävät teknologiainfrastuktuurien ja testialustojen kehitystä ja käyttöönottoa. Esimerkkejä näistä ovat muun muassa älykaupunkeihin keskittyvä Citicom.AI (myös Tampereen kaupunki mukana Suomesta), valmistavan teollisuuden tekoälyä käsittelevä AI-MATTERS-TEF sekä useampi Digital Innovation Hub.

Yksityiset säätiöt täydentävät julkista rahoitusta. Novo Nordisk -säätiö myöntää suuria laite- ja infrastruktuuritukia (jopa 3,35 M€ per hanke, vuositasolla noin 18 M€). Muita keskeisiä säätiöitä ovat Carlsberg Foundation ja Obel Family Foundation.

Kokonaisuudessaan erilaisten teknologiainfrastruktuurien sekä testi-, demonstraatio- ja kehityslaitosten ja -alustojen painoarvo on Tanskan tki-politiikassa lisääntymään päin. Samaan aikaan kokonaiskuva eri infrastruktuureista, teknologia-aloista ja rahoituslähteistä on hajanainen, eikä sitä johdeta selkeästi kansallisella tasolla. Vastuut ovat jakautuneet eri ministeriöille ja sektoreille, mikä on johtanut päällekkäisyyksiin ja aukkoihin. Toimijat, kuten Forskningalliansen jäsenet, ovat peräänkuuluttaneet kansallista strategiaa, joka määritteli yhteisen vision ja prioriteetit sekä julkisen ja yksityisen sektorin roolit infrastruktuurien rahoituksessa.

Keskeinen haaste on parantaa pk-yritysten hyödyntämismahdollisuuksia ja -kannustimia (European Commission 2024). Esimerkiksi Rambollin toteuttama selvitys life sciences -alalta (Ramboll 2022) nostaa esiin, että testausfasiliteetteja on liian vähän, niihin on pitkät jonot, eikä pk-yrityksillä ole resursseja rahoittaa niiden käyttöä. Pk-yritysten mahdollisuudet kehittää tuotteita uusille markkinoille ja vakuuttaa sijoittajia ovat rajatut, mikäli innovaatioita ei päästä pilotoimaan käytännössä. Muihin Euroopan maihin nähden pieni julkinen rahoitus on haaste paitsi infrastruktuurien käytön myös niiden ajantasaisuuden kannalta: nopeasti kehittyvillä aloilla infrastruktuurit vanhentuvat ilman jatkuvia investointeja.

4.3 Kvanttitekнологioihin kohdistuva tki-politiikka

Kvanttitekнологiat on tunnistettu kansallisesti tärkeäksi alueeksi sekä Ruotsissa että Tanskassa. Molemmissa maissa kvanttiekosysteemit rakentuvat vahvan yliopisto- ja tutkimuspohjan varaan, mutta tki-politiikan ja infrastruktuurien näkökulmasta niiden kehityspolut ovat eritahtisia ja osin eri logiikalla ohjattuja.

Tanska

Tanska julkisti jo vuonna 2023 kaksiosaisen kansallisen kvanttistrategian. Strategian ensimmäinen osa keskittyy tutkimus- ja innovaatiotoimintaan (UFM 2023a). Se pyrkii vakiinnuttamaan kvantin pitkäjänteisenä tki-painopistealueena ja tuo jatkuvuutta kohdistamalla tki-toimintaan yhteensä miljardi DKK (n. 134M€) rahoitusta vuosina 2023–2027. Innovaatorahoittaja Innovationfonden (Innovation Fund Denmark) on strategian julkistamisen jälkeen käynnistänyt 2024–2026 kaksi kvanttitekнологioihin keskittyvää rahoitusohjelmaa, joiden kokoluokka on yhteensä n. 290M DKK (n. 39 M€). Nämä ohjelmat keskittyvät t&k-rahoitukseen varhaisesta tutkimusvaiheesta demonstraatioihin asti.

Strategian toinen osa tulee lähemmäs teknologioiden käytännön soveltamista ja se lisää kaupallistamista, turvallisuutta ja kansainvälistä yhteistyötä ja se lisää vuosille 2024–2027 ylimääräiset 200M DKK (n. 27 M€) kvanttitekнологioiden kaupallistamisen, kansainvälisen yhteistyön sekä turvallisuuden lisäämiseen (UFM 2023b). Turvallisuus viittaa strategiassa kriittisen digitaalisen infrastruktuurin suojaamiseen kehittyvien kvanttitekнологioiden muodostamilta uhilta sekä selkeiden pelisääntöjen luomiseen kvanttitekнологiaan liittyville kansainvälisille kumppanuuksille ja investoinneille. Kvanttistrategiassa korostuu alkupään teknologian- ja infrastruktuurien kehityksen yhdistäminen teknologioiden kaupalliseen käyttöönottoon ja markkinan



muodostukseen. Sen toimeenpanon koordinaatiota tukevat poikkihallinnollinen 'kvanttisihteeristö' sekä laajempaa kvanttiekosysteemiä edustava kansallinen kvanttiteknologiafoorumi.

Valtion teknologiapolitiikan ydin rakentuu kansallisen kvanttistrategian ympärille. Laajemmat investoinnit nojaavat ennen kaikkea Novo Nordisk -säätiön panostuksiin. Säätiön keskeinen instrumentti on Novo Nordisk Foundation Quantum Computing Programme (NQCP), jossa on sitouduttu usean miljardin kruunun investointeihin virheenkestävän kvanttietokoneen kehittämiseksi Niels Bohr -instituutin ympärille. Ohjelma yhdistää perustutkimuksen, laitekehityksen ja valmistusinfrastruktuurit (Quantum Foundry Copenhagen) yhdeksi integroiduksi kokonaisuudeksi. NQCP on pitkäjänteinen teknologia- ja infrastruktuuri-investointi, jonka oletetaan luovan edellytykset myöhemmälle teolliselle ja kaupalliselle hyödyntämiselle. Infrastruktuurien rahoitusta täydentää QuNorth, valtion ja Novo Nordisk -säätiön yhteisyritys, joka vastaa Magne-kvanttietokoneen hankinnasta ja operoinnista. 80M€ maksavan koneen odotetaan valmistuvan 2027 mennessä ja tukevan muun muassa materiaalitutkimukseen ja kemiaan liittyvää tuotekehitystä.

Yritysekosysteemin rahoitus puolestaan nojaa vahvasti Novo Holdingsiin, joka toimii säätiön omistamana pääomasijoittajana. Novo Holdings on perustanut erillisen Quantum Investments -yksikön ja sitoutunut noin 1,4 miljardin kruunun (n. 188 M€) investointeihin kvanttiekosysteemin kehittämiseksi (Novo Holdings 2025). Tämä pääoma kohdistuu suoriin sijoituksiin startup- ja kasvuyrityksiin sekä kvanttirahastoihin (esim. 55 North, Quantonation). Novo Holdingsin rooli eroaa selvästi NQCP:stä: se ei rakenna infrastruktuuria, vaan rahoittaa yrityksiä, joiden oletetaan hyödyntävän kansallista tutkimus- ja infrastruktuuripohjaa ja skaalautuvan kansainvälisille markkinoille. 55 North -kvanttirahasto perustettiin loppuvuodesta 2025 Tanskan hallituksen ja Novo Holdingsin yhteistyössä. Valtio ja Novo Holdings investoivat kumpikin rahastoon 500M DKK (n. 67M€) alkupääomaa tarkoituksenaan vahvistaa kvanttialan yrityksiä Tanskassa ja muualla Euroopassa.

Tanskassa kvanttistrategia kytkee teknologiainfrastruktuurit ja yritysten osallistamisen samaan, institutionaalisesti ohjattuun kokonaisuuteen ja se sisältää useita toimenpiteitä yritysten toimintaympäristön parantamiseksi. Keskeinen väline on Quantum Denmark (strategiassa nimellä Quantum House Denmark), joka avattiin marraskuussa Kööpenhaminassa Niels Bohr -instituutin yhteyteen. Quantum Denmarkin tarkoitus on toimia kohtaamispaikkana tanskalaiselle kvanttiteollisuudelle. Lisäksi se tarjoaa testiympäristöjä ja tukea liiketoiminnan kehittämiseen sekä pääoman hankintaan. Muina toimenpiteinä perustettiin julkishallinnon monialainen International Quantum Hub, jonka tehtävänä on edistää kansainvälistä yhteistyötä kvanttiteknologioiden alueella, sekä Danish Quantum Community, joka toimii alustana tutkijoiden, yritysten, loppukäyttäjien ja sijoittajien yhteistyölle ja vuorovaikutukselle. Strategia tukee myös yritysten pääsyä teknologiainfrastruktuureihin ja korostaa niiden keskeistä roolia ennen markkinoille menoa sekä mittaus- ja kalibrointikyvykkyyksiä standardien kehittämiseksi. Yhteyksien muodostamista teknologian kehittäjien ja hyödyntäjien välillä tukee lisäksi Kööpenhaminaan vuonna 2023 osana DIANA-aloitetta perustettu NATO Center for Quantum Technologies. Se tarjoaa kvanttiyrityksille suunnattuja kiihdyttämö- ja inkubaattoripalveluja, joiden tavoitteena on viedä teknologioita markkinoille erityisesti kaksikäyttö-, turvallisuus- ja puolustusaloilla.

Ruotsi

Ruotsissa vastaava valtiovetoinen ohjaus on heikompi. Ruotsin kvanttiekosysteemin ankkuri on Chalmersin teknillisen yliopiston koordinoima Wallenberg Center for Quantum Technology (WACQT), joka on rahoitettu pääosin Knut ja Alice Wallenbergin säätiön kautta (SEK 1,4 mrd/132M€, 2018–2030) ja jonka ydintavoitteet ovat 100 kubitin koneen kehittäminen sekä osaamispuheen kasvattaminen teollisuudelle ja akatemialle. WACQT:n yhteyteen on perustettu kaksi testiympäristöä, joista toinen keskittyy kvanttialgoritmeihin ja toinen fyysiseen teknologiaan. Testiympäristöjen käyttö on avointa yrityksille ja tutkijoille ja maksutonta WACQT:n jäsenille.



Tilanne kvanttiteknologioihin liittyvien testiympäristöjen suhteen koetaan kuitenkin laajemmin haastavaksi. Niille ei löydy pitkäjänteistä rahoitusta ja erityisesti startup-yritykset kokevat niiden käytön kustannukset korkeiksi (Edström 2025). Lisäksi osa testiympäristöistä kaipaa modernisointia.

Yritysten osallistuminen Ruotsin kvanttiekosysteemiin tapahtuu pääosin tutkimusyhteistyön kautta. industrial PhD- ja postdoc-mallit sekä kumppanuusmallit ovat tukeneet yhteistyötä (Vinnova 2023). Näiden osallistumismuotojen painopiste on kuitenkin pitkän aikavälin osaamisen kehittämisessä, ei vielä systemaattisessa kaupallistamisessa tai markkinan muodostuksessa (Wallin & Apilo 2025).

Vuonna 2023 perustettu kvanttitoimijoiden yhteistyöalusta, Quantum Sweden Innovation Platform, pyrkii vahvistamaan kansallista koordinaatiota ja yritysten osallistumista. Alustaa koordinoi Chalmersin yliopiston yhteydessä toimiva Chalmers Industriteknik, ja se saa rahoituksensa Vinnovalta sekä jäseniltään, joihin kuuluu yliopistoja ja tutkimuslaitoksia sekä yrityksiä (esim. Ericsson, Scaling ja Con-science). Alusta toimii ensisijaisesti verkosto- ja koordinaatioinstrumenttina, eikä se tarjoa konkreettista tukea yritykselle Tanskan Quantum Denmarkin mittakaavassa. Lisäksi jäsenmaksut ovat koettu korkeiksi startup- ja pk-yrityksille.

Kvanttaviestinnän alueella Ruotsi on edennyt pidemmälle. Maa on integroitunut tiiviisti eurooppalaiseen EuroQCI-aloitteeseen, ja NQCIS-hanke (National Quantum Communication Infrastructure in Sweden) on rakentanut Ruotsiin ensimmäisen kansallisen kvanttaviestinnän testialustan, joka yhdistää Tukholman ja Linköpingin solmukohtat. Kevästä 2025 alkaen infrastruktuuri on ollut avoinna myös konsortion ulkopuolisille käyttäjille, mikä tukee teknologian kokeilua ja oppimista (NQCIS 2025). Verrattuna Tanskan (QCI.DK) ja Suomen (NaQCI.fi) vastaaviin QCI-hankkeisiin, Ruotsin toteutuksessa korostuu erityisesti sen rooli avoimena infrastruktuurina, joka tukee tutkimuslaitosten, teollisuusyritysten ja startupien välistä yhteistyötä.

RISEn toteuttaman selvityksen (Edström 2025) mukaan valtaosa ruotsalaisesta kvanttitutkimuksesta on nojannut säätiörahoitukseen ja että julkinen, pitkäkestoinen valtion tuki on jäänyt suhteellisen ohueksi erityisesti kaupallistamisen osalta, mikä hidastaa ekosysteemin muodostumista. VINNOVA julkaisi vuonna 2023 dokumentin otsikolla ”Swedish Quantum Agenda”, mutta varsinaisen strategian sijaan se sisälsi lähinnä tiiviin tilannekuvan kansallisesta kvanttiekosysteemistä ja suosituksia kehittää poliittista ohjausta erityisesti kansallisen koordinaation, pitkäjänteisen tki-rahoituksen sekä kvanttiteknologioiden käyttöönoton osalta (Vinnova 2023). Vetenskapsrådetille (Swedish Research Council) on annettu tehtäväksi valmistella kvanttistrategia vuosille 2025–2030, mutta työn julkaisu on viivästynyt. Kvanttiteknologiat on kuitenkin nostettu yhdeksi Vetenskapsrådetin tutkimusrahoituksen painopistealueeksi ja sille on allokoitu 150M SEK (n. 14 M€) rahoitusta vuosille 2027–2028 (Høst 2025).

4.4 Havainnot

Vertailu osoittaa, että Ruotsin ja Tanskan kvanttiekosysteemien keskeinen ero liittyy siihen, miten yritysten osallistaminen on institutionalisoitu osaksi TKI- ja infrastruktuuripoliitiikkaa. Tanskassa yritysten rooli on rakennettu näkyväksi ja ennakoitavaksi useiden toisiaan täydentävien instrumenttien kautta: strateginen ja pitkäjänteinen TKI-rahoitus, kevennetty pääsy raskaisiin teknologiainfrastruktuureihin, yrityksille suunnatut hubit ja testausympäristöt sekä kohdennetut pääoma- ja skaalausinstrumentit. Näiden yhteisvaikutus madaltaa erityisesti pk- ja startup-yritysten kynnystä osallistua kvanttiteknologioiden kehittämiseen jo ennen markkinoiden vakiintumista.

Ruotsin tapauksessa yritysten osallistuminen nojaa edelleen vahvasti tutkimusyhteistyöhön ja yksittäisiin hankkeisiin, mikä tukee osaamisen syventymistä mutta ei samalla tavalla rakenna toistettavaa kaupallistamispolkua. Vertailun perusteella erityisen hyödyllisiksi instrumenteiksi nousevat (i) kansalliset, pysyvästi rahoitetut yrityshubit, jotka kokoavat infrastruktuurit,



yrityspalvelut ja rahoitusrajapinnat yhteen, (ii) avoimet ja subventoidut testaus- ja pilotointiympäristöt, jotka mahdollistavat myös varhaisen vaiheen yritysten osallistumisen, sekä (iii) julkisen ja yksityisen pääoman yhteisinstrumentit, jotka paikkaavat TKI-rahoituksen ja markkinaehtoisen rahoituksen väliin jäävää rahoitusaukkoa

Laajemmasta teknologiainfrastruktuurien näkökulmasta vertailu tuo esiin, että yksittäisiin infrastruktuurien investoimisen ohella ratkaisevaa on, miten niitä ympäröivä politiikkatoimenpiteiden kokonaisuus tekee infrastruktuurien käytöstä löydettävää, taloudellisesti mahdollista ja yritysten koko kehityspolkua tukevaa. Ruotsissa vahvuus on laaja testiympäristöjen verkosto ja käyttöä tukevat innovaatioaseteli- ja verifiointi-instrumentit, mutta ohjaus ja rahoitus ovat hajautuneita ja pitkän aikavälin ylläpito ja modernisointi jäävät usein projektirahoituksen varaan. Tanskassa infrastruktuureja on paljon ja ne on tunnistettu selkeäksi osaksi innovaatiojärjestelmää, mutta kokonaiskuva on sirpaleinen, pk-yritysten käyttöä rajoittavat kustannukset ja valtiontukitulkinnat, ja tutkimuslaitosten julkinen perusrahoitus on matala.

5. Tapaustarkastelut

Tässä luvussa tehdään kuvaus kahdesta teknologiaekosysteemistä: kvanttiteknologiasta ja fotonikasta. Molemmat edustavat vahvasti tieteelliseen tutkimukseen nojautuvia aloja, joiden teknologioilla on tai ennakoidaan olevan erittäin moninaisia vaikutuksia lukuisilla toimialoilla. Kvanttiteknologia edustaa tässä uutta suurelta osin vasta tulevaisuudessa käytännön sovelluksia tuottavaa alaa. Fotonikan sovellukset sitä vastoin ovat jo vakiinnuttaneet asemaansa markkinoilla kaupallisina tuotteina ja ratkaisuina, joihin liittyvää liiketoimintaa suomalaiset yritykset tekevät menestyksellisesti. Ekosysteemien analyysi mukailee OECD:n teknologia- ja innovaatiopolitiikan yhteistyöryhmän (TIP) esittämää rakennetta kattaen strategisen suuntaamisen, politiikkatoimien yhdistelmät, rahoituksen, keskeiset tukimekanismit, infrastruktuurin sekä kysyntäpuolen toimenpiteet.

5.1 Kvanttiteknologiat

Suomessa on laajasti tunnistettu kvanttiteknologioihin liittyvä kasvupotentiaali. Aiemmin tehdyt laajat investoinnit tieteelliseen tutkimukseen ja teknologiaan ovat saaneet rinnalleen kohdennettuja toimia, joiden tavoitteena on kehittää elinvoimainen ekosysteemi. Strategiana on ollut kehittää ekosysteemin tuen malli, joka soveltuu pienen maan rajallisiin resursseihin ja on hyvin verkottunut eurooppalaisiin ja kansainvälisiin verkostoihin. Vuonna 2025 julkaistulla kansallisella kvanttiteknologiastrategialla pyritään vauhdittamaan kehittyvän kvanttiekosysteemin kehitystä talouskasvun ja kestäväen kehityksen moottoriksi. Strategia sisältää useita toisiaan täydentäviä toimia yksityisten investointien lisäämiseksi, mukaan lukien kansallisen osaamiskeskuksen perustaminen, tutkimus- ja teknologia-infrastruktuurien vahvistaminen sekä pitkäjänteinen rahoituskehys.

Suomen kvanttiteknologiaekosysteemi rakentuu 1960-luvulta lähtien harjoitetun matalien lämpötilojen fysiikan, suprajohtavuuden, kryogeniikan ja fotonikan tutkimuksen vahvalle perustalle. Tieteelliset edistysaskeleet johtivat varhaisiin kaupallisiin sovelluksiin lääketieteellisessä teknologiassa, kuten aivotoiminnan kartoituksessa. Kvanttihavainnointiin perustuvat teknologiat, kuten SQUID-magnetometrit, ovat myöhemmin muodostuneet kvanttietokoneiden keskeisiksi mahdollistajiksi. Aivojen magneettikenttien mittaamiseen kehitetyt herkäät anturit ovat sittemmin kehittyneet suprajohtaviksi kvanttibiteiksi eli kubiteiksi.



Kryogeeninen teknologia oli toinen tärkeä sovellusalue, joka nousi huipputason perustutkimuksesta. Äärimmäisen matalien lämpötilojen tutkimusta varten kehitetyt jäähdytysjärjestelmät kaupallistettiin 2000-luvulla yliopistoista spinoff-yrityksiksi. Aluksi niiden käyttäjiä olivat etenkin tutkimusryhmät, mutta nyt kryogeeniset jäähdytysjärjestelmät ovat keskeisiä mahdollistajia suprafohtavalle kvanttilaskennalle.

Rahoitus tuli varhaisina vuosikymmeninä pääosin kilpailtuina tutkimus-, tutkimusinfrastruktuuri- ja teknologiakehitysrahoituksina. Tutkimuksen huippua tukevat Suomen Akatemian huippuyksikköohjelmat mahdollistivat varhaisia läpimurtoja ja spinoffeja erityisesti kvanttihavainnoinnissa.

Kvanttitekniologian edistäminen ja politiikkatoimet

2010-luvun lopulla syntyi laajempi ymmärrys siitä, että kaikki suprafohtavan kvanttietokoneen rakentamisen kannalta olennaiset osaamiset löytyivät kotimaasta. Ekosysteemin kehityksen vauhdittamiseksi ja kaupallistamisen kiihdyttämiseksi valtio myönsi vuonna 2020 kaksikymmentä miljoonaa euroa ensimmäisen kvanttietokoneen hankintaan. Tavoitteena oli tukea uuden tiedon syntyä, palvella suomalaisia ja eurooppalaisia yrityksiä ja luoda pohja uuden teollisen sektorin syntymiselle.

Tekniologian tutkimuskeskus VTT toimi hankkeen isäntäorganisaationa ja toteutti innovaatiokumppanuusmalliin perustuvan kilpailutuksen. Hankinnan voitti IQM Quantum Computers, joka toimitti kolmeen vaiheeseen jaetun suprafohtavan kvanttietokoneen kehitys- ja toimitusprosessin. Ensimmäinen 5-kubitin HELMI-kvanttietokone otettiin käyttöön vuonna 2021, 20-kubitin versio vuonna 2023 ja 50-kubitin laite vuonna 2024. VTT osallistui yhteiskehitykseen toimittamalla keskeisiä komponentteja, kuten suprafohtavia vahvistimia ja sirutason integraatiota, joista osa on sittemmin kaupallistettu spinoff-yrityksinä (Arctic Instruments, SemiQon).

Kvanttietokoneet ovat yritysten, tutkimuslaitosten ja yliopistojen käytävissä. Laitteet on myös yhdistetty LUMI-supertietokoneeseen, mikä on mahdollistanut klassista ja kvanttilaskentaa yhdistävän hybridilaskennan edistyneisiin simulointeihin ja algoritmikehitykseen.

Ensimmäisen projektin jälkeen skaalausta jatkettiin toisella hankinnalla, johon valtio myönsi 70 miljoonaa euroa. Vuoden 2024 kilpailutuksessa sopimus myönnettiin jälleen IQM:lle, joka kehittää 150 kubitin kvanttietokoneen vuodelle 2026 ja 300 kubitin laitteen vuodelle 2027. Laitteiden suunnittelu optimoidaan materiaalimallinnuksen tehtäviin ja ne liitetään kansalliseen HPC-infrastruktuuriin hybridilaskennan mahdollistamiseksi.

Toinen merkittävä kohdennettu toimi oli InstituteQ:n, Suomen kvantti-instituutin, perustaminen vuonna 2021. Se toimii osaamisen solmukohtana tieteen, koulutuksen, yritysten ja käyttäjien välillä. Instituutti perustettiin Aalto-yliopiston, Helsingin yliopiston ja VTT:n yhteistyönä. Toiminta jakautuu kolmeen kokonaisuuteen: ResQ (tutkimus ja infrastruktuurit), EduQ (koulutus ja osaamisen kehittäminen) ja BusinessQ (liiketoiminta ja innovaatio). InstituteQ isännöi kansallista kvanttitekniologian lippulaivaa, joka toimii vuosina 2024–2031 ja tuo yhteen yli sata tutkijaa 11 tutkimusryhmästä eri tieteenaloilta.

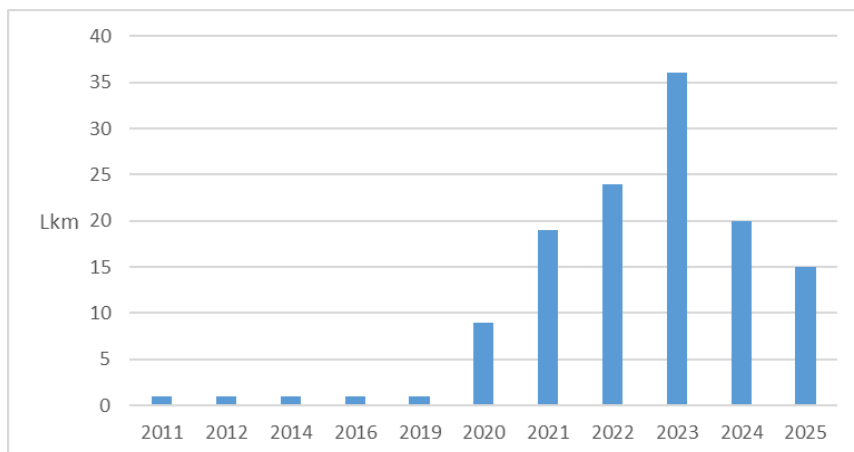
Kvanttitekniologiaekosysteemi

Suomen tutkimusjärjestelmässä huippuyksiköt toimivat tieteellisen riskinoton ja huipputason tutkimuksen välineenä. Viimeisimpiä kvanttialoja tukevia huippuyksiköitä ovat Kvanttimateriaalien huippuyksikkö (2026–2033), Satunnaisuuden ja rakenteiden huippuyksikkö (2022–2029) ja Kvanttilaskennan huippuyksikkö (2018–2025).

Liiketoimintaekosysteemi sisältää useita startup-yrityksiä eri kypsyyssvaiheissa. Merkittäviä yrityksiä ovat Bluefors, joka on maailman johtavia kryogeenisten laitteiden valmistajia ja vuonna 2018 perustettu IQM Quantum Computers, joka valmistaa suprafohtavia kvanttijärjestelmiä. Näiden lisäksi toimii kasvava joukko yrityksiä kubittien suunnittelusta ohjelmistoihin, algoritmeihin,

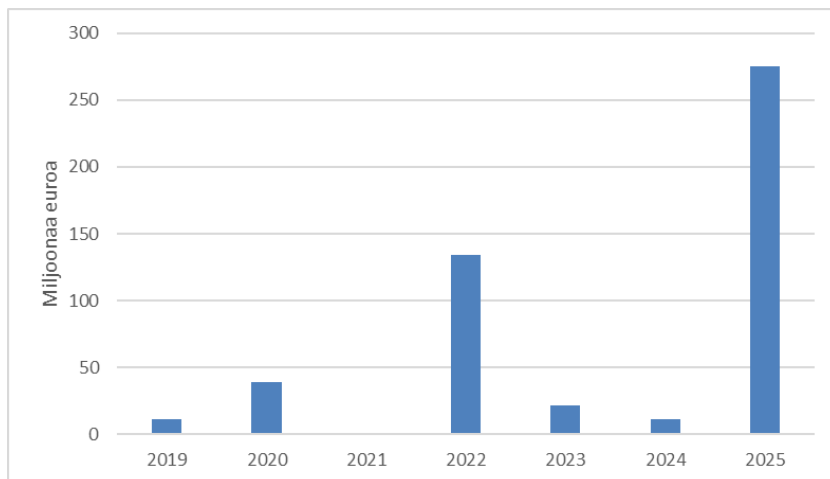


fotoniikkaan ja materiaaleihin. Myös kvanttiteknologioiden patentointi on kasvanut voimakkaasti 2020-luvulla. Vuonna 2023 kirjattiin 36 patenttia. Suurimpia patentinhaltijoita ovat IQM, Nokia ja VTT.



Kuva 1. Kvanttiteknologian patentit, suomalaiset patentinhakijat, Lähde: Google Patents.

Rahoitusympäristö on kehittynyt merkittävästi. Suomeen on syntynyt pääomasijoitusrahastoja, jotka keskittyvät syväteknologiaan mukaan lukien kvanttiteknologia. Myös ulkomainen rahoitus on kasvanut ja alan startup- ja kasvuyritysten rahoituskiertoosiin osallistuu tyypillisesti useita kansainvälisiä sijoittajia.



Kuva 2. Kvanttiteknologiaa kehittävien yritysten keräämä yksityinen pääomarahaus 2019-2025, miljoonaa euroa. Lähde: yritysten ja sijoittajien tiedotteet.

Suuri osa alan kehitys- ja liiketoiminnasta keskittyy pääkaupunkiseudulle, jossa sijaitsevat johtavat tutkimusorganisaatiot, infrastruktuurit ja yritykset. Kansainvälisessä vertailussa Helsinki on ollut maailman kolmen johtavan kvanttiteknologiakeskittymän joukossa. Muualla Suomessa alueet kehittävät erikoistuneita profiileja: esimerkiksi Tampere fotoniikassa, Oulu kvanttiohjelmistoissa ja Jyväskylä kvanttimateriaaleissa ja -simulaatioissa.

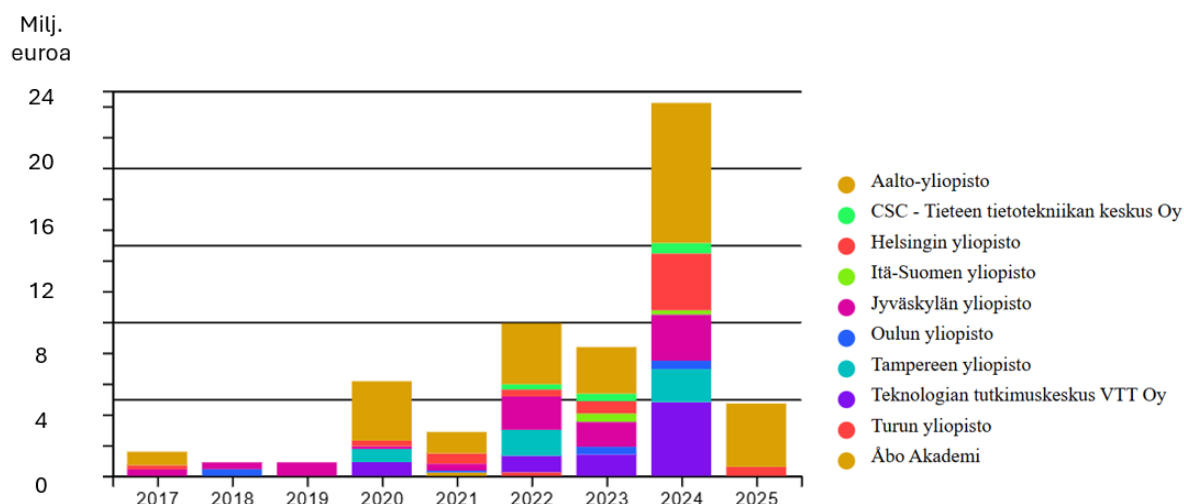
Kansallisia infrastruktuureja ovat mm. OtaNano (mikro-, nano- ja kvanttiteknologiat), FiQCI (kvantti-HPC yhdistävä infrastruktuuri) ja useat avoimet tutkimusympäristöt. Suomi johtaa myös eurooppalaista SUPREME-hanketta, joka rakentaa eurooppalaista kvanttisirujen pilot-linjaa.



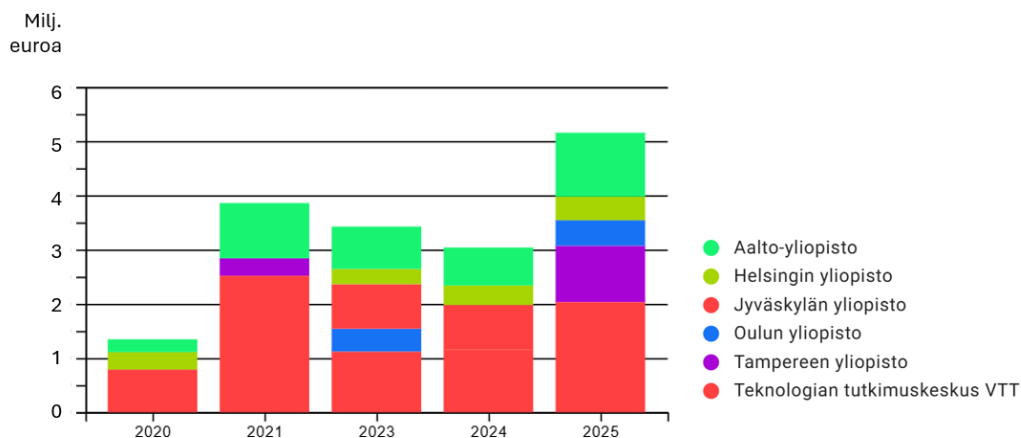
Suomi tekee aktiivista kahden- ja monenvälistä yhteistyötä. Kvanttitekniologiat ovat osa Suomen teknologiaulkopolitiikkaa ja niillä on tärkeä rooli geopolitiittisen suvereniteetin, arvoperusteisen sääntelyn ja kestäväen kehityksen edistämässä. Suomi ja Yhdysvallat ovat antaneet yhteisen julkilausuman yhteistyöstä kvanttitekniologioissa.

Rahoitus ja tuki

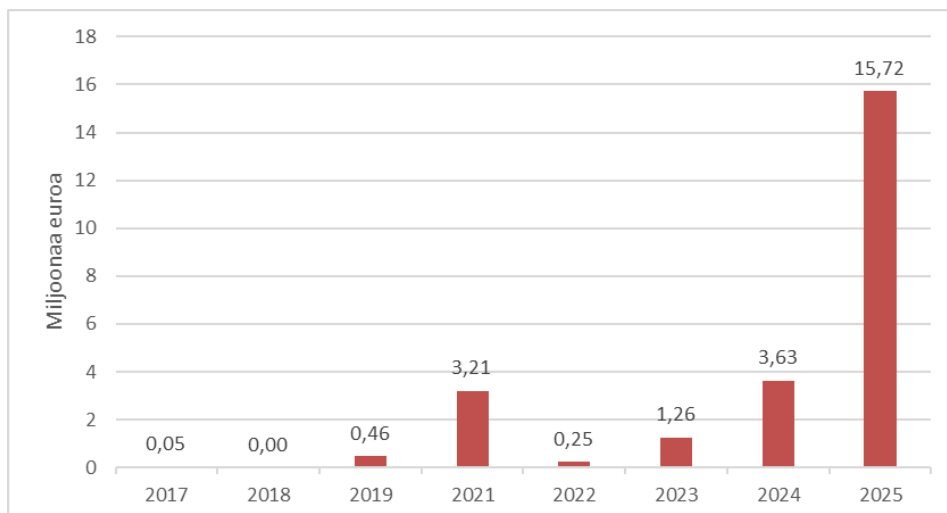
Suomen kvanttialan investointien osuus kaikista t&k-menoista on OECD:n laskelman mukaan maailman korkeimpia (noin 1,8 %). Pääasiallinen rahoitus tulee kilpailtuna tutkimusrahoituksena Suomen Akatemialta, Business Finlandilta ja EU-ohjelmista. Business Finland on tukenut myös yritys yhteistyötä, sovelluspilotteja ja tutkimuksesta liiketoimintaa -hankkeita. Valtion sijoitusyhtiö Tesi toimii merkittävänä deep tech -sektorin kasvun mahdollistajana pyrkien tukemaa yksityisen sijoitustoiminnan vahvistumista.



Kuva 3. Suomen Akatemian rahoitus kvanttitekniologioiden tutkimukseen, 2017-2025, miljoonaa euroa, myönnetty rahoitus organisaatioittain. Lähde: CSC.



Kuva 4. Business Finlandin rahoitus kvanttitekniologioiden tutkimukseen, 2020-2025, miljoonaa euroa, myönnetty rahoitus organisaatioittain. Lähde: CSC.



Kuva 5. Business Finlandin rahoitus kvanttiteknologia-alan yrityksille. Lähde: Business Finlandin rahoitustilastot.

Koulutusta tarjotaan tohtorikoulutuksesta ammattikorkeakouluihin. InstituteQ koordinoi kansallista koulutustoimintaa. Vuonna 2023 käynnistettiin kvanttiteknologian tohtorikoulu. Yritykset, kuten IQM, tarjoavat myös avoimia oppimisresursseja (IQM Academy).

Yhteenveto

Suomen kvanttiteknologiapolitiikka on kehittynyt yleisestä tutkimus- ja innovaatiopolitiikasta kohti kohdennettua ja kokonaisvaltaista ekosysteemin vahvistamista. Edistys on ollut nopeaa, ja Suomeen on syntynyt kasvava yritysten, tutkimuksen, infrastruktuurin, sijoittajien ja koulutuksen verkosto, joka muodostaa vahvan pohjan tulevalle kvanttiteknologian kasvulle.

5.2 Fotoniikka

Fotoniikka on valon ominaisuuksiin liittyvän tieteen ja teknologian ala. Fotoniikka nähdään avainteknologiana, joka mahdollistaa innovaatioita useilla toimialoilla. Sovelluksia löytyy mm. terveysteknologiasta, tieteellisestä mittauksesta, viestintäverkoista, avaruusteollisuudesta, suurteholaskennasta ja kvanttiteknologiasta.

Suomalainen osaaminen on erityisen vahvaa optiikassa, kuvantamisessa, optisissa sensoreissa, mikro- ja nanofotoniikassa, lasereissa, lisätyn todellisuuden teknologiassa ja kvanttifotoniikassa. Fotoniikka-alan yrityksille vuonna 2025 tehdyn kyselyn mukaan toimialan liikevaihto oli Suomessa 2,5 miljardia euroa. Yrityksiä toimii alalla yli 300 ja niiden yhteenlaskettu liikevaihto on kasvanut keskimäärin noin 14 prosenttia vuodessa 2020-luvulla.

Fotoniikkaa hyödynnetään paljon erikoislaitteistoissa, joten kotimaan markkina on monelle yritykselle pieni. Alan yritysten liikevaihdosta hyvin suuri osa muodostuu tyypillisesti viennistä. Fotoniikan ratkaisuja hyödynnetään useilla toimialoilla. Suurin yksittäinen kohdemarkkina on valmistava teollisuus (26 %). Fotoniikkaa hyödynnetään myös runsaasti bio- ja terveystieteissä (17 %), turvallisuuden, mittaustieteen ja sensorien alueilla (15 %) sekä optisten komponenttien ja



järjestelmien valmistamisessa (15 %). Ala koostuu erikoistuneista raaka-ainetoimittajista, komponentti- ja laitevalmistajista, järjestelmäintegraattoreista, jälleenmyyjistä ja palvelutuottajista.

Hyperspektrikuvantaminen

Esimerkkinä fotonikkaan pohjautuvan teknologian monikäyttöisyydestä eri toimialoilla ja käyttökohteissa on hyperspektrikuvantaminen. Se on verrattain uusi ja nopeasti kehittyvä teknologia, joka pohjautuu valon näkyviä aallonpituuksia laajemman spektrin mittaamiseen. Hyperspektrikuvantaminen jakaa sähkömagneettisen spektrin kymmeniin tai jopa satoihin kapeisiin kaistoihin, mikä mahdollistaa materiaalien tunnistamisen niiden yksilöllisten spektrisormenjälkien perusteella. Sen avulla voidaan kerätä monipuolista tietoa hyvin monenlaisista kappaleista ja kohteista eri mittakaavoissa – niin mikroskooppitasolla kuin avaruudesta.

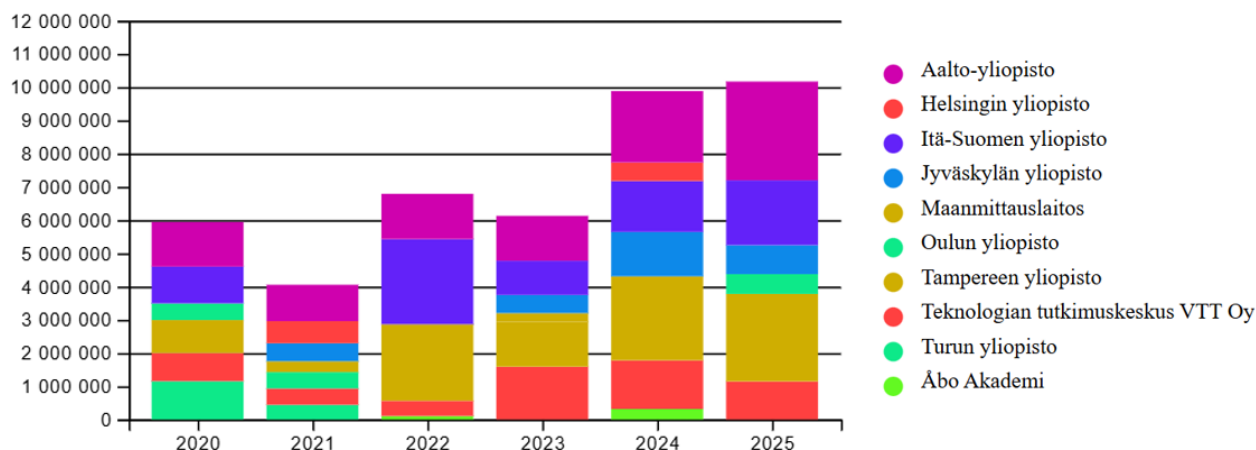
Suomalaisen hyperspektrikuvantamisen kehitys ja kaupallistaminen pohjautuvat pitkään ja tiiviiseen yhteistyöhön perustutkimuksen, soveltavan tutkimuksen ja teollisuuden välillä. Tutkimus on saanut vahvan perustan erityisesti VTT:llä, Aalto-yliopistossa, Oulun yliopistossa, Itä-Suomen yliopistossa ja Tampereen yliopistossa, joissa hyperspektrikuvausta on kehitetty muun muassa optiikan, signaalinkäsittelyn, kaukokartoituksen, konenäön ja biolääketieteen tarpeisiin. Näissä ympäristöissä teknologiaa on jalostettu laboratoriomittakaavasta kenttä- ja teollisuussovelluksiin kansallisten ohjelmien ja EU-hankkeiden tukemana. Kaupallistaminen on tapahtunut sekä tutkimuslähtöisten spinoffien että yritysysteistyön kautta. Suomen vahvuutena on ollut koko arvoketjun hallinta kattaen anturitekniikan, optiikan, data-analytiikan ja sovellusosaamisen, jotka on kytetty yhdistämään kaupalliseksi tuotteiksi.

Suomessa toimii useita hyperspektrikuvantamiseen erikoistuneita yrityksiä. Specim (Oulu) valmistaa laboratorio-, teollisuus- ja kenttäsovelluksiin tarkoitettuja hyperspektrikameroita, joita käytetään esimerkiksi elintarvikkeiden laadunvalvonnassa, kaivannais- ja metsäteollisuudessa, kierrätyksessä sekä tutkimuksessa. Avaruuspuolella Kuva Space (Espoo) kehittää hyperspektrisatelliitteja ja datapalveluja ympäristön seurannan, ilmastomuutoksen tutkimuksen ja luonnonvarojen hallinnan tarpeisiin palvellen muun muassa viranomaisia ja energia- sekä rahoitusala. Spectral Engines (Espoo) valmistaa pienikokoisia spektriantureita teollisiin IoT-ratkaisuihin ja kemialliseen tunnistukseen, kun taas Senop (Lappeenranta) hyödyntää hyperspektri- ja monispektrikuvantamista puolustus- ja turvallisuussovelluksissa.

Viime vuosina on syntynyt myös useita alan startup-yrityksiä. Agate Sensors kehittää miniatyrisoituja fotonisiin piireihin perustuvia antureita, Emberion keskittyy erityisesti SWIR-alueen hyperspektriin ja monispektriin kuvakennoihin teollisen konenäön ja kierrätyksen tarpeisiin ja Hypermene soveltaa hyperspektrikuvausta kaivosteollisuuden materiaalinäytteiden nopeaan analysointiin. Terveystieteiden tutkimuksessa HylasVision hyödyntää hyperspektrikuvausta kirurgisessa päätöksenteossa ja kudosten elinkelpoisuuden arvioinnissa ja Mantis Vision yhdistää hyperspektri- ja 3D-kuvantamista teolliseen tarkastukseen, kulttuuriperinnön dokumentointiin ja rakennus- sekä turvallisuussovelluksiin. Kaikkia näitä toimijoita yhdistää tavoite tuoda hyperspektritekniikka laboratorion käytännön sovelluksiin, joissa korostuvat tiedon nopeus, automaatio ja päätöksenteon tehostaminen.

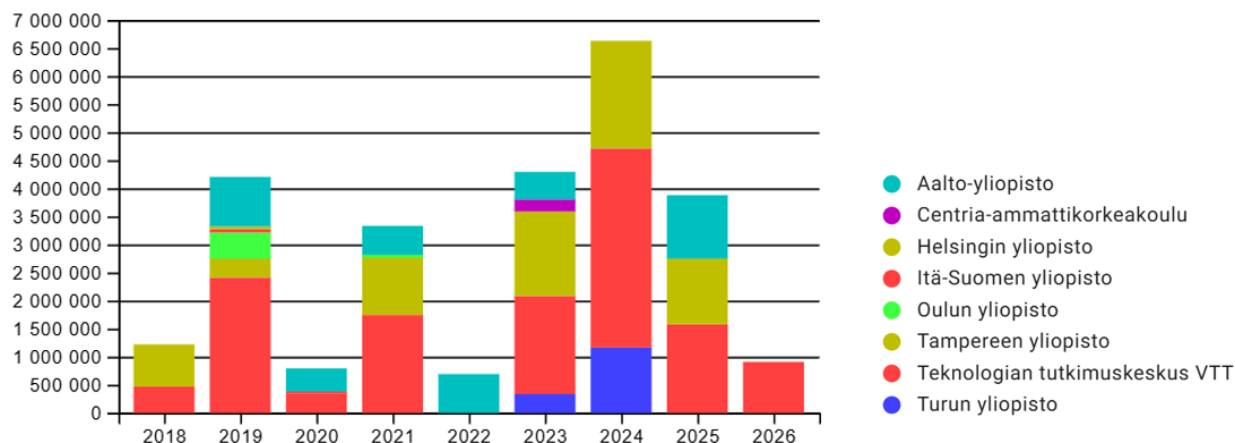
Ekosysteemin kehitys

Fotoniikan alalla toimii noin 70 tutkimusryhmää, joissa työskentelee yhteensä yli 700 tutkijaa. Fotoniikka-alan tutkimusrahoitus on kasvanut viime vuosina. Suomen Akatemian rahoitus on ollut noin kymmenen miljoonan euron tasolla vuodessa (Kuva 1).



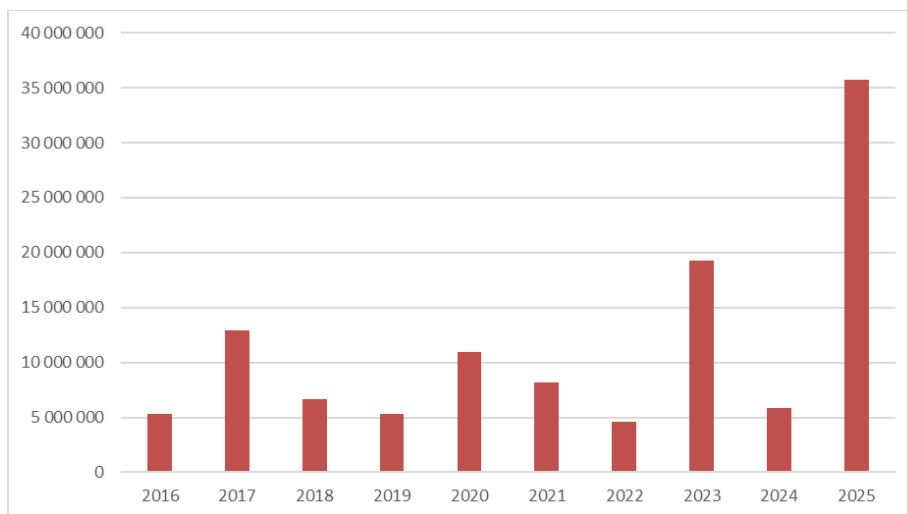
Kuva 6. Suomen Akatemian fotonikan tutkimusrahoitus 2020-2025, myönnetty rahoitus organisaatioittain. Lähde: CSC.

Business Finlandin myöntämässä tutkimusrahoituksessa on ollut huomattavaa vaihtelua eri vuosien välillä johtuen suurten kärkihankkeiden isosta volyymista. Fotonikkaan kohdistuvan rahoituksen määrä on vaihdellut alle miljoonasta eurosta vajaaseen seitsemään miljoonaan euroon (noin 6,8 miljoonaa euroa) (Kuva 2).



Kuva 7. Business Finlandin fotonikan tutkimusrahoitus 2018-2025, myönnetty rahoitus organisaatioittain. Lähde: CSC.

Myös yritysten saama rahoitus Business Finlandilta on vaihdellut vuositasolla, mutta ollut keskimäärin nousuvoittoista. Tarkkoja lukuja ei Business Finlandin julkisesta tietokannasta ole saatavilla, mutta alalta tunnistettujen 46 rahoitusta saaneen yrityksen osalta vuotuinen rahoituksen määrä on vaihdellut 5-35 miljoonan välillä (Kuva 3).



Kuva 8. Business Finlandin myöntämä rahoitus fotonikka-alan yrityksille 2016-2025, myönnetty rahoitus miljoonaa euroa (Luvuissa ei ole mukana fotonikkaa hyödyntävien isojen monialaisten yritysten kuten Nokian, Vaisalan tai Valmetin hankkeita). Lähde: Business Finlandin rahoitustilastot.

Suomessa on useita fotonikka-alan yrityksiä, jotka ovat kasvuvaiheessaan siirtyneet ulkomaiseen omistukseen. Yritysten myyntien keskeisiä syitä ovat tyypillisesti tarve nopeaan kansainväliseen skaalaamiseen, pääsy globaaleihin jakelukanaviin ja asiakassuhteisiin, merkittävästi suuremmat investointitarpeet (esim. tuotannon, sertifiointin ja myynnin laajentamiseen) sekä se, että strateginen ostaja pystyy hyödyntämään teknologiaa osana laajempaa tuoteportfoliota tehokkaammin kuin itsenäinen suomalainen kasvuyritys. Ilmiö on ollut erityisen yleinen fotonikassa, jossa markkinat ovat globaalit, kilpailu kovaa ja teknologian kaupallistaminen vaatii mittakaavaa, jota kotimainen pääoma ja markkina harvoin yksin mahdollistavat.

Viime vuosina syväteknologiaan panostavien yksityisten sijoitusten markkina on kasvanut. Isoja rahoituskerroksia ovat keränneet erityisesti kuluttaja-, avaruus-, ja puolustusalojen tarpeisiin tuotteita kehittävät yritykset (Dispelix, Ixi, Varjo).

Fotonikan lippulaiva PREIN (Photonics Research and Innovation) on Suomen Akatemian rahoittama fotonikan lippulaiva, jonka tavoitteena on vahvistaa Suomen asemaa kansainvälisenä fotonikan huippumaana yhdistämällä korkeatasoinen perustutkimus, soveltava tutkimus ja teollinen vaikuttavuus. PREIN keskittyy erityisesti fotonikan ratkaisuihin, jotka tukevat kestävästä kehitystä, digitalisaatiota, terveysteknologiaa, älykästä teollisuutta ja kvanttitekologioita. Keskeisiä toimijoita ovat suomalaiset huippuyliopistot ja tutkimuslaitokset, kuten Tampereen yliopisto, Aalto-yliopisto, Itä-Suomen yliopisto ja VTT, jotka toimivat yhteistyössä kotimaisten ja kansainvälisten yritysten kanssa. Toimintamuotoihin kuuluvat monitieteiset tutkimusohjelmat, yhteiset tutkimusinfrastruktuurit, yritysyhteistyö ja pilotointi, osaajien koulutus sekä aktiivinen teknologian siirto ja startup-toiminnan tukeminen, joiden avulla tutkimustuloksia viedään tehokkaasti kohti kaupallisia ja yhteiskunnallisia sovelluksia.

Suomessa on useita alueellisia fotonikan klustereita, joilla on omaileimainen osaamispohja. Helsingin seudun fotonikkaklusteri on Suomen laajin ja monialaisin, ja se nojaa vahvasti Aalto-yliopiston, VTT:n ja Helsingin yliopiston tutkimukseen sekä niiden ympärille rakentuneisiin yritysekosysteemeihin. Osaaminen kattaa integroidun fotonikan ja piifotonikan, kvanttitekniikat, optisen mittaustekniikan, mikro- ja nanofabrikan sekä AR/XR-optiikan. Keskeisiä toimijoita ovat mm. VTT (Micronova, kvantti- ja PIC-pilottilinjat), Aalto Nanofab, sekä yritykset kuten Dispelix, IQM



Quantum Computers, Okmetic, Nokia (optiset verkot) ja useat VTT- ja Aalto-spin-offit. Alueen vahvuus on tiivis tutkimuksen ja teollisuuden vuorovaikutus sekä kansainvälisesti merkittävät tutkimusinfrastruktuurit, jotka tukevat sekä syväteknologia-startupeja että suuryritysten T&K-toimintaa.

Tampereen fotonikkaklusteri rakentuu pitkälti Tampereen yliopiston Optoelektroniikan tutkimuskeskuksen (ORC) ympärille. Sen ydinosaamista ovat puolijohdemateriaalit, puolijohdelaserit, ultranopeat ja kvanttisovelluksiin soveltuvat laserlähteet sekä fotoniset alijärjestelmät. ORC on ollut keskeinen toimija Tampereen seudulle muodostuneessa vahvassa fotonikan ja terveysteknologian ekosysteemissä, joka yhdistää yliopistotutkimuksen, VTT:n, yritykset, sairaalayhteistyön sekä startup- ja kasvuyritystoiminnan, ja jota tukevat aktiivisesti alueelliset kehitysohjelmat, kansalliset tutkimusrahoittajat ja kansainväliset teolliset kumppanuudet. Alueella on syntynyt useita kansainvälisesti menestyviä yrityksiä, kuten Modulight, Vexlum, Picophotonics ja RefleKron, jotka muodostavat laseralan keskittymän Ruskon alueelle. Tampereen seutu linkittyy vahvasti myös eurooppalaisiin siruteknologian ohjelmiin (erityisesti EU Chips Act), jossa fotonikka ja puolijohdetekniikka yhdistyvät. Tutkimuslähtöinen innovaatiokulttuuri ja kasvava pilotointi- ja tuotantokapasiteetti tekevät Tampereesta Euroopan mittakaavassa merkittävän laser- ja optoelektroniikkakeskittymän.

Oulun fotonikkaklusteri perustuu vahvaan mittaus-, kuvaus- ja sensoriteknologian osaamiseen, jota tukevat Oulun yliopisto, VTT sekä pitkä teollinen perinne elektroniikassa ja ICT:ssä. Alue on erityisen tunnettu hyperspektrikuvantamisesta, röntgen- ja säteilyilmaisimista, teollisesta konenäöstä sekä fotonikkaa hyödyntävistä terveysteknologian ratkaisuksista. Keskeisiä yrityksiä ovat mm. Specim (hyperspektrikamerat), Detection Technology (röntgenilmaisimet) sekä useat fotonikkaa ja mikroelektroniikkaa yhdistävät pk-yritykset. Oulun vahvuus on soveltava, teollisuuslähtöinen fotonikka sekä kyky integroida optiset ratkaisut osaksi laajempia järjestelmiä, erityisesti terveydenhuollon, teollisuuden ja puolustuksen tarpeisiin.

Joensuun fotonikkaklusteri on erikoistunut metsä-, ympäristö- ja biofotonikkaan sekä optisiin mittausmenetelmiin luonnonvarojen kestävässä käytössä. Klusterin ydin muodostuu Itä-Suomen yliopistosta (UEF), erityisesti fotonikan, spektroskopian ja kaukokartoituksen tutkimuksesta, sekä siihen kytkeytyvistä tutkimusinfrastruktuureista. Osaaminen painottuu hyperspektriseen ja multispektriseen kuvantamiseen, laserpohjaisiin mittauksiin, metsien ja kasvillisuuden tilan seurantaan sekä ympäristön monitorointiin. Joensuun vahvuus on fotonikan soveltaminen globaaleihin kestävyyshaasteisiin, ja alue pyrkii toimimaan linkkinä akateemisen tutkimuksen ja luonnonvara- ja ympäristöteknologioiden välillä. Joensuussa toimivia fotonikka-alan yrityksiä ovat mm. Dispelix, Hypermemo, Nanocomp ja Seetru.

Turun seudun fotonikkaklusteri profiloituu erityisesti biolääketieteelliseen fotonikkaan, optiseen diagnostiikkaan, materiaalifotonikkaan sekä kemialliseen ja biologiseen spektroskopiaan, ja sen ytimessä ovat Turun yliopisto ja Åbo Akademi. Alueella on vahvaa osaamista optisissa mittausmenetelmissä, biosensoreissa, mikro- ja nanorakenteissa, funktionaalisissa pinnoitteissa sekä fotonikkaa hyödyntävissä lääke- ja terveysteknologian sovelluksissa. Keskeisiä yrityksiä ovat mm. Gasera (fotoakustinen spektroskopia), Comptek Solutions (puolijohde- ja optoelektroniikkapassivointi) sekä useat diagnostiikkaan ja materiaalitekniikkaan keskittyneet pk-yritykset. Turun vahvuus on fotonikan yhdistäminen elintarvike-, lääke- ja terveystieteisiin sekä kemiaan, ja alueen tutkimusinfrastruktuurit tukevat erityisesti soveltavaa tutkimusta ja teollista pilotointia.

Alueelliset fotonikka-alan klusterit tekevät Innokaupungit-ohjelmassa yhteistyötä yhdistämällä osaamisensa, kehitysalustansa ja yritysverkostonsa yhteisten haasteiden ratkaisemiseksi ja uuden liiketoiminnan synnyttämiseksi. Käytännössä yhteistyö näkyy yhteisissä piloteissa, kuten teollisuuden kunnossapidon tueksi kehitetty optinen anturiverkosto, joka mittaa rakenteiden värähtelyjä ja ehkäisee laiterikkoja ennakoivasti; kaupunkiympäristöön toteutettu valokuituun



pohjautuva älyvalaistusratkaisu, jossa valaistusta ohjataan reaaliaikaisen liikehavainnon perusteella energiansäästön parantamiseksi; sekä terveydenhuollon käyttöön pilotoitu fotoninen kudosdiagnostiikka, joka mahdollistaa nopeamman ja tarkemman ihomuutosten arvioinnin non-invasiivisesti. Klusterit jakavat kokemukset ja tulokset avoimesti, mikä vauhdittaa uusien ratkaisujen käyttöönottoa ja vahvistaa Suomen asemaa kansainvälisesti kilpailukykyisenä fotonikan edelläkävijänä.

Fotoniikan tohtoriohjelma I-Deep (Innovative Doctoral Education Ecosystem for Photonics) on valtakunnallinen fotoniikan tohtoriohjelma, jonka tavoitteena on kouluttaa valoon perustuviin teknologioihin erikoistuneita tohtoreita vastaamaan nopeasti kasvavan fotoniikka-alan tutkimus- ja teollisuustarpeisiin. Tavoitteena on myös lyhentää tohtorikoulutuksen läpimenoaikaa. Ohjelmaa koordinoi Tampereen yliopisto, ja keskeisiä toimijoita ovat kaikki suomalaiset yliopistot, joissa tehdään fotoniikan tutkimusta (mm. Aalto-yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Oulun yliopisto, Turun yliopisto, Jyväskylän yliopisto ja Åbo Akademi). Se toimii tiiviissä yhteistyössä PREIN-fotoniikan lippulaivan, kansallisen FinnLight-tutkimusinfrastruktuurin, Photonics Finlandin sekä VTT:n kanssa. I-Deepin toimintamuotoihin kuuluvat työsuhteiset, kolmen vuoden tohtoripaikat, yhteinen valtakunnallinen opetussuunnitelma ja liikkuvuusjaksot. Yritysyhteistyöhön kytkeytyvät tutkimusaiheet, työelämä- ja innovaatiotaidot sekä mentorointi ja verkostoituminen teollisuuden kanssa pyrkivät varmistamaan, että valmistuvat tohtorit sijoittuvat myös akateemisen maailman ulkopuolelle. Ohjelma on osa opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittamaa tohtorikoulutuspilottia (2024–2027), ja sen rahoitus kanavoituu ministeriöltä PREIN-lippulaivan kautta osallistuville yliopistoille. Huomattava osa fotoniikka-alan yrityksistä ilmoittaa olevansa kiinnostunut palkkaamaan alan tohtoreita.

Teknologiainfrastruktuurit

FinnLight on Suomen kansallinen fotoniikan tutkimusinfrastruktuuri, joka kokoaa yhteen valoon perustuvien teknologioiden suunnittelu-, valmistus-, integraatio- ja karakterisointikyvykkyudet koko innovaatioketjun kattavaksi kokonaisuudeksi. Siihen lukeutuvat mm. optinen ja fotoninen suunnittelu, mikro- ja nanovalmistus, komponenttien ja järjestelmien integraatio sekä laaja mittaus- ja testausinfrastruktuuri. Infrastruktuuri on maantieteellisesti hajautettu ja sijaitsee pääosin Tampereella, Espoossa ja Joensuussa, ja sitä hallinnoi Tampereen yliopiston, VTT:n ja Itä-Suomen yliopiston muodostama konsortio. Tampereen yliopisto koordinoi FinnLight-kokonaisuutta, joka kuuluu Suomen kansalliseen tutkimusinfrastruktuurien tiekarttaan (FIRI). FinnLight on avoin infrastruktuuri, jota voivat käyttää niin akateemiset toimijat kuin yrityksetkin joko yhteistyöhankkeiden kautta tai suoralla sopimus- ja palvelumallilla. Käyttöön sisältyy laitteiden open-access-periaate, asiantuntijatuki, räätälöity koulutus, konsultointi sekä tarvittaessa laitevuokraus. Yritykset voivat hyödyntää FinnLightia esimerkiksi uusien fotonisten materiaalien ja komponenttien kehittämiseen, prototyyppien valmistukseen, mittauksiin ja pilotointiin sekä kaupallistamista edeltävään riskin pienentämiseen aloilla kuten teollinen mittaus, LIDAR ja sensorit, kvantti- ja puolijohdefotoniikka, lisätty todellisuus sekä terveys- ja ympäristöteknologia.

VTT:n johtama lääkinällisten laitteiden pilottilinja Oulussa on vuonna 2025 käyttöön otettu kehitys- ja pilotointiympäristö, jonka tavoitteena on nopeuttaa erityisesti fotoniikkaan perustuvien lääkinällisten laitteiden siirtymistä tutkimuksesta markkinoille vastaamalla pilotoinnin, skaalaamisen ja sääntelyn (esim. ISO 13485, CE-merkintä) pullonkauloihin. Pilottilinja palvelee erityisesti terveysteknologia-alan startupeja, pk-yrityksiä ja suuria laitevalmistajia sekä tutkimusorganisaatioita, jotka kehittävät esimerkiksi puettavia sensoreita sairauksien seurantaan, diagnostiikkaratkaisuja ja laitteita sairauksien (mm. syövän) varhaiseen tunnistamiseen. Infrastruktuurin muodostavat säännelty tuotantoympäristö, puhdistilat sekä elektroniikan, fotoniikan, mikroelektroniikan ja mikrofluidiikan prototyyppi- ja integraatiolaitteistot, jotka mahdollistavat pienet ja keskisuuret prototyyppisarjat teollisella laadulla. VTT tarjoaa pilottilinjalla kehitys-, pilotointi-, testaus- ja sertifiointia tukevia palveluja sekä toimii kumppanina kansallisissa ja



EU-tason hankkeissa. Rahoitus muodostuu VTT:n investoinneista (n. 3,4 miljoonaa euroa), asiakasprojekteista sekä kansallisista ja eurooppalaisista ohjelmista.

Innovatiiviset julkiset hankinnat

Monikäyttöisyydestään johtuen fotonikkaan pohjautuvien teknologisten ratkaisuiden käyttökohteita löytyy myös runsaasti julkiselta sektorilta, mikä mahdollistaa innovatiivisten julkisten hankintojen toteuttamisen keinona vauhdittaa yritysten innovaatiotoimintaa ja kasvua. Julkiset tutkimuslaitokset ja yliopistot ovat hankkineet fotoniikkaratkaisuja kuten hyperspektrikuvantamisen laitteita, jotka ovat toimineet referensseinä alan yrityksille.

Julkisissa palveluissa ja viranomaiskäytössä mahdollisuuksia on useilla toimialoilla. Turvallisuudessa mm. biometrinen tunnistaminen, rajaturvallisuus (esim. vaarallisten aineiden tunnistus), optinen tiedonsiirto ja ruokaturvallisuus. Terveystieteiden fotonikkaa hyödynnetään lääketieteellisen kuvantamisen ja diagnostiikan laitteissa ja terveydentilan mittauksessa. Liikenteen ja infrastruktuurin aloilla sovelluskohteita ovat mm. liikenteen seuranta, infrarakenteiden kunnan tarkastus ja autonominen liikenne (mm. lidar-tutkat). Ympäristö- ja luonnonvarasektorilla ympäristömittaus, päästömittaus, kaukokartoitus sekä sää- ja kelitieto voivat soveltaa fotonikkaan pohjautuvia ratkaisuja. Viestinnän alalla viranomaisverkoissa voidaan investoida optiseen tiedonsiirtoon. Ja julkisissa tutkimusorganisaatioissa tarvitaan lukemattomia mittausteknologioita, joissa fotonikan uusia teknologioita voidaan kokeilla ja ottaa käyttöön. Kaikkiin näihin liittyy mahdollisuuksia innovatiivisten julkisten hankintojen toteuttamiseen.

6. Teknologiainfrastruktuurien yhteiskäyttö- ja rahoitusmallit

Tässä luvussa analysoidaan vaihtoehtoisia malleja teknologiainfrastruktuurien yrityskäytön mahdollistamiseksi. Analyysi pohjautuu alan eurooppalaisiin selvityksiin sekä VTT:n ja muiden tutkimusorganisaatioiden yhteiskäyttöisten teknologiainfrastruktuurien tarkasteluun.

Tausta

Euroopan tutkimus- ja teknologiainfrastruktuuristrategia (European Commission 2025e) nostaa esiin useita systeemisiä haasteita, jotka heikentävät Euroopan kykyä hyödyntää täysimääräisesti tieteellisiä ja teollisia valmiuksiaan. Poliitikot ja rahoitus ovat edelleen hyvin pirstaleisia eri jäsenvaltioissa, mikä johtaa siihen, ettei teknologia-infrastruktuureihin tehtävissä investoinneissa ole johdonmukaista, koko EU:n laajuista lähestymistapaa — lähestymistapaa, jonka tulisi olla ESFRI-mallin inspiroima, mutta ei sen suora kopio.

Rahoitusvirrat ovat hajallaan, ja yksityisiä investointeja on vähän, minkä vuoksi merkittävää poikkialueellista ja rajat ylittävää yhteistyöpotentiaalia jää hyödyntämättä. Palveluiden piiriin pääsemisen prosesseista on usein muodostunut monimutkaisia, kalliita ja erityisen kuormittavia pk-yrityksille ja start-upeille — haaste, joka nostetaan esiin myös EU:n Start-up and Scale-up -strategiassa (European Commission 2025c).

Samaan aikaan nopea teknologinen kehitys, käyttäjien yhä monimuotoisemmat tarpeet ja jatkuvat osaamisvajeet edellyttävät infrastruktuurien jatkuvaa laajentamista ja sopeuttamista. Toimintojen digitalisaation kasvu — mukaan lukien tekoälyjärjestelmien käyttöönotto — on välttämätöntä käyttö- ja pääsymaksujen pienentämiseksi, mutta edellyttää huomattavia investointeja ja kapasiteetin kehittämistä.



Lopuksi strategia korostaa tarvetta vahvistaa Euroopan kykyä datan luotettavaan jakamiseen ja uudelleen käytön mahdollistamiseen. Tutkijoille, innovaattoreille ja sijoittajille on varmistettava pääsy kuratoituihin, FAIR-periaatteiden mukaisiin data-aineistoihin, jotka ovat laadukkaan tutkimuksen ja markkinoilleviennin edellytys.

Näiden haasteiden ratkaisemiseksi strategiaan sisältyy vuosille 2025–2028 ajoitettu 22 toimenpiteen tiekartta. Näillä toimilla on suora vaikutus Suomen kansalliseen agendaan, ja ne edellyttävät kaikkien osapuolten proaktiivista otetta (ks. Tulanet 2025).

TKI-strategian kytkeytyminen muihin eurooppalaisiin strategioihin

Euroopan tutkimus- ja teknologiainfrastruktuuristrategian keskeisenä tavoitteena on luoda tutkimuksen ja innovoinnin yhtenäinen sisämarkkina, joka edistää ”viidettä vapautta”: tiedon, datan, tutkijoiden ja teknologian rajoittamatonta liikkuvuutta EU:n sisällä.

Tämä strateginen linjaus liittyy läheisesti useisiin käynnissä oleviin ja tuleviin EU-aloitteisiin, kuten EU Start-up and Scale-up -strategiaan (toukokuu 2025), Life Science -strategiaan (heinäkuu 2025) sekä AI and Science -strategiaan. Kaikkien tavoitteena on vahvistaa Euroopan kilpailukykyä paremmin integroitujen innovaatioekosysteemien avulla.

Strategia kytkeytyy myös valmisteilla oleviin merkittäviin lainsäädäntötoimiin:

- *European Innovation Act* (odotettavissa maaliskuussa 2026), joka tuo sitovia sääntelytoimia innovaatiokyvykkyyden vahvistamiseksi.
- *European Research Act* (suunniteltu syyskuulle 2026), joka on parhaillaan julkisessa kuulemisessa ja tähtää tutkimushallinnon modernisointiin ja harmonisointiin EU:ssa.

Yhdessä nämä aloitteet muodostavat sen politiikka- ja sääntelykehiksen, joka tarvitaan strategian keskeisen tavoitteen — saumattoman, koko Euroopan kattavan tutkimus- ja innovaatioalueen — toteuttamiseksi.

Määritelmät

Jotta tuleva kansallinen ja eurooppalainen infrastruktuurirahoitus olisi keskenään linjassa, on optimaalista, että Suomi käyttää yhteisiä määritelmiä. Tässä analyysissä käytämme Euroopan komission Horizon Europe 2.0 -asetusehdotukseen (heinäkuu 2025) sisältyviä määritelmiä (European Commission 2025d). Asetuksessa määritellään:

1. *Tutkimusinfrastruktuurit*: Tutkimusinfrastruktuurit ovat laitoksia, jotka tarjoavat resursseja ja palveluja tutkimuksen tekemiseen ja innovaation edistämiseen omilla aloillaan.
2. *Teknologiainfrastruktuurit*: Teknologiainfrastruktuurit ovat laitoksia, laitteita, kyvykkyyksiä ja resursseja, joita tarvitaan teknologian kehittämiseen, testaamiseen, skaalaamiseen ja validointiin — aina esikilpailullisista soveltavan tutkimuksen palveluista demonstraatioihin ja validointeihin saakka.

Nämä määritelmät ovat linjassa EU:n syyskuussa 2025 julkaisemassa tutkimus- ja teknologiainfrastruktuuristrategiassa (European Commission 2025e):

1. *Tutkimusinfrastruktuurit*: Eurooppa on jo vuosikymmenten ajan ollut koti maailmanluokan tutkimusinfrastruktuurien verkostolle. Ne muodostavat Euroopan tutkimus- ja innovaatioekosysteemin perustan ja tuottavat valtavia määriä luotettavaa tutkimusdataa.



Niiden päätarkoituksena on edistää tieteellistä huippuosaamista varmistamalla tutkijoiden pääsy huipputason laitteistoihin, laboratorioihin ja digiresursseihin — erityisesti niihin, joiden kehittäminen olisi liian kallista tai monimutkaista yksittäisille organisaatioille.

2. *Teknologiainfrastruktuurit*: Näihin kuuluvat mm. testialustat, pilot-linjat, pilot-tehtaat, demonstraatiolaitokset, puhdistilat ja living lab -ympäristöt. Niiden päätarkoituksena on mahdollistaa ja nopeuttaa teknologisten innovaatioiden yhteiskunnallista ja markkinaalajausta käyttöönottoa sekä vahvistaa teollista kilpailukykyä. Ne auttavat yrityksiä vähentämään TKI-investointeihin liittyviä riskejä ennen markkinoille menoa.

Infrastruktuurien luonnehdinta

On myös tunnustettava, että tutkimusta, innovaatiota ja teknologiakehitystä tukeva infrastruktuuriekosysteemi on monimuotoinen. Edellä viitattu kuva tiivistää kolmen eri infrastruktuurityypin tärkeimmät erot ja yhtäläisyydet. On olennaista ymmärtää myös, miten eri infrastruktuurityypit täydentävät toisiaan.

Taulukko 1. Tutkimus-, teknologia-, ja innovaatioinfrastruktuurien väliset erot (pohjautuu European Commission 2025b p.17-18.).

DIMENSIONS	Research infra	Technology infra	Industrial infra
PRIMARY PURPOSE			
Enable advancement of scientific and applied research			
Support industry in technology development, upscaling, testing and validation			
Support development of a product/service/industrial process			
PRIMARY USERS			
Scientists / researchers			
Companies incl. SME's, start-ups			
Public sector			
ACCESIBILITY CONDITIONS			
Open access based on excellence			
Open access to technological expertise			
Restricted Access			
MAIN OUTPUTS AND IMPACTS GENERATED			
New knowledge, scientific publications			
New technologies, patents			
Technologies on a higher maturity level			
Facilitating companies' investments in technological innovation			
Incubation of new companies			
FUNDING MODEL			
CAPEX publicly funded			
CAPEX privately funded			
OPEX publicly funded			



OPEX privately funded



Teknologiainfrastruktuurien rahoitusmallit (ECB, 2025 perusteella)

Rahoitustyyppit ja -lähteet – Teknologiainfrastruktuurit toimivat sekamuotoisilla rahoitusmalleilla, jotka heijastavat niiden puolijulkista tehtävää. Rahoitus kattaa sekä alkuinvestoinnit (CapEx) että jatkuvat käyttökustannukset (OpEx). Rahoituskenttä on pirstoutunut alueelliselle, kansalliselle ja EU-tasolle.

Pääomainvestointien (CapEx) rahoitus – CapEx tarkoittaa investointeja kiinteään omaisuuteen, kuten tiloihin, koneisiin, laitteisiin, rakennuksiin ja ohjelmistoihin. Arviolta 13–16 miljardia euroa pääomaa tarvitaan vuoteen 2030 mennessä teknologiainfrastruktuurien rakentamiseen ja päivittämiseen EU:ssa. Tämä tarkoittaa yli 200 %:n kasvua nykytilanteeseen verrattuna.

CapExin ensisijaiset rahoituslähteet

Julkinen sektori rahoittaa lähes yksinomaan pääomainvestoinnit. Jakautuminen tasoille:

- Aluetasoinen rahoitus: suurin osuus, 53 % julkisesta rahoituksesta
- Kansallinen rahoitus: keskimäärin 35 %, sisältäen perusrahoituksen, kilpailullisen rahoituksen ja ad hoc -rahoituksen; myös RRF on ollut merkittävä tilapäinen lähde
- EU-tason rahoitus: noin 12 %, usein kohdennettu teknologia-alueille (esim. kehittyneet materiaalit, tekoälyn testausympäristöt, mikroelektroniikan pilot-linjat)
- Sisäiset resurssit: Teknologiainfrastruktuurien operaattorit sijoittavat uudelleen voittojaan, 21 % rahoitusmixistä.

Yksityinen rahoitus

- Kaupalliset rahoitusinstrumentit: Alikäytettyjä, vain 3 % rahoitusmixistä (esim. pankkilainat, luottolimiitit).
- Yksityinen rahoitus: Vähäinen, 1 %. Yksityinen sektori on haluton kantamaan suuria investointiriskejä.

Käyttökustannusten rahoitus

Käyttökustannukset (OpEx) kattavat teknologiainfrastruktuurien operoinnin päivittäiset kulut: henkilöstö, energia, materiaalit, ylläpito. Nämä kulut vastaavat 10–15 % CapExista teknologiainfrastruktuurin elinkaaren aikana. OpEx-rahoitus on monipuolisempaa kuin CapEx. Käyttökustannusten ensisijaisia rahoituslähteitä ovat:

- Julkinen kilpailtu rahoitus: 34 %, EU:n, kansallisten ja alueellisten ohjelmien kautta
- Yksityinen rahoitus: 31 %, teollisuussopimukset ja käyttömaksut; joissakin teknologiainfrastruktuureissa jopa 60–100 %
- Julkinen perusrahoitus: 19 %, kansalliset ja alueelliset lähteet
- Sisäiset varannot: 12 %



- Rahoitusinstrumentit: 2 %, erittäin vähäinen käyttö

Haasteet

Teknologiainfrastruktuurien operaattorit kohtaavat merkittäviä ja erillisiä haasteita sekä pääoma-että käyttökustannusten rahoituksessa.

CapEx-rahoituksen haasteet

- Julkisen rahoituksen riittämättömyys: Investointitarpeet ylittävät selvästi saatavilla olevan rahoituksen. Tämä on erityisen haastavaa teknologian keskivaiheen valmiusasteen (mid-TRL) laitoksille.
- Pirstaleinen rahoitusjärjestelmä ja rahoituslähteiden yhdistämisen vaikeus: Eri ohjelmien aikataulut, säännöt ja hakuprosessit eivät kohtaa.
- Laajamittaisten hankkeiden rahoituspuute: Ei yhtä suurta rahoituslähdettä; joudutaan kokoamaan monta pientä rahoitusta.
- Hidas julkinen rahoitus vs. nopea teknologinen muutos: Pitkät prosessit heikentävät kilpailukykyä suhteessa Yhdysvaltoihin, Japaniin ja Kiinaan.
- Korkeat alkuinvestoinnit: Erityisesti monikäyttöisille infrastruktuureille.
- Heikko ennustettavuus: Vaikeuttaa strategista suunnittelua ja pitkäjänteisyyttä.
- Yksityisen yhteisrahoituksen saannin vaikeus: Epävarmat tuotot ja monimutkaiset järjestelyt estävät sijoituksia.

OpEx-rahoituksen haasteet

- Kilpailullisen rahoituksen epävarmuus ja riittämättömyys: Ei kata kaikkia kustannuksia, pakottaa käyttämään sisäisiä varoja.
- Kysynnän ja käyttäjäsitoumusten epävarmuus: Lyhyet sopimukset → vaihteleva käyttöaste → epävakaa kassavirta.
- Käyttäjien rajallinen maksukyky: Erityisesti pk-yritykset ja startupit eivät pysty kattamaan täyttä hintaa.
- Kasvatavat käyttökustannukset: Energia, palkat, materiaalit — erityisen haastavaa puhdastiloissa ja HPC-keskuksissa.
- Valtiontukisääntöjen tulkinnan haasteet: ”Taloudellisen toiminnan” määrittely vaikuttaa hinnoitteluun ja kysynnän stimulointiin; tarvitaan selkeyttämistä.

Hallinto (governance)

Infrastruktuurien hallintomallien arvioinneista (European Commission 2023a, 2023b) nousee esiin eräitä keskeisiä havaintoja. Yhden luokun palvelurajapinnat ovat keskeinen tekijä infrastruktuurien käytettävyyden kannalta. Niiden onnistunut käyttö edellyttää selvää palveluvalikoimaa ja valmiita sopimusmalleja. Kestävän liiketoimintamallin rakentaminen projektirahoituksen päättymisen jälkeiseen toimintaan on osoittautunut haasteeksi. Esimerkiksi Open Innovation Testbed -ohjelman kautta EU rahoitti kuusi pilottia, joista mikään ei onnistunut löytämään taloudellisesti kestävää



toimintamallia rahoituksen päätyttyä. Arvioinneissa on myös suositeltu, ettei perustettaisi erillistä oikeushenkilöä, vaan pyrittäisiin järjestämään jokaiselle infrastruktuurille nimetty yhteyshenkilö. Infrastruktuurien välisen koordinaation parantamista on myös pidetty tarpeellisenä tarpeettomien päällekkäisyyksien ja niihin liittyvien tehostomien investointien vuoksi.

Suosituks

Teknologiainfrastruktuuripolitiikkaa tarvitaan parantamaan pääsyä huippuluokan infrastruktuureihin. Edelläkävijöitä ovat Euroopassa ovat arviointien mukaan olleet Alankomaat, Itävalta ja Kroatia.

Suomessa infrastruktuurikartoitus ei ole ajan tasalla, toisin kuin Tanskassa, jossa saatiin hiljattain jatkolupa kartoituksen ylläpitämiseen.

Tarvitaan yli kansallisten rajojen ulottuvaa yhteistyötä — esimerkiksi Pohjoismaiden kesken.

- Rahoitusmallien laajentaminen ja monipuolistaminen
- Yhdistelmäinstrumentit (*blended*) sisältäen avustuksia, lainaa ja/tai pääomaa Horizon Europan kautta yksityisen investoinnin lisäämiseksi.
- Velkapohjaiset yhdistelmäinstrumentit: Vakaille teknologiainfrastruktuureille, joissa kassavirta ennustettava.
- Pääomapohjaiset yhdistelmäinstrumentit: Mahdollistavat tuotto-osuuksia kaupallisille teknologiainfrastruktuureille.
- EU-tasois
- Monitasois
- Rahoitusinstrumenttien monipuolistaminen: esim. lainat, säätiörahoitus, parent company -takaukset (mm. EIP on todennut olevan valmis roolinsa kasvattamiseen).
- Elinkaarikattava rahoitusmalli: rakentaminen → käyttö → päivitykset → alasajo.
- Kysynnän vahvistaminen ja pääsyn parantaminen
- Kysyntälähtöisten instrumenttien laajentaminen: Innovaatiovoucherit, Innovaatiolainat ja takaisinmaksettavat avustukset ja Cascade Funding (FSTP).
- Käyttöä koskevan peruskirjan (Charter of Access) kehittäminen teollisuuskäyttäjille.
- EU-laajuinen koordinaatiokehys tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien ekosysteemille.
- Euroopan laajuinen "one-stop-shop" tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurin palveluihin.
- Pilottimallit startupeille ja scale-upeille.
- Koherentti hallinto ja strateginen suunnittelu
- TI-kohtainen hallintomekanismi prioriteettien ja palveluaukkojen tunnistamiseen.
- EU-tason kartoitus- ja tiekarttatyön koordinointi.
- Yhteisen TI-määritelmän edistäminen.
- Tekninen tuki ja osaamisen kehittäminen



- Technical Assistance Program / Advisory Hub: kulttuuristen esteiden purkaminen, tieto rahoitusinstrumenteista ja tuki investointikelpoisten projektien suunnittelussa
- Johto- ja teknisen henkilöstön koulutus, yrittäjyysosaamisen vahvistaminen
- EU:n valtiontukisääntöjen selkeyttäminen ja hyvien käytäntöjen jakaminen

7. Johtopäätökset

Yritysten teknologiainvestointeja jarruttavat tulosten korkea epävarmuus, hyödyntämisen pitkä ja vaikeasti arvioitavissa oleva aikajänne sekä haasteet sitouttaa loppukäyttäjiä varhaisen vaiheen kehitykseen. Siksi vaikuttava kannustekokonaisuus ei synny yhdestä instrumentista, vaan politiikkatoimenpiteiden kokonaisuudesta, joka yhtä aikaa pienentää teknologia- ja markkinariskiä, parantaa pääsyä osaamiseen ja infrastruktuureihin ja luo varhaista kysyntää ja referenssejä. Alla esitämme viisi toimintasuositusta teknologiakehityksen investointikannusteiden vahvistamiseksi.

1. Tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien strateginen suunnittelu

Suomesta puuttuu tällä hetkellä pitkän aikavälin näkymä tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien kokonaisuudesta EU-infrastruktuurien kontekstissa. Myös tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien väliset synergiat ovat systemaattisesti kartoittamatta. Nämä näkyvyyden puutteet infrastruktuurien nykytilaan heikentävät sekä investointisuunnittelua (mitä puuttuu, mitä kannattaa päivittää, mistä on syytä luopua) että yritysten kykyä löytää ja käyttää oikeita infrastruktuureja.

- Teknologiainfrastruktuureja koskeva kartoitus olisi ajankohtainen toteuttaa, kuten on tehty muissa Pohjoismaissa. Sen tulosten pohjalta voidaan käynnistää avoin viestintä ja luoda yrityksille yhteinen palvelurajapinta (*access point*), jonka kautta ne voivat löytää sopivia infrastruktuureja, saada selkeän kuvan palveluista ja hinnoittelusta ja näin edetä infrastruktuurien hyödyntämisessä ilman kohtuuttomia transaktiokustannuksia.
- Infrastruktuurikartoituksen pohjalta on syytä tehdä pidemmän aikavälin suunnitelma tutkimus- ja teknologiainfrastruktuurien kehitystarpeista, jotta julkista rahoitusta saadaan kohdistettua vaikuttavasti.
- Rahoitusmalleja voidaan monipuolistaa kansainvälisten esimerkkien mukaisesti.
- Innovaatioseteli olisi avoin ja tasapuolinen keino edistää teknologiainfrastruktuurien hyödyntämistä erityisesti pk-yritysten piirissä. Ruotsissa käytössä oleva innovaatioseteli ulkopuolisen osaamisen ostamiseen tarjoaa lupaavan toimintakonseptin sovellettavaksi myös Suomessa.

2. Kohdennetut teknologiakehityksen kannusteet

Yleisiä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiopolitiikan vaikutuskeinoja täydentävät kohdennetut toimet ovat perusteltuja yritysten kannustamiseksi murroksellisten teknologioiden kehittämiseen ja soveltamiseen. Kohdennetut toimet ovat järkeviä, jos ne täydentävät yleisiä kannusteita ja vastaavat nimenomaan niihin kohtiin, joissa ekosysteemi ei vielä kannattele yritysten investointeja.



Käytännössä tämä voi tarkoittaa täsmätoimia, joilla vastataan tunnistettuihin pullonkauloihin liittyen esimerkiksi osaamiseen tai kehitysprosessin tiettyyn vaiheeseen.

Teknologiaekosysteemien puuttuvia ja heikkoja linkkejä täydentävä ja vahvistava ohjausmalli on Suomessa dynaaminen ja kustannustehokas verrattuna monissa maissa käytössä olevaan erillisrahoitettujen politiikkaohjelmien malliin. Suomen nousevat teknologiaekosysteemit ovat voineet kehittyä ilman massiivisia erillisrahoitusohjelmia. Tämä sopii pienen maan strategiaksi hyvin. Mutta onnistuminen vaatii hyvää koordinoitua ja puuttuvien ekosysteemin elementtien dynaamista, toistuvasti tehtävää tunnistamista ja puutekohteisiin pureutuvien tukitoimenpiteiden käynnistämistä.

Valikoivan teknologiapolitiikan riskeihin on silti syytä kiinnittää huomiota. Tiettyyn teknologiateemaan kohdennetun julkisen rahoituksen määrän noustessa kasvaa myös t&k-toiminnan hankkeiden laadun heikkenemisen riski ja resurssien saatavuuden kaventuminen muilta osaamisaloilta, mikä voi estää yllätyksellisten innovaatioiden kehitystä osaamisalojen rajapinnoilla.

3. Testiympäristöt

Kun teknologian soveltaminen edellyttää kokeiluja todellisissa kenttäolosuhteissa (mm. maasto, kaupunki, liikenne, asiakaspalvelu) loppukäyttäjien kanssa, toiminta- ja rahoitusmallit eroavat kiinteästä teknologiainfrastruktuurista. Testiympäristöjen tuottama arvo syntyy siitä, että kokeilut ovat riittävän lähellä käyttöä: muutoin investoinnit jäävät tekniseksi testaukseksi ilman uskottavaa käyttöönoton polkua.

- Kaupallisesti arvokkaat tulokset edellyttävät käyttöä lähellä olevia testiympäristöjä, jotta teknologiainvestoinnit luovat arvoa. Ne mahdollistavat ison mittakaavan demonstraatiot useiden erityyppisten toimijoiden kesken. Keskeistä on käyttäjien sitouttaminen testiympäristöihin.
- Testiympäristöjen kirjo eri alueilla ja toimialoilla on suuri ja niiden resursointi pohjautuu usein hankerahoitukseen, mikä tuottaa epävarmuutta toiminnan jatkuvuuden sekä osaamisen kertymisen suhteen. Kansallinen kehitystyö testiympäristöjen peruseriaatteiden ja toimintamallien suhteen (esim. palvelulupaus, rahoitusmallit) voisi tehdä testiympäristöistä käytettävämpiä ja lähestyttävämpiä.
- Sääntelyhiekkalaatikot kannattaa liittää testiympäristöihin, ei niinkään yleiseen regulaation purkuun. Sääntelyhiekkalaatikoiden arvo realisoituu vasta, kun ne palvelevat konkreettisia kokeiluja ja tuottavat tietoa toimivuudesta, turvallisuudesta ja hyväksyttävyydestä, jonka pohjalta käyttöönottoa voidaan skaalata.

4. Rahoitus

Erityisesti murrosteknologioissa teknologiainfrastruktuurien investointitarpeet ovat suuria ja yksityinen rahoitus on usein varovaista. Lisäksi käytön aikaiset operatiiviset kustannukset voivat olla merkittäviä ja käyttäjäsitoumukset ovat epävarmoja. Julkisen rahoituksen tehtävä on jakaa riskiä ja houkutella yksityistä pääomaa mukaan.

- Yhdistelmärahoituksen käytännöt tarjoavat mahdollisuuden yksityisten investointien "vivuttamiseen".



- T&k-rahoituksen lisäksi tarvetta on myös teollisten investointien skaalaamiseen, joissa julkinen rahoitus voi toimia sitouttamiskeinona erityisesti mittakaavaintensiivisten teknologioiden skaalaamiseen.

5. Kysyntälähtöisyyden vahvistaminen

Uuden teknologian soveltamista ja käyttöönottoa voidaan lisätä kysyntälähtöisillä toimilla.

- Teollisen kysynnän aktivointi ja tukeminen on mahdollista mm. käynnistämällä potentiaalisia käyttäjiä ja sidosryhmiä osallistavia ja vuorovaikutteisia ennakkointiprosesseja.
- Julkisen sektorin kehitystarpeet tulisi valjastaa varhaisen vaiheen asiakaskysynnäksi murroksellisille teknologioille. Valtion viranomaisten, julkisten tutkimusorganisaatioiden, kuntien ja hyvinvointialueiden kehitystarpeet voivat luoda uuden teknologian asiakaslähtöisiä kokeiluja ja edesauttaa teknologiaan pohjautuvan uuden liiketoiminnan kysyntälähtöistä skaalautumista.
- Tarkoitukseen olisi tarpeen perustaa esikaupallisten hankintojen ohjelma, joka tukisi hallinnonalojen strategisten painotusten mukaisten t&k-hankintojen toteutusta. Se täydentäisi Business Finlandin jo tällä hetkellä tarjoamaa innovatiivisten julkisten hankintojen rahoitusta. Keskeistä olisi hallinnonalojen kehittämisstrategioiden ja teknologiatiekarttojen mukaisiin tarpeisiin kohdistuvat esikaupalliset hankinnat. Mm. puolustus, kokonaisturvallisuus, terveys, liikenne, energia ja luonnonvarat olisivat tähän soveltuvia aloja. Niiden piiristä löytyy isoja kehityshaasteita, joihin murrokselliset teknologiat voivat tuoda ratkaisuja.



Lähdeviitteet

- Agrawal, A., Gans, J.S. & Goldfarb, A. 2023. Similarities and Differences in the Adoption of General Purpose Technologies. National Bureau of Economic Research. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w30976/w30976.pdf
- Andrews, D., Criscuolo, C., Gal, P. 2015. Frontier firms, technology diffusion and public policy: micro evidence from OECD countries. OECD, Paris.
- Aschhoff, B., Crass, D., Cremers, K., Grimpe, C., Rammer, C. 2010. European competitiveness in key enabling technologies. Centre for European Economic Research (ZEW), Mannheim.
- Bekar, C., Carlaw, K., & Lipsey, R. 2018. General purpose technologies in theory, application and controversy: A review. *Journal of Evolutionary Economics*, 28, 1005–1033.
- Berger, M., Dechezleprêtre, A., Fadic, M. 2024. What is the role of government venture capital for innovation-driven entrepreneurship. OECD, Paris. <https://doi.org/10.1787/6430069e-en>
- Bloom, N., Lucking, B. & Van Reenen, J. 2022. Tax Incentives for Research & Development: Policy Design and Evidence. National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/system/files/chapters/c15156/c15156.pdf>
- Boekholt, P., Borrás, S., Könnölä, T., Mulgan, G., & Polt, W. (2024). Breaking down walls and building new bridges: The whole of government approach in research & innovation. European Union. <https://doi.org/10.2777/24409>
- Bonvillian, W. 2018. DARPA and its ARPA-E and IARPA clones: a unique innovation organization model. *Industrial and Corporate Change* 27 (5), 897-914. <https://doi.org/10.1093/icc/dty026>
- Bonvillian, W., van Atta, R., Windham, P. 2019. The DARPA model for transformative technologies. Open Book Publishers. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23446>
- Borrás, S., Edquist, C. 2019. The choice of innovation policy instruments, in *Holistic Innovation Policy*. Oxford University Press.
- Boschmans, K., Van de Velde, E. (Eds.) 2024. *Policy Landscape Supporting Technology Infrastructures in Europe. Final report – Annex III.9 - Country Report Finland*. Publications Office of the European Union.
- Bray, M., Lee, J. 2000. University revenues from technology transfer: Licensing fees vs. equity positions. *Journal of Business Venturing*, 15(5), 385–392.
- Bresnahan, T.F. & Trajtenberg, M. 1995. General purpose technologies ‘Engines of growth’? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83–108. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
- Calvino, F., Haerle, D., Liu, S. 2025. Is generative AI a general-purpose technology? Implications for productivity and policy. OECD, Paris.
- Cantner, U., Hölzle, K., Bertschek, I., Bonin, H., Häussler, C., Requate, T. 2022. Commission of Experts for Research and Innovation (EFI), report 2022.
- Carleton, T., Cockayne, W. 2023. Inspired by DARPA: a global comparison of radical innovation government agencies. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-36224-8_3
- CESAER. (2025, June 27). *An integrated European ecosystem for research and technology infrastructures*. CESAER Position Paper. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15746284>



- Clausen, M., Opmeer, T., Piotrowski, A., Russo, M. C., Szeptycki, A., Valero, J., Fischer, A., Forneris, J., Gottberg, M., Migueis, R., Suleau, M., Björnalm, M., Skentelbery, C., Wågen, W., Blandini, A., McDonagh, B., Mengel, S., Nakari-Setälä, T., Nielsen, U. G., Babinski, A., Hrušák, J., La Rosa, S., Markova, P., & Rivera Mendoza, E. 2025. *Technology Infrastructures: A Strategic Asset for European Competitiveness – Conference Report, 6-7 May 2025, Warsaw, Poland*. (D. Sobczak, Ed.). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/8029491>
- Cornelli, G., Doerr, S., Gambacorta, L., Merrouche, O. 2024. Regulatory sandboxes and fintech funding: evidence from the UK. *Review of Finance* 28 (1), 203–233. <https://doi.org/10.1093/rof/rfad017>
- Correa, P., Andres, L., Borja-Vega, C. 2013. The impact of government support on firm R&D investments: a meta-analysis. The World Bank.
- Crafts, N. 2021. Artificial intelligence as a general-purpose technology: an historical perspective. *Oxford Review of Economic Policy*, 37(3), 521–536. <https://doi.org/10.1093/oxrep/grab012>
- Criscuolo, C., Gonne, N., Kitazawa, K., Lalanne, G. 2022. An industrial policy framework for OECD countries: old debates, new perspectives. OECD, Paris.
- Cunningham, P., Edler, J., Flanagan, K., Laredo, P. 2013. Innovation policy mix and instrument interaction: a review. Nesta Working Paper 13/20.
- DAFSHE 2018. Research2025 – Promising future research areas, Danish Agency for Science and Higher Education.
- David, P. 1990. The dynamo and the computer: An historical perspective on the modern productivity paradox. *The American Economic Review*, 80(2), 355–361. <http://www.jstor.org/stable/2006600>
- David, P., Wright, G. 1999. General purpose technologies and surges of productivity. University of Oxford. <https://www.nuff.ox.ac.uk/economics/history/paper31/a4.pdf>
- Djakonoff, V., Ojanen, A., Sarkia, K., Uitto, H., Salminen, V., Hakenen, E., Carpén, J. 2024. Teknologianeutraliteetti ja yhteiskunnan strategiset tavoitteet tutkimus- ja innovaatiopolitiikassa. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-332-6>
- Edström, A 2025. Report: Towards a Swedish quantum ecosystem, ver 1.1. RISE.
- Edström, A., Wizenburg, S. 2022. INIT: inventering av nationell och internationell testbäddskapacitet. Rapport, version 1.0, 24 oktober 2022.
- EIB 2025. European Investment Bank, Unlocking innovation – Addressing the funding needs of EU technology infrastructures, European Investment Bank, 2025, <https://data.europa.eu/doi/10.2867/6078045>
- EUDP 2020. Energy Technology Development and Demonstration Programme and Green Labs DK – Strategy 2020-2030.
- European Commission 2019. *Commission Staff Working Document: Technology Infrastructures*. SWD(2019) 158 final.
- European Commission 2023. Recommendation on critical technology areas for the EU's economic security. Commission Recommendation 3.10.2023, C(2023) 6689 final.



- European Commission 2023a. *Open innovation test beds – Improving access to knowledge to accelerate European innovation*. European Health and Digital Executive Agency and CORDIS. Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2830/251450>
- European Commission 2023b. *Open innovation test beds for advanced materials – Examples and lessons learnt from one type of technology infrastructure*. Directorate-General for Research and Innovation. Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/28908>
- European Commission 2024. Policy landscape supporting technology infrastructures in Europe – Executive summary- Directorate-General for Research and Innovation. Publications Office of the European Union, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/49618>
- European Commission 2025a. User needs for technology infrastructures – Analytical report. Directorate-General for Research and Innovation. Publications Office of the European Union, 2025, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/4186567>
- European Commission 2025b. Towards a European policy for technology infrastructures – Building bridges to competitiveness. Directorate-General for Research and Innovation. Publications Office of the European Union, 2025, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/0876395>
- European Commission 2025c. *Commission Staff Working Document Accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions: The EU Startup and Scaleup Strategy*. SWD(2025) 138 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0270>
- European Commission 2025d. Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing Horizon Europe, the Framework Programme for Research and Innovation, for the period 2028-2034 laying down its rules for participation and dissemination and repealing Regulation (EU) 2021/695. Directorate-General for Research and Innovation. COM/2025/543 final. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025PC0543
- European Commission 2025e. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions: A European Strategy on Research and Technology Infrastructures*. COM(2025) 497 final. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0497R\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0497R(01))
- Falck, O., Falk, S. 2024. Focus on critical key technologies: the race for leadership in industry and technology policy. EconPol Forum 25 (3), 42-46. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/298824/1/1891150405.pdf>
- Feldman, M., Feller, I., Bercovitz, J., Burton, R. 2002. Equity and the technology transfer strategies of American research universities. Management Science 48 (1), 105-121.
- Forskningsalliance 2021. Behov for at styrke Danmark som grønt testland. <https://ida.dk/media/8213/forskningsalliance-anbefalinger-dk-som-testland.pdf>
- Fuchs, E. 2011. DARPA does Moore's law: the case of DARPA and optoelectronic interconnects. Teoksessa Block & Keller (toim.), State of Innovation. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315631905-8/darpa-moore-law-erica-fuchs>



- GAO 2015. Defense Advanced Research Project Agency: Key factors drive transition of technology, but better training and data dissemination can increase success. <https://www.gao.gov/assets/gao-16-5.pdf>
- Guzman, R. 2025. *Financing Europe's research and technology infrastructure strategy*. Science|Business.
- Guzman, R. 2025. *Horizon co-financing plan for research infrastructures is welcome, but challenges remain*. Science|Business.
- Guzman, R. 2025. *EU ambition for technology infrastructures has €13-16B price tag, study finds*. Science|Business.
- GTS 2017. Den teknologiske videnbro: nu og i fremtiden i fremtiden, GTS-foreningen.
- GTS 2020. Grøn omstillingi dansk erhvervsliv, GTS-foreningen.
- Hegerty, S., Kowalski, A., Lewandowska, M. 2022. Complementarity of additionalities resulting from European Union funds: perspective of the users of research infrastructures. Review of Policy Research 40 (2), 307-331. doi.org/10.1111/ropr.12480
- Hogendorn, C., Frischmann, B. 2020. Infrastructure and general purpose technologies: a technology flow framework. European Journal of Law and Economics, 50, 469–488. <https://doi.org/10.1007/s10657-020-09642-w>
- Holmgren, M. 2024. Murrokselliset teknologiat: teknologisen kehityksen dynamiikka ja kansallinen varautuminen. Ulkopoliittinen instituutti, Helsinki.
- Howell, S. 2017. Financing innovation: evidence from R&D grants. American Economic Review 107 (4), 1136–64.
- Høst, G. 2025. Nordic quantum technology research co-operation. NordForsk.
- Jakobsen 2020. Building a Nordic innovation ecosystem around technology infrastructures and testbeds: A feasibility study of Nordic testbeds collaborations. Danish Technological Institute. ISBN 978-87-91461-57-6.
- John, N., Wesseling, J., Worrell, E., Hekkert, M. 2022. How key enabling technologies' regimes influence sociotechnical transitions: The impact of artificial intelligence on decarbonization in the steel industry. Journal of Cleaner Production 370, 133624. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133624>
- Juhász, R., Lane N., Rodrik, D. 2023. The new economics of industrial policy. *Annual Review of Economics* 16, 213-242.
- Kelly, É. 2023. *What's in a name? MEP to demand definition of technology infrastructures*. Science|Business.
- Kilkki, K., Mäntylä, M., Karhu, K., Hämmäinen, H., Ailisto, H. 2018. A disruption framework. Technological Forecasting and Social Change 129, 275-284. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.034>
- Kohl, J., Lehto, J. 2026. Suomi tarvitsee rohkean muutoksen: USA:lla on radikaalin yksinkertainen malli. Kauppalehti 5.1.2026. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/a/d488e631-4e47-4d40-9121-7bd1141054a4>



- Konstari, P., Pursula, P. 2025a. A semiconductor fab is essential for advancing Finland's economic growth. VTT blog 26 August 2025. <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/semiconductor-fab-essential-advancing-finlands-economic-growth>
- Konstari, P., Pursula, P. 2025b. VTT Blog 22 September 2025. Making the Nordic countries a pioneer in microelectronics. <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/making-nordic-countries-pioneer-microelectronics>
- Konstari, P., Pursula, P. 2025c. The shared-use cleanroom in Otaniemi is a globally unique operating model. VTT blog 4 November 2025. <https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/shared-use-cleanroom-otaniemi-globally-unique-operating-model>
- Koski, H. 2022. The design of R&D tax incentive schemes and firm innovation. ETLA. <https://www.etla.fi/julkaisut/the-design-of-rd-tax-incentive-schemes-and-firm-innovation/>
- Kundu, O., Uyarra, E., Ortega-Argiles, R., Tirado, M., Kitsos, T., Yuan, P. 2025. Impacts of policy-driven public procurement: a methodological review. *Science and Public Policy*, 2025, 52, 50–64. <https://doi.org/10.1093/scipol/scae058>
- Lerner, J. 2002. When bureaucrats meet entrepreneurs: the design of effective public venture capital programmes. *The Economic Journal* 112: F73–F84. <https://doi.org/10.1111/1468-0297.00684>
- Meissner, D., Kergroach, S. 2021. Innovation policy mix: mapping and measurement. *Journal of Technology Transfer* 46, 197–222.
- Millot, V., Rawdanowicz, L., Sauvage, J., van Lieshout, E. 2025. The market implications of industrial subsidies. OECD, Paris.
- Montresor, S., Quatraro, F. 2017. Regional branching and key enabling technologies: evidence from European patent data. *Economic Geography*, 93(4), 367–396. <https://doi.org/10.1080/00130095.2017.1326810>
- Novo Holdings 2025. Novo Holdings Quantum Investments.
- NQCIS 2025. National Quantum Communication Infrastructure in Sweden. Milestone Report. MS5 – Interim Report 2.
- OECD 2024. R&D Tax Incentives. OECD Policy Overview. <https://www.oecd.org/en/topics/r&d-tax-incentives.html>
- Pajarinen, M., Ylä-Anttila, P., Rouvinen, P. 2007. Verokannustimet innovaatiopolitiikan välineenä. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 103 (4), 484–494. <https://www.taloustieteellinenyhdistys.fi/images/stories/kak/kak42007/kak42007pajarinen.pdf>
- Pelkonen, A. 2025. Suomi globaalissa tiede- ja innovaatiokilpailussa – Mitä kansainväliset innovaatio- ja kilpailukykyvertailut kertovat? *Kansantaloustieteellinen aikakauskirja*. <https://journal.fi/kak/article/view/163771>
- Ramahandry, T., Bonneau, V., Bani, E., Vlasov, N., Flickenschild, M., Batura, O., Tcholtchev, N., Lämmel, P., Boerger, M. 2021. Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty. European Parliament.
- Ramboll 2022. Danmarks kapacitet som testland: En kortlægning af barrierer og muligheder.



- Rodríguez, A. 2025. Technology Convergence: Pushing European innovation forward. Sitra Working Paper, October 2025. https://www.sitra.fi/wp-content/uploads/2025/10/32773223_Technological_convergence_web-1.pdf
- Rodrik, D. 2004. Industrial policy for the twenty-first century. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=666808>
- Romasanta, A., Ahmadova, G., Wareham, J., Priego, L. 2022. Deep Tech: Unveiling the Foundations. ESADE Working Papers. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4009164
- Romme, A. 2022. Against All Odds: How Eindhoven Emerged as a Deeptech Ecosystem. Systems 10(2), 119. <https://www.mdpi.com/2079-8954/10/4/119>
- Rotolo, D., Hicks, D., Martin, B. 2015. What is an emerging technology? Research Policy 44 (10), 1827-1843.
- RTI Summit 2025. A Research and Technology Infrastructures Ecosystem for Breakthrough Science and Innovation. 22-23 October 2025 Scandic Copenhagen, Denmark. <https://www.rti-summit2025.dk/>
- Soot, A., Tellis, G. 2011. Demystifying disruption: a new model for understanding and predicting disruptive technologies. Marketing Science 30 (2), 339-354. <https://doi.org/10.1287/mksc.1100.0617>
- Startup-yhteisö 2025. Suomen Startup-yhteisö tyrmää EK:n esityksen massiivisista veroalennuksista. Tiedote 6.2.2025. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70883079/suomen-startup-yhteiso-tyrmaa-ekn-esityksen-massiivisista-veroalennuksista?publisherId=69818937&lang=fi>
- Suominen, A. 2026. Islands of innovation: a comparative reflection on industrial policy, access to talent, and technology sovereignty. VTT Policy Brief. <https://doi.org/10.32040/PolicyBrief/2026/Islands-of-Innovation>
- Teece, D.J. 2017. Dynamic Capabilities and (Digital) Platform Lifecycles. In Entrepreneurship, Innovation, and Platforms. Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/S0742-332220170000037008>
- Teknikföretagen & RISE 2021. Testbäddar för industriell digitalisering: en kartläggning av behov och befintliga miljöer, Rapport 210211.
- Teknikföretagen 2024. Teknikföretagens inspel till forsknings- och innovations – propositionen.
- Teknologiaollisuus 2025. Chips from the North: Semiconductor Strategy for Finland. <https://teknologiaollisuus.fi/wp-content/uploads/2024/09/Chips-from-the-North-Semiconductor-Strategy-for-Finland.pdf>
- The Finnish Innovation Fund Sitra, Technology Industries of Finland, & VTT, Technical Research Center of Finland. 2025. *Critical Digital Tech from Finland: Driving Growth and Security in Europe*.
- Tulanet 2025. The new EU Research and Technology Infrastructure Strategy support national infrastructure policy – reforms in funding and programs are needed: The new EU Research and Technology Infrastructure Strategy support national infrastructure policy – reforms in funding and programs are needed. 21.11.2025. <https://tulanet.fi/uutinen/the-new-eu-research-and-technology-infrastructure-strategy-support-national-infrastructure-policy-reforms-in-funding-and-programs-are-needed/>



- Tuovinen, J. 2025. Reinventing the Finnish ecosystem to support the Chips Act targets. Innovations News Network, 27 February 2025. <https://www.innovationnewsnetwork.com/reinventing-the-finnish-ecosystem-to-support-the-chips-act-targets/55883/>
- UMF 2023a. Strategy for Quantum Technology: Part 1 – World-Class Research and Innovation. Uddannelses- og Forskningsministeriet – Danish Ministry of Higher Education and Science. ISBN: 978-87-93807-66-2.
- UMF 2023b. Strategy for Quantum Technology: Part 2 – Commercialisation, Security and International Cooperation. Uddannelses- og Forskningsministeriet – Danish Ministry of Higher Education and Science. ISBN: 978-87-94224-57-4.
- Valtioneuvosto 2025. <https://valtioneuvosto.fi/tutkimus-ja-innovaationeuvosto/teki-toiminnan-strategiset-valinnat>
- Valtioneuvosto 2024. Puolustusselonteko. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/items/285418f7-a233-49ee-b994-300641347c32>
- Vasara, A. 2026. European quantum start-ups are already delivering – How do we turn them into an industry? EUREporter. <https://www.eureporter.co/technology/2026/01/12/european-quantum-start-ups-are-already-delivering-how-do-we-turn-them-into-an-industry/>
- Villacorta, N. 2024. *D3.1.: Governance model options for TIs at European level*. RITIFI Project, Grant Agreement Number: 101095267.
- Vinnova 2023. Swedish Quantum Agenda. ISBN: 978-91-987943-6-6.
- Viscido, S., Strauka, O., Coroler, E. 2024. *Policy landscape supporting Technology Infrastructures in Europe: Final report*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/504517>
- Wallin, A., Apilo, T. 2025. Nordic-Baltic Quantum Ecosystem: Overview of the quantum technology landscape across the Nordic and Baltic region. Nordic Innovation.
- Wessendorf, C., Kopka, A., Fornahl, D. 2021. The impact of the six European Key Enabling Technologies (KETs) on regional knowledge creation. Utrecht University. <http://econ.geo.uu.nl/peeg/peeg2127.pdf>
- Yerger, R. 2024. A case study on DARPA: an exemplar for government strategic structuring to foster innovation? Teoksessa Henrekson, Sandström & Stenkula (toim.): Moonshots and the new industrial policy. Springer.

Certificate Of Completion

Envelope Id: 117662A0-388F-4134-BD84-AA5B75A0E40A		Status: Completed
Subject: Complete with Docusign: Investointikannusteet Raportti Final_Signed		
Source Envelope:		
Document Pages: 59	Signatures: 1	Envelope Originator:
Certificate Pages: 1	Initials: 0	Jessica Vepsäläinen
AutoNav: Enabled		Tekniikantie 21, Espoo
Envelopeld Stamping: Enabled		.. , P.O Box1000, FI-0204
Time Zone: (UTC+02:00) Helsinki, Kyiv, Riga, Sofia, Tallinn, Vilnius		Jessica.Vepsalainen@vtt.fi
		IP Address: 188.67.152.111

Record Tracking

Status: Original	Holder: Jessica Vepsäläinen	Location: DocuSign
27 March 2026 09:41	Jessica.Vepsalainen@vtt.fi	

Signer Events

Kirsi Hyytinen
kirsi.hyytinen@vtt.fi
Security Level: Email, Account Authentication (None), Authentication

Signature

Signed by:


CE12C7B00E5145C...

Signature Adoption: Pre-selected Style
Using IP Address: 91.154.6.171

Timestamp

Sent: 27 March 2026 | 09:44
Viewed: 27 March 2026 | 09:46
Signed: 27 March 2026 | 09:46

Authentication Details

SMS Auth:
Transaction: 31765054-b72d-45b2-add6-0f6cca2caa92
Result: passed
Vendor ID: TeleSign
Type: SMSAuth
Performed: 27 March 2026 | 09:46
Phone: +358 40 5818495

Electronic Record and Signature Disclosure:
Not Offered via Docusign

In Person Signer Events	Signature	Timestamp
Editor Delivery Events	Status	Timestamp
Agent Delivery Events	Status	Timestamp
Intermediary Delivery Events	Status	Timestamp
Certified Delivery Events	Status	Timestamp
Carbon Copy Events	Status	Timestamp
Witness Events	Signature	Timestamp
Notary Events	Signature	Timestamp
Envelope Summary Events	Status	Timestamps
Envelope Sent	Hashed/Encrypted	27 March 2026 09:44
Certified Delivered	Security Checked	27 March 2026 09:46
Signing Complete	Security Checked	27 March 2026 09:46
Completed	Security Checked	27 March 2026 09:46
Payment Events	Status	Timestamps