

## SELETUSKIRI

### Vabariigi Valitsuse otsuse juurde „Eesti seisukohad Euroopa kvanttehnoloogia strateegia kohta“

Euroopa Komisjon avaldas 2. juulil 2025 kvantstrateegia, mille eesmärk on tugevdada Euroopa Liidu positsiooni kiiresti arenevas kvanttehnoloogia valdkonnas. Strateegia seab sihiks Euroopa Liidu positsioneerimise globaalse liidrina, ühendades tipptasemel teaduse, innovatsiooni ja ettevõtluse, et viia kvanttehnoloogiad laboritest reaalse majandusliku ja ühiskondliku väärtuseni.

Strateegia jaguneb viieks peamiseks suunaks: teadus ja innovatsioon; kvantinfrastruktuurid; kvantökosüsteemi tugevdamine; kosmose- ja kahese kasutusega kvantlahendused ning kvantoskused. Fookuses on teaduse ja tööstuse sidumine, turvaliste ja sõltumatute tehnoloogiate arendamine ning Euroopa tehnoloogilise suveräänsuse tugevdamine.

Strateegia toetab Eesti julgeoleku- ja küberturvalisuse poliitilisi sihte ning on kooskõlas Eesti teadus- ja arendustegevuse, innovatsiooni ning ettevõtluse arengukava (TAIE 2021-2035) eesmärkidega.

**Eesti olulisemad seisukohad** käsitlevad järgmisi aspekte:

**Arengu ja riskide tasakaal** – kvanttehnoloogiate arendamisel tuleb samaaegselt edendada innovatsiooni ja maandada sellega kaasnevaid riske, eriti krüptograafia ja kriitilise taristu kaitse vallas.

**Koostöö ja spetsialiseerumine** – liikmesriigid peavad vältima dubleerimist ja keskenduma oma tugevatele kompetentsialadele, looma ühtsed standardid ja efektiivsed koostööplatvormid.

**Hariduse ja oskuste arendamine** – Eesti toetab EL Kvantoskuste Akadeemia loomist ja näeb vajadust luua ja arendada haridusprogramme, mis katavad kogu kvantoskuste spektri.

Kvantstrateegia rakendamine loob Eestile võimaluse panustada tipptasemel arendustegevusse, suurendada kõrge lisandväärtusega töökohtade arvu ning tugevdada teaduse, ettevõtluse ja riigi kaitsevõime seoseid. See eeldab sihipärast tegutsemist nii riiklikul kui ka EL tasandil, tagades, et investeeringud oleksid suunatud kõrgeima mõjuga valdkondadesse.

## Sissejuhatus

Euroopa Komisjon avaldas 2. juulil 2025. aastal kvanttehnoloogia strateegia, mille eesmärk on tugevdada Euroopa Liidu (edaspidi EL) rolli ja konkurentsivõimet kiiresti arenevas kvanttehnoloogia valdkonnas nii teaduse, tööstuse kui ka julgeoleku seisukohalt. Strateegia võtab sihiks EL positsioneerimise globaalse liidrina, kes suudab edukalt ühendada teaduse, innovatsiooni ja ettevõtluse arengu, et viia kvanttehnoloogiat teoreetilisest teadustööst reaalseks majanduslikuks ja ühiskondlikuks väärtuseks.

## Mis on kvantarvuti?

Kvantarvuti ei ole lihtsalt kiirem arvuti, vaid hoopis teistsugune seade, mis kasutab arvutamiseks kvantomadusi, mida tavaline arvuti ei ole võimeline tegema. Kvantarvuti seadmed ise on tavaliselt väga suured ja paigutatakse eraldi ruumidesse. Ka nendele ruumidele on erinõuded, sest kvantarvutite tööks peab olema välistatud igasugune välisest keskkonnast tulenev vibratsioon, elektromagnetiline häiring või muud segavad tegurid. Samuti peab olema kvantarvuti sees absoluutse nulli lähedane temperatuur. Selliseid tingimusi on vaja selleks, et kvantarvuti kubitid (ingl. k. *qubits*) saaksid säilitada oma kvantolekut ja teha keerukaid arvutusi. Kuigi kvantarvutid võivad näida võrreldavad suurte serveritega, ei ole nende töövõimsus mõõdetav ainult voolutarbimise või suuruse järgi. Kvantarvutid töötavad täiesti teise loogika alusel, mis võimaldab lahendada probleeme, mis klassikaliste arvutite jaoks oleksid praktiliselt lahendamatud. Seetõttu ei räägita kvantarvutitest kui „kiiretest“ või „super“ arvutitest, vaid täiesti uut tüüpi arvutusmasinast.

Kvantarvutite arendamine on tänaseks jõudnud etappi, kus need ei ole enam pelgalt teoreetiline kontseptsioon, vaid reaalselt eksisteeriv tehnoloogia. Juba täna pakuvad suured tehnoloogiaettevõtted ja mõned idufirmad pilvepõhist ligipääsu kvantarvutile. Samuti on saadaval ka esimesed käega katustavad tooted (nt IQM, IBM jt). Need seadmed on aga peamiselt suunatud teadusuuringutele, haridusele või väga spetsiifilisele ärikatsetustele. Samuti on juba olemas pilootprojekte, näiteks liiklusvoogude optimeerimine või molekulide modelleerimine. Kvantarvutid suudavad lahendada teatud keerukaid ülesandeid palju kiiremini kui klassikalised arvutid. Samas võib see omadus teoreetiliselt ohustada tulevikus tänapäevaseid krüpteerimismeetodeid, mis muidu annavad meile julguse ja kindluse digimaailmas toimetamiseks. Seetõttu tuleb juba praegu mõelda, kuidas tulevikus meie andmeid ja infosüsteeme kaitsta.

## Kuidas kvantarvuti töötab?

Kvantarvutid kasutavad uut tehnoloogiat, milleks on kubitid. Erinevalt klassikalistest bittidest, mis saavad olla kahes olekus (üldjuhul 0 või 1), võivad kubitid eksisteerida samaaegselt mitmes olekus ehk superpositsioonis ning olla omavahel seotud viisil, kus ühe olek mõjutab viivitamatult teist kubitit ehk põimitult. See annab kvantarvutitele tohutu arvutusvõimsuse, kuid samas muudab need väga ebastabiilseks. Sajad või tuhanded füüsilised kubitid tuleb keerukate veaparandusmeetoditega koondada loogilisteks kubititeks, mida saab reaalselt arvutustes kasutada. Näiteks hinnatakse, et praegu kasutusel olevat algoritmi 2048-bitise RSA krüptogrammi murdmiseks kulub umbes miljon loogilist kubitti. Kuigi kvantarvutid on praegu veel lapsekingades ja nende ehitamine nõuab ülimalt keerulisi ja kalleid tingimusi, on nende potentsiaal tohutu.

## Postkvantkrüptograafia

Selle mõiste all mõistetakse krüpteerimisalgoritme, mis taluvad tulevikus kvantarvutite rünnakuid. Nende eesmärk on tagada, et ka siis, kui kvantarvutid muutuvad piisavalt võimsaks tänaste krüptosüsteemide murdmiseks, jäävad meie andmed kaitstuks. Eesti e-riik koos paljude

teiste riikidega valmistub juba täna üleminekuks kvantkindlatele lahendustele, et tagada digitaalse ühiskonna turvalisus ka uues tehnoloogilises ajastus.

Tänaused krüpteerimismeetodid, nagu RSA või elliptilised kõverad, tuginevad matemaatilistele probleemidele, mida tavalised arvutid ei suuda mõistliku aja jooksul lahendada. Kvantarvutid aga suudavad osa neist probleemidest lahendada palju kiiremini, näiteks Shori algoritmiga saab suuri arve faktoriseerida eksponentsiaalselt kiiremini. Seetõttu tuleb juba praegu arendada ja võtta kasutusele turvalisi lahendusi, et aastakümnete pärast meie andmed ikka kaitstud oleksid.

### **Kvanttehnoloogiate mõju**

Eeldatavalt saab kvanttehnoloogiate mõju olema paljudes valdkondades murranguline – näiteks farmaatsias ja keemias võib kvantarvutus aidata avastada uusi ravimeid ja keemilisi aineid; energeetikas võib see viia uute akumaterjalide ja kõrgetemperatuuriliste ülijuhtide loomiseni. Samuti peitub kvantarvutuses suur potentsiaal finantssektori ja logistika arendamiseks. Lisaks suudavad kvantarvutid lahendada eeltoodud valdkondade väljakutseid oluliselt kiiremini ja energiatõhusamalt kui klassikalised superarvutid.

Kvanttehnoloogiate üks suurimaid väljakutseid on nende mõju tänapäevasele krüptograafiale (andmete kaitsmisele, loetamatuks muutmisele), sest kasutusel olevad krüptograafilised algoritmid võivad muutuda kvantarvutite abil ebaturvaliseks. See tähendab, et seni kaitstud andmed, näiteks isiku-, finants- ja terviseandmed, samuti riiklikult salastatud teave, võivad olla tulevikus dekrüpteeritavad ja kolmandate osapooltele ligipääsetavad. Seetõttu on oluline alustada juba praegu vastumeetmete rakendamist, et ennetada potentsiaalseid tulevasi ohte.

Selleks tuleb Eestis hoida ja kasvatada ekspertiisi postkvantkrüptograafia (PQC) lahenduste ja kvantvõtmejaotuse (QKD) tehnoloogiate osas, mis on vastupidavad ka kvantarvutite potentsiaalsele ründe-võimekusele. Postkvantkrüptograafilised ehk kvantkrüptograafiale vastupidavad algoritmid tagavad turvalisuse uute arvutuslike meetoditega. Kvantvõtmejaotuse tehnoloogia aluseks on kvantfüüsika põhimõtted, mis pakuvad kõrgematasemelist turvalisust, võimaldades andmevahetust viisil, milles kõrvalistel osalistel on tänaste teadmiste juures võimatu andmeid pealt kuulata. QKD lahendused saavad olema eriti vajalikud tundlikes valdkondades nagu julgeolek, pangandus ja tervishoid, kus andmete terviklikkus ja turvalisus on kriitilise tähtsusega. PQC ja QKD näol on tegu kahe arengujärgus ja tulevikus tõenäoliselt teineteist täiendava tehnoloogiaga, mistõttu tuleb Eestil hoida ja aktiivselt arendada oskusteavet mõlemast.

Euroopa Liit ja liikmesriigid on viimastel aastatel teinud suuri investeeringuid ja edusamme kvanttehnoloogiate arendamisel, kuid seni on jäänud puudu ühtsest suunast, kuidas muuta teadussaavutused praktilisteks lahendusteks, mis aitaksid tugevdada majandust, julgeolekut ja tehnoloogilist suveräänsust. ELi tegevuste kõrval on liikmesriigid arendanud ka oma siseriiklike kvantinistiatiive, mille tõttu on kohati ELis kvanttehnoloogia valdkonna tegevused killustunud. Killustatus ei luba täiel määral ära kasutada ELi potentsiaali valdkonnas globaalse tipptaseme saavutamiseks. ELi uue kvantstrateegia üks eesmärgi on paremini koordineerida liikmesriikide vahelisi tegevusi, et kiiremini ja tõhusamalt liikuda teadusest toimivate teenuste ja toodeteni.

Strateegia aitab koondada jõupingutused ja suunata investeeringud sinna, kus on neist kõige enam kasu - näiteks turvalisemad sideühendused, täpsem tehnoloogia meditsiinis või uued võimalused tööstuses ja energeetikas. Eestile on see oluline, kuna majandus ja turvalisus sõltuvad üha enam digilahendustest, mida kvanttehnoloogiad võivad tulevikus märkimisväärselt täiustada.

Peamine mõju, mida EL kvanttehnoloogia strateegia Eestile avaldab, on võimalus olla osa tipptasemel arendustööst, luua uusi töökohti kõrge lisandväärtusega sektorites ja suurendada meie teadlaste ja ettevõtete rahvusvahelist konkurentsivõimet. Strateegia aitab tugevdada Eesti tehnoloogilist sõltumatust ja julgeolekut ning valmistuda tulevikuks, kus kvanttehnoloogiad on lahutamatu osa igapäevaelust.

Komisjon plaanib 2026. aastal avaldada ka kvanttehnoloogiate seadusakti.

Vabariigi Valituse otsuse eelnõu ja seletuskirja koostasid Justiits- ja Digiministeeriumi riikliku küberturvalisuse osakonna tehnoloogia nõunik Kristina Kivisild ([kristina.kivisild@justdigi.ee](mailto:kristina.kivisild@justdigi.ee)) ja Euroopa Liidu asjade ja väliskoostöö juht Kristiina Krause ([kristiina.krause@justdigi.ee](mailto:kristiina.krause@justdigi.ee)). Valdkonna eest vastutab digitaristu ja küberturvalisuse asekancler Tõnu Grünberg ([tonu.grunberg@justdigi.ee](mailto:tonu.grunberg@justdigi.ee)).

## Strateegia sisu ja võrdlev analüüs

Euroopa Komisjoni kvanttehnoloogiate strateegia jaguneb 5 sisuliseks suunaks:

- 1. Teadus ja innovatsioon** – Tipptasemel spetsialistide koondamine kogu Euroopas, et olla juhtpositsioonil kvantteaduses ja selle tööstuslikus rakendamises. Sealjuures jagunevad tegevused kolmeks alamvaldkonnaks:
  - a. Fundamentaalteaduse toetamine nii kvantarvutite, -side kui ka -sensorite valdkondades;
  - b. laborist tootmisesse algatused, mille eesmärk on jõuda teadustööst turuküpsete toodete ja teenusteni;
  - c. rakendused ja kasutusjuhud, kus keskendutakse kvantrakenduste arendamisele ja nende kasutuselevõtule olulistest sektorites.
- 2. Kvantinfrastruktuurid** – Koordineeritud taristu arendamine avalike vahendite toel, et toetada innovatsiooni ja oskuste arendamist. Taristut soovitakse arendada kvantarvutite ja -simulatsiooni, kvantside ning kvantsensorite valdkondades.
- 3. Euroopa kvantökosüsteemi tugevdamine** – Investeeringud idufirmadesse, tarneahelate kindlustamine ja kvanttehnoloogiate tööstusliku kasutuselevõtu toetamine.

4. **Kvanttehnoloogiad kosmoses ja kahese kasutusega kvantlahendused** – Turvaliste ja sõltumatute kvantvõimekuste integreerimine Euroopa kosmose-, julgeoleku- ja kaitsepoliitikasse.
5. **Kvantoskused** – Tegevuste koordineerimine, mis aitavad tagada mitmekesise ja tiptasemel järelkasvu läbi hariduse, koolituste ja talentide liikuvuse kogu Euroopa Liidus.

Strateegia on kooskõlas Eesti Vabariigi põhiseadusega. Toetab ja tugevdab teaduse, tehnoloogia ja innovatsiooni arengut, mis on otseselt kooskõlas Eesti teadus- ja arendustegevuse, innovatsiooni ning ettevõtluse arengukavaga (TAIE 2021-2035). Arengukava seab sihiks teadmispõhise ühiskonna arendamise, mille keskmes on kõrgetasemeline teadus, tehnoloogiline võimekus ja innovatsioonil põhinev ettevõtlus. Euroopa kvantstrateegia panustab sellesse eesmärki, edendades tiptasemel teadustööd, kvanttehnoloogiate rakendamist ja nendega seotud oskuste ja taristu arengut.

Lisaks on strateegia kooskõlas Eesti julgeolekupoliitiliste eesmärkidega. Eelkõige toetab see kvantkommunikatsiooni arendamist ja küberjulgeoleku võimekuste tugevdamist, mis on kasvava olulisusega komponendid nii riigi sisejulgeoleku tagamisel kui ka kriitilise taristu kaitsmisel. Strateegia haakub Eesti osalusega Euroopa kosmose- ja kaitsekoostöö algatustes, võimaldades Eestil senisest enam panustada ühiste julgeolekueesmärkide saavutamisse ning tagada strateegiline autonoomia ka kõrgtehnoloogilistes valdkondades.

Kvanttehnoloogia strateegia on tihedalt seotud Eesti küberturvalisuse strateegiaga “Läbivalt IT-vaatlikum Eesti 2024-2030”. Keskse kohal on riskipõhine lähenemine, tehnoloogiline valmisolek ning kriitilise info- ja kommunikatsioonitaristu kaitse. Eesmärgiks on tugevdada riigi suutlikust ennetada ja hallata keerukaid küberturberiske, sealhulgas neid, mis võivad kaasneda uute ja esilekerkivate tehnoloogiatega, nagu kvantarvutus ja kvantkommunikatsioon. Kvanttehnoloogia strateegia toetab neid eesmärke, edendades kvantturvaliste sidevõrkude arendamist ning postkvant-krüptograafia kasutuselevõttu. See loob aluse usaldusväärsete ja vastupidavate digilahenduste kujundamiseks, mis on vajalikud nii riiklike kui ka ELi tasandi küberturbe eesmärkide saavutamiseks.

### **Vastavus subsidiaarsuse ja proportsionaalsuse põhimõtetele**

Strateegias ning sellega seotud kavandavates algatustes käsitletavat väljakutsed on oma olemuselt riikide ülesed, mistõttu ei ole võimalik nendele probleemidele tõhusalt lahendusi leida üksnes riiklikul tasandil. Vastavalt Euroopa Liidu lepingu artiklis 5 sätestatud subsidiaarsuse põhimõttele on selles strateegiakavas toodud eesmärkide saavutamine mõistlikult ja tulemuslikult tehtav vaid ELi tasandil ning Euroopa Komisjoni juhtimisel. Kuna strateegia keskendub üldistele eesmärkidele ja nende saavutamise suuniste kirjeldamisele, saab konkreetsete meetmete proportsionaalsust ja asjakohasust põhjalikumalt hinnata siis, kui komisjon esitab vastavad seadusandlikud või poliitilised algatused strateegia rakendamiseks.

## **Esialgse mõjude analüüsi kokkuvõte**

### **Mõju majandusele**

Strateegia loob Eestis soodsa pinnase täiesti uue, kõrgtehnoloogilisel teadusel põhineva majandusharu kujunemiseks. Eelkõige toob see kaasa uute võimaluste avanemise teadusmahukatele iduettevõtetele ja süvatehnoloogia *start-up* idele. Rahvusvahelised mõjuanalüüsid on näidanud, et kvanttehnoloogilistest ettevõtetest suuremat majanduslikku mõju võib saavutada, kui võtta kvanttehnoloogilised rakendused kasutusele klassikalisemates majandusvaldkondades nagu logistika või ravimitööstus.

Kuigi kvantarvutid on alles arengufaasis, kasutavad erinevad maailma ettevõtted juba loodud kvantarvutusvõimekust ära näiteks selleks, et luua paremaid akumaterjale elektriautode akudele, leida uuenduslikke ravimeid või parandada logistikaahelaid. McKinsey 2024. aastal tehtud kvanttehnoloogia teemaline analüüs näitab, et nn klassikaliste majandussektorite jaoks võib kvantarvutuse kasutuselevõttust tulenev lisandväärtus ulatuda 0,86-1,73 triljoni euroni aastaks 2035. Enim lisandväärtuse kasvu ennustatakse sealjuures ravimitööstusele, kus see võib ulatuda kuni 17%-ni. Mainitud sektorite ühendavaks tunnuseks on vajadus töödelda suuri andmemahutusi, et leida uuenduslikke lähenemisi.

Seega on kvanttehnoloogia arengust tulenev positiivne mõju Eesti majandusele kahe-suunaline. Esiteks mõju süvatehnoloogilistest ettevõtetest, kes ise kvanttehnoloogilisi tooteid või teenuseid toodavad. Teiseks võimalik mõju, mida omab kvanttehnoloogiliste rakenduste kasutamine klassikalistes majandussektorites.

### **Mõju riigieelarvele**

Strateegia rakendamine toob kaasa võimalused ELi ühisalgatustes osalemiseks (nt EuroHPC, EuroQCI). Riigieelarveline mõju tekib siis, kui Eesti teeb otsuse osaleda mõnes projektis või programmis, millega kaasneb kaasrahastuse kohustus (nt taristu- või teadusprojektid). Teisalt võimaldavad EL rahastusmeetmed võimendada riigieelarvelisi vahendeid EL vahendite toel ning selliselt arendada vajalikku taristut või oskusteavet. Võimalikud EL rahastusallikad saavad olema Euroopa Horisondi ning Digitaalse Euroopa programm.

### **Mõju sotsiaalvaldkonnale**

Strateegia avaldab positiivset ja pikaajalist mõju Eesti haridus- ja teadusvaldkonnale. Kvantoskuste arendamine ning spetsialiseeritud teadlaste ja inseneride koolitamine on oluline teadmispõhises majanduses. Strateegias välja toodud Euroopa Kvantoskuste Akadeemia loomine ja sellega soetud haridusalgatused loovad võimalusi arendada magistri- ja doktoriõppeprogramme kvanttehnoloogia valdkonnas. See omakorda aitab tõsta Eesti teadusasutuste rahvusvahelist konkurentsivõimet ja tugevdada sidemeid tööstuse ja akadeemia vahel, luues tugevama pinnase süvatehnoloogiaid rakendavate ettevõtete edukaks arenguks Eestis. Haridusvaldkonnas toetab strateegia uusi võimalusi teadusmahuka ettevõtluse arendamiseks ning haridusprogrammide algatusteks ja rahastuseks.

## **Mõju riigi julgeolekule ja välissuhetele**

Kvanttehnoloogiatel on oluline strateegiline ja julgeolekupoliitiline tähendus. Nende rakendamine aitab tugevdada küberjulgeoleku võimekust kriitilise taristu ja infosüsteemide kaitsel. Strateegia toetab Eesti osalust EL-i ja NATO julgeolekualastes koostööalgatustes, mis puudutavad kvanttehnoloogiate kasutust kaitsevaldkonnas.

Kvanttehnoloogia on Eestis kui ka Euroopa Liidus alles kujunemisjärgus valdkond, mille areng on pigem algaasis. Valdkond on kiiresti arenev ja suure mõju potentsiaaliga teadus- ja tehnoloogiavaldkond, kuid hetkel on selle mõju erinevatele eluvaldkondadele pigem vähe uuritud. Seetõttu on oluline teha põhjalikum ja valdkondade ülene mõjuanalüüs, mis eelnevalt loetletud punkte põhjalikumalt analüüsiks. Analüüs on vajalik tulevikus strateegia tõhusaks rakendamiseks ning tegevuste strateegiliseks planeerimiseks nii siseriiklikult kui rahvusvaheliselt, et positsioneerida Eesti ja EL kvanttehnoloogiate vallas maailmas esirindele.

## **Eesti seisukohad**

**1. Eesti toetab Euroopa kvantstrateegias toodud eesmärke Euroopa teadusliku ja tööstusliku võimekuse tugevdamiseks, valdkonna killustatuse vähendamiseks ning majanduse konkurentsivõime ja strateegilise autonoomia kasvatamiseks. Peame oluliseks, et strateegia rakendamisel pööratakse tähelepanu ka geograafilisele tasakaalustatusele ning julgeoleku mõõtmele.**

Selgitus: Kvanttehnoloogiad mõjutavad otseselt ning kasvava kaaluga Euroopa julgeolekut ja kaitsevõimet, võimaldades arendada turvalisi kvantside ja küberjulgeoleku lahendusi, satelliitnavigatsiooni sõltumatust ning täppisandureid kriitilise taristu tarbeks. Kuna tegemist on valdkonnaga, kus globaalses konkurentsivõimes määrab edu tehnoloogiline tase, peab Eesti tähtsaks, et EL koordineeriks investeeringuid, muuhulgas kahese kasutusega tehnoloogiatesse ning vähendaks sõltuvust kolmandatest riikidest, tagades seeläbi nii ühisturu konkurentsivõime kui ka liikmesriikide julgeoleku kaitse. Tuleb arvestada, et kahese kasutusega tehnoloogiate laialdasem arendamine toob kaasa keerukamad haldus- ja turvanõuded, sh julgeolekukontroll, IO kaitse ja ekspordikontroll. Et vältida reeglistiku killustatust, on vaja luua selged ja läbivad mehhanismid, kuidas neid aspekte EL tasandil käsitleda.

**2. Kvanttehnoloogiate arendamisel tuleb üheaegselt soodustada kiiret teadus- ja arendustegevust ning innovatsiooni, samal ajal tagades ka riskide varajase tuvastamise, maandamise ja ennetamise, et tehnoloogia areng toimuks turvalisel, usaldusväärsel ja ühiskonnale kasulikul viisil.**

Selgitus: Kvanttehnoloogiate arendamisel on vaja hoida tasakaalu kahe eesmärgi vahel - ühelt poolt soodustada kvanttehnoloogia arengut ja innovatsiooni, teisalt maandada sellega kaasnevaid riske. Kuigi kvanttehnoloogiad avavad uusi ja märkimisväärsed võimalusi

teaduslikes uuringutes, tööstuses ja majanduses, toovad need arengud endaga kaasa ka täiesti uue põlvkonna ohud, eriti infoturbes ja kriitilise taristu kaitses.

Eesti toetab Euroopa Liidu kvanttehnoloogiate strateegias seatud riskide maandamise eesmärke ja peab oluliseks, et strateegia raames kavandatud meetmed oleksid praktilised, rakendatavad ja kooskõlas rahvusvaheliste partnerite seisukohtadega. Samuti toetame kaitsemeetmete väljatöötamist ja rakendamist, mis toimuks paralleelselt tehnoloogia arenguga.

### **3. Tehnoloogiate arendamise kõrval on kvanttehnoloogia puhul tähtis tegeleda praktiliste rakenduste loomisega, mis võimendavad innovaatilise tehnoloogia laiemat majanduslikku mõju.**

Selgitus: Rahvusvahelised analüüsid näitavad, et kvanttehnoloogia suurem mõju majandusele tuleneb kvantarvutuse kasutuselevõtust klassikalistes majandussektorites nagu keemia-, materjali-, finants- või ravimitööstus. Oluline on seetõttu laboris tehnoloogia arendamise kõrval silmas pidada rakenduste arendamist, mis võimaldavad laboris ehitatud tooteid ja teenuseid turule üle kanda ja selliselt saavutada võimalikult suur majanduslik mõju. Samas on pikaajalise edu eelduseks, et paralleelselt rakenduslike arendustega toetatakse järjepidevalt ka alusteadust ja uudishimupõhist teadustööd. Alus-teaduse pidev järelkasv kindlustab pikaajalise ja ettevaatava majandusliku mõju saavutamist.

Rakenduste arendamine, näiteks tarkvaraarendus, mis võimaldab koos toimida klassikalistel ja kvantsüsteemidel, on võimaluseks ka Eesti teadlastele ja ettevõtetele. See ei vaja suuremahulisi investeeringuid taristusse ja samas võimaldab tugineda Eesti aastakümnete pikkusele tarkvaraarendamise kogemusele. Oluline on EL kvantstrateegia rakendamisprotsessis kindlustada, et liikmesriigid saavad sarnaselt ligipääsu kvantarvutusressurssidele, mida pole mõtet arendada igal liikmesriigil eraldi, kuid mis on vajalik tarkvararakenduste testimiseks.

### **4. Liikmesriikide vaheline tihe ja koordineeritud koostöö ning selge spetsialiseerumine konkreetsetele aladele on kvanttehnoloogia eduka arendamise ja rakendamise eelduseks. See võimaldab vältida dubleerimist, kasutada ressursse tõhusamalt, kiirendada teaduslikke ja tehnoloogilisi läbimurdeid ning suurendada Euroopa globaalset konkurentsivõimet.**

Selgitus: Liikmesriikide tihe koostöö ja selge spetsialiseerumine on üks olulisemaid eeldusi kvanttehnoloogiate arengu ja rakendamise edu saavutamiseks nii Eestis kui kogu EL-is. Strateegia toob selgelt välja, et senine killustatus ja dubleerimine on toonud kaasa olukorra, kus mitmes liikmesriigis tehakse paralleelselt sarnaseid arendusi, ilma et need oleks omavahel koordineeritud. Selle tõttu on see kaasa toonud ressursside raiskamise, aeglustanud innovatsiooni ja vähendanud Euroopa suutlikkust konkureerida ülemaailmsel kvanttehnoloogiaturgudel.



Eesti seisukohalt on oluline, et iga liikmesriik keskenduks neile kvanttehnoloogia valdkondadele, kus on neil olemas tugev teaduslik kompetents, arendusvõimekus ja tööstuslik potentsiaal.

Lisaks on ühtsete standardite loomine oluline, et tagada eri riikides arendatud tehnoloogiate omavaheline ühilduvus ja turvalisus. See hõlmab nii tehnilisi standardeid kui ka kvaliteedi- ja turvasertifikaate, mis loovad usaldusväärse aluse rahvusvaheliseks koostööks ja kaubavahetuseks. Koostööplatvormide ja ühisprojektide loomine võimaldab teadlastel, arendajatel ja ettevõtetel jagada teadmisi ja kogemusi, mis on eriti tähtis väiksematele liikmesriikidele nagu Eesti, kellel ei ole üksi laialdasi ressursse erinevates arendusvaldkondades.

**5. Eesti peab oluliseks Euroopa Liidu toetust kvantoskuste arendamisel. Hariduse ja oskuste pidev arendamine on kestliku kvantökosüsteemi alus. Ilma pädevate spetsialistideta ei ole võimalik tagada teadustegevuse järjepidevust, innovatsiooni ülekandmist majandusse ega uute tehnoloogiate kasutuselevõttu.**

Selgitus: Edukaks ja kestlikuks kvanttehnoloogia arenduseks ei piisa üksnes tipptasemel teadusuuringutest ja tehnoloogilistest läbimurretest. Oluline on tagada, et oleks piisav hulk kvalifikatsiooniga spetsialiste, kes oskavad kvanttehnoloogiaid välja töötada, rakendada ja turustada. EL kvanttehnoloogiate strateegia teatis rõhutab, et kuigi EL-is on tugev akadeemiline baas ja maailma mastaabis suurim arv kvanttehnoloogia alaseid kõrgkoolide lõpetajaid, esineb siiski märkimisväärne valdkondlik tööjõupuudus.

Komisjon pakub välja virtuaalse Euroopa Kvantoskuste Akadeemia loomise, mis toimiks keskse veebipõhise platvormina, kuhu koondatakse kvanttehnoloogia alased õppematerjalid ja koolitusvõimalused. Selle eesmärk on suurendada teema nähtavust ning toetada kvantoskuste arendamist. Eesti saab loodava akadeemia tegevustes osaleda nii õppekavade arendajana kui ka praktika- ja teadusprojektide pakkujana, kasutades ära oma tugevust digihariduse, küberjulgeoleku ja IKT valdkondades.

Eestis jaoks tähendab kvantoskuste arendamine vajadust luua ja arendada haridusprogramme, mis kataks kogu kvantoskuste spektri alates kvantfüüsika põhialustest kuni keerukate süsteemide integreerimise, kvanttarkvara arenduse ja kvantküberjulgeoleku tagamiseni. Erilist tähelepanu tuleb pöörata kõrghariduse taseme õppekavadele ning täiend- ja ümberõppe programmidele, mis võimaldavad juba töötavatel spetsialistidel liikuda edasi kvanttehnoloogia valdkonda.

Oluline on edendada koostööd ülikoolide, teadusasutuste ja ettevõtete vahel. Ühine õpe ja praktikavõimalused ettevõtetes aitavad siduda teoreetilised teadmised reaalse töökeskkonnaga, kiirendades spetsialistide valmisolekut töötada innovatiivsetes projektides.

Kvanttehnoloogia võimaluste laiem mõistmine ja spetsialistide olemasolu on Eesti jaoks tähtis, et tagada kvanttehnoloogiast tuleneva majandusliku mõju maksimaalne laienemine kvanttehnoloogia valdkonna kõrval ka klassikalisematesse majandusharudesse. Lisaks on oluline tagada, et talendid ei liiguks ühesuunaliselt akadeemiast tööstusesse, vaid tuleb luua mehhanismid, mis võimaldavad teadlastel jätkata akadeemilist karjääri pärast tööstuskogemuse omandamist. Nii on võimalik hoida elujõuline teaduslik baas, mis omakorda toidab innovatsiooni ja ettevõtluskoostööd.

Eesti jaoks on kvanttehnoloogiate vallas piisava ekspertiisi olemasolu tähtis ka julgeolekupoliitilises võtmes. Uudse ja kiirelt areneva keerulise tehnoloogia mõistmine (näiteks kvantsensorid, kvantsidetehnoloogia, PQC ja QKD) võimaldavad ennetada ja maandada tuleviku julgeolekuriske sealhulgas kriitilise taristu kaitse ning süsteemide küberturvalisuse tagamisel.

### **Arvamuse saamine ja kooskõlastamine**

Eesti seisukohtade koostamiseks saadeti sisendipalve Haridus- ja Teadusministeeriumile, Kaitseministeeriumile, Kliimaministeeriumile, Majandus- ja Kommunikatsiooni-ministeeriumile, Sotsiaalministeeriumile ja Välisministeeriumile.

Seisukohtade koostamisel konsulteeriti ka Riigi Infosüsteemi Ameti, AS Metroserti, Eesti Infotehnoloogia ja Telekommunikatsiooni Liidu, Tallinna Tehnikaülikooli ja Tartu Ülikooli, Cybernetica AS ja Eesti teadusarvutuste infrastruktuuriga.

Ministeeriumid on seisukohad kooskõlastanud Euroopa Liidu koordinatsioonikogus.