

Bruxelles, 4. srpnja 2025.
(OR. en)

11276/25

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

POP RATNA BILJEŠKA

Od:	Glavna tajnica Europske komisije, potpisala direktorica Martine DEPREZ
Datum primitka:	3. srpnja 2025.
Za:	Thérèse BLANCHET, glavna tajnica Vijeća Europske unije
Br. dok. Kom.:	COM(2025) 363 final
Predmet:	KOMUNIKACIJA KOMISIJE EUROPSKOM PARLAMENTU I VIJEĆU Strategija za kvantnu Europu: kvantna Europa u svijetu koji se mijenja

Za delegacije se u prilogu nalazi dokument COM(2025) 363 final.

Priloženo: COM(2025) 363 final



Bruxelles, 2.7.2025.
COM(2025) 363 final

KOMUNIKACIJA KOMISIJE EUROPSKOM PARLAMENTU I VIJEĆU

Strategija za kvantnu Europu: kvantna Europa u svijetu koji se mijenja

Kvantna Europa u svijetu koji se mijenja

1.1 Uvod

Europa je kontinent kvantne tehnologije¹. Od znamenitih vizionara kao što su Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr i Erwin Schrödinger do današnjih pionira i dobitnika Nobelove nagrade Theodora Hänscha, Alberta Ferta, Sergeja Harochea, Antona Zeilingera, Alaina Aspecta i Anne L'Huillier, Europa je oduvijek bila središte kvantne znanosti.

Razvoj kvantne znanosti jedno je od najrevolucionarnijih postignuća u povijesti tehnologije. U Draghijevu izvješću² kvantne tehnologije opisane su kao „nova pionirska inovacija u području računalstva koja bi mogla stvoriti nove prilike za industrijsku konkurentnost i tehnološku suverenost EU-a”.

Stigli smo do prijelomne točke sve brže globalne utrke za iskorištavanje kvantnih tehnologija, u kojoj one iz laboratorija prelaze u svakodnevnu primjenu. Od uređaja za magnetsku rezonanciju (MR) u zdravstvu i razvoja materijala u energetici do gravimetrijskih senzora za geofiziku i navigaciju, sigurne komunikacije i kvantnog računalstva kojima se rješavaju složeni problemi u logistici i financijama, ta otkrića počinju redefinirati temeljne industrije i društvenu infrastrukturu.

Budući da kvantne tehnologije imaju i potencijal dvojne namjene³, zbog kojeg su korisne i za obranu i za nacionalnu sigurnost, veliki javni i privatni akteri u njima imaju strateški interes.

Zato je EU kvantne tehnologije uvrstio u kritične tehnologije⁴ u svojoj Strategiji gospodarske sigurnosti⁵ i Zajedničkoj bijeloj knjizi o europskoj obrambenoj spremnosti 2030.⁶

Prvi veliki projekti industrijalizacije trenutačno se provode u cijelom svijetu, osobito u SAD-u, gdje su potaknuti velikim privatnim ulaganjima visokotehnoloških poduzeća, i Kini, gdje se uglavnom financiraju javnim sredstvima.

Europa je ostvarila izniman napredak u kvantnoj znanosti: odlikuje se najvećom globalnom koncentracijom kvantnih talenata i zauzima prvo mjesto na svijetu po broju znanstvenih publikacija. EU se ujedno može pohvaliti jednim od najvećih ekosustava kvantnih *start-up* poduzeća⁷. Otprilike trećina svih svjetskih kvantnih poduzeća ima sjedište u EU-u⁸, a dobavljači iz EU-a isporučuju gotovo polovinu hardverskih i softverskih komponenata za kvantna računala⁹.

Međutim, Europa trenutačno **zaostaje za drugima kad je riječ o pretvaranju vlastitih inovacijskih kapaciteta i budućeg potencijala u konkretne tržišne prilike**. Zbog toga je u

¹ Kvantne tehnologije primjenjuju načela kvantne mehanike na zadatke koji se klasičnim tehnologijama ne mogu riješiti ili se rješavaju vrlo neučinkovito. Glavna područja kvantnih tehnologija uključuju kvantno računalstvo i simulaciju, kvantno opažanje i kvantnu komunikaciju.

² Draghijevo izvješće o konkurentnosti EU-a.

³ Za potrebe ove Strategije **potencijal dvojne namjene** označava mogućnost korištenja kvantnih tehnologija u civilne i sigurnosne/obrambene svrhe. Taj se izraz u ovom tekstu upotrebljava u širem i mogućem budućem smislu u odnosu na pravni pojam „roba s dvojnog namjenom” iz Uredbe (EU) 2021/821 o kontrolama izvoza.

⁴ Preporuka Komisije (EU) 2023/2113 od 3. listopada 2023. o područjima tehnologija kritičnih za gospodarsku sigurnost EU-a za daljnju procjenu rizika s državama članicama.

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

⁶ Zajednička bijela knjiga o europskoj obrambenoj spremnosti 2030. | ESVD.

⁷ McKinsey & Company, *Quantum Technology Monitor – travanj 2024.*

⁸ Lewis, A., Scudo, P., Cerutti, I., Travagnin, M., Marcantonini, C. et al., *Future Directions for Quantum Technology in Europe*, Ured za publikacije Europske unije, Luxembourg, 2025., JRC141050. Očekuje se sredinom srpnja.

⁹ Europska investicijska banka, *A Quantum Leap in Finance, 2022.*

ovom trenutku tek treća na svijetu po broju prijavljenih patenata za kvantno računalstvo, opažanje i komunikaciju¹⁰.

Osim toga, **europske aktivnosti nisu ujednačene na razini država članica**, kao ni na razini nacionalnih i regionalnih agencija za financiranje. U proteklih pet godina EU i države članice uložili su više od 11 milijardi EUR u kvantne tehnologije. Iako je nekoliko država članica izradilo vlastite nacionalne strategije i planove djelovanja, nedovoljna koordinacija uzrokovala je udvostručavanje napora, neučinkovito iskorištavanje resursa i sve veće nadmetanje za talente. To bi moglo ugroziti sposobnost EU-a da dosegne kritičnu masu i razmjere, čime bi se usporio proces komercijalizacije i u konačnici ograničio razvoj globalno konkurentnog europskog industrijskog kapaciteta i jedinstvenog europskog kvantnog tržišta.

Premda Europa ima vodeću ulogu u ranoj fazi kvantnog poduzetništva, njezin mladi kvantni ekosustav trenutačno nema održivu financijsku potporu ni zadovoljavajuću tržišnu perspektivu. U Europi nedostaje i prvih korisnika kvantne tehnologije među velikim industrijskim akterima, zbog čega novi ekosustavi *start-up* poduzeća nemaju dovoljno tržišnih prilika.

Nadovezujući se na Kompas konkurentnosti¹¹, prema kojem su kvantne tehnologije jedan od ključnih tehnoloških sektora za gospodarstvo sutrašnjice¹², ova inicijativa, razvijena u bliskoj suradnji s dionicima u području kvantne tehnologije¹³, zamišljena je kao sveobuhvatna strategija koja će Europi omogućiti da preuzme vodstvo u svjetskoj kvantnoj utrci. Poticanjem razvoja te tehnologije s potencijalom dvojne namjene u EU-u ova će strategija ujedno doprinijeti provedbi preporuka iz Strategije za Uniju pripravnosti¹⁴, Niinistöova izvješća¹⁵, Zajedničke bijele knjige o europskoj obrambenoj spremnosti 2030.¹⁶, strategije unutarnje sigurnosti ProtectEU¹⁷ i Međunarodne digitalne strategije za EU¹⁸.

1.2 Kvantna Europa: vizija i strateški provedbeni okvir

Europa ima sve preduvjete da bude predvodnik u kvantnoj revoluciji koja je u tijeku. Vizija je da postane kvantna industrijska sila i globalni lider na tržištu kvantnih tehnologija zahvaljujući svojem postojećem vodstvu u znanosti.

EU-ova strateška vizija oslanja se na njegove postojeće prednosti: vrhunska istraživanja, znanstvenu izvrsnost, dinamičnu zajednicu *start-up* poduzeća i snažnu strukturu javnih ulaganja. Ti su glavni stupovi neophodni za rješavanje problema fragmentacije, ubrzavanje industrijske primjene i postizanje strateške autonomije u području kvantnih tehnologija.

Da bi se ta vizija ostvarila, Strategija obuhvaća pet međusobno povezanih područja:

¹⁰ Vidjeti bilješku 8.

¹¹ [Kompas konkurentnosti – Europska komisija](#).

¹² Prema Europskoj strategiji gospodarske sigurnosti i povezanoj Preporuci Komisije od 3. listopada 2023. kvantne tehnologije uvrštene su u kritične tehnologije.

¹³ Kao što je navedeno u odgovorima na poziv na očitovanje raspisan prije objave Strategije za kvantnu Europu: [Strategija za kvantne tehnologije EU-a](#). Dionici smatraju da bi Strategija za kvantnu Europu trebala ubrzati prelazak iz laboratorija u proizvodnju ne gubeći iz vida presudnu ulogu temeljnih znanstvenih istraživanja, proširiti postojeće paneuropske kvantne infrastrukture i razviti radnu snagu sa znanjem i vještinama u području kvantnih tehnologija. Uz to naglašavaju važnost povećanja proizvodnih kapaciteta Unije i smanjenja financijskih, regulatornih i administrativnih prepreka koje ograničavaju ili usporavaju razvoj *start-up* poduzeća u zrela, profitabilna poduzeća na jedinstvenom tržištu.

¹⁴ [Pripravnost – Europska komisija](#).

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

¹⁶ Vidjeti bilješku 6.

¹⁷ [Komisija predstavila strategiju unutarnje sigurnosti ProtectEU – Europska komisija](#).

¹⁸ [Zajednička komunikacija o Međunarodnoj digitalnoj strategiji za EU, 5. lipnja 2025.](#)

- **1. područje: istraživanje i inovacije** – konsolidacija izvrsnosti u cijeloj Europi radi postizanja vodstva u kvantnoj znanosti i kvantnoj transformaciji industrije,
- **2. područje: kvantne infrastrukture** – razvoj održivih, prilagodljivih i koordiniranih infrastrukturnih čvorišta za podršku proizvodnji, projektiranju i razvoju primjena,
- **3. područje: jačanje kvantnog ekosustava EU-a** – osiguravanje lanaca opskrbe i industrijalizacija kvantnih tehnologija ulaganjima u *start-up* i *scale-up* poduzeća,
- **4. područje: kvantne tehnologije za svemir i kvantne tehnologije s potencijalom dvojne namjene (sigurnost i obrana)** – integracija sigurnih i suverenih kvantnih kapaciteta u europske svemirske, sigurnosne i obrambene strategije,
- **5. područje: kvantne vještine** – stvaranje raznolike, vrhunske radne snage u okviru koordiniranih i fleksibilnih sustava i programa obrazovanja i osposobljavanja te promicanje mobilnosti talenata u EU-u.

Tih pet strateških područja podupire se pametnim pristupom provedbi. Kako je opisano u odjeljku 3.1. „Glavne sastavnice provedbe Strategije za kvantnu Europu”, pristup će se temeljiti na iterativnom životnom ciklusu razvoja tehnologije koji će neprestano povezivati otkrića u području kvantne znanosti s praktičnim primjenama i tržištem, što će imati kratkoročne i dugoročne gospodarske učinke. Taj će pristup provedbi privući vodeće industrijske i javne korisnike, čime će se zajamčiti pristup tržištu i održivost kvantnog ekosustava EU-a u nastajanju.



Slika 1: Pet strateških područja za kvantnu Europu

EU će uspostaviti okvir za strateško upravljanje kao dopunu životnom ciklusu provedbe kako bi se pratio i olakšao napredak.

Strategija se temelji na Europskoj deklaraciji o kvantnim tehnologijama iz 2023.¹⁹, važnom političkom koraku, kojom su se uskladili zajednički prioriteti i europske vrijednosti država članica. Temelji se i na nalazima stručnih radnih skupina iz svih država članica EU-a²⁰ osnovanih pod vodstvom koordinacijske skupine za kvantne tehnologije²¹.

2 Strateška područja kvantne Europe

2.1 1. područje: Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu

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

²⁰ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/shaping-european-strategy-quantum-technology-main-orientations-and-recommendations>.

²¹ <https://ec.europa.eu/transparency/expert-groups-register/screen/expert-groups/consult?lang=hr&groupID=3931>.

Europska kvantna istraživačka baza potpomognuta nizom EU-ovih i nacionalnih programa postavila je čvrste znanstvene temelje. U posljednjih pet godina EU je uložio gotovo 2 milijarde EUR u kvantne tehnologije, dok su države članice osigurale više od 9 milijardi EUR dodatnih javnih sredstava. Tim se sredstvima financiraju istraživanja i obrazovanje u području kvantne tehnologije, stvaranje nacionalnih kvantnih klastera i centara s hibridnim kvantno-klasičnim superračunalima, industrija kvantne tehnologije i međunarodna partnerstva.

Unatoč znatnom nacionalnom i EU-ovu financiranju, europska kvantna istraživanja i dalje su fragmentirana u državama članicama i instrumentima, što dovodi do udvostručavanja napora, nedostataka u prioritetnim područjima i nadmetanja za deficitarne talente. Bez koordinacije i jasnog težišta na zajedničkim strateškim prioritetima Europa neće zadovoljiti svoje ambicije u području kvantnih tehnologija.

Komisija stoga predlaže **inicijativu Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu**. Njezin cilj bit će usklađivanje aktivnosti EU-a i država članica na temelju zajednički dogovorenog programa za istraživanje, tehnologiju i inovacije. Aktivnosti će se organizirati tematski uz određivanje zajedničkih ciljeva kako bi se postigla usklađenost, izbjegla preklapanja i stvorila kritična masa.

Inicijativa će se temeljiti na sljedećim glavnim fazama aktivnosti:

- **otkrivanje:** podupiranje temeljnih istraživanja, tehnološkog razvoja i inovacijskih aktivnosti u području kvantnog računalstva, komunikacije i opažanja,
- **od laboratorija do proizvodnje:** daljnja ulaganja u izgradnju najsuvremenijih infrastruktura za kvantno računalstvo, komunikaciju i opažanje, kvantni hardver i odgovarajuće razvojne tehnologije, kao i u najsuvremenije pilot-linije i alate za projektiranje koji olakšavaju industrijalizaciju i razvoj ekosustava,
- **primjena i upotreba:** potpora razvoju primjena u ključnim javnim i industrijskim sektorima tako da se znanstvena otkrića u svim kvantnim područjima mogu prenijeti u praktične primjene i imati konkretni učinak.

Osim toga, u okviru inicijative ulagat će se i u privlačenje talenata i razvoj vještina kako bi se osigurala kvalificirana radna snaga u kvantnoj industriji.

Inicijativa Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu provodit će se na temelju okvira upravljanja na razini EU-a, koji će se definirati u predstojećem prijedlogu akta o kvantnoj tehnologiji. U međuvremenu će se mandat Zajedničkog poduzeća EuroHPC²² proširiti izmjenom uredbe o njegovu osnivanju kako bi se omogućila učinkovita koordinacija s programima Obzor Europa, Digitalna Europa, svemirskim i obrambenim programima te drugim instrumentima financiranja.

- Izmijeniti Uredbu o Zajedničkom poduzeću EuroHPC kako bi se njegove odgovornosti proširile na sve kvantne tehnologije i, kao prvi korak, na Zajedničko poduzeće prenijeti postojeće kvantne istraživačke i inovacijske aktivnosti u okviru drugog stupa programa Obzor Europa [treće tromjesečje 2025.]
- Predstaviti prijedlog kvantnog akta [2026.]

2.2 2. područje: Infrastrukture kvantne Europe

²² [UREDBA VIJEĆA \(EU\) 2021/1173](#) o osnivanju Zajedničkog poduzeća za europsko računalstvo visokih performansi.

EU danas ulaže u velike inicijative za kvantne infrastrukture, kao što su kvantnoračunalni sustavi u okviru Zajedničkog poduzeća EuroHPC, inicijativa EuroQCI²³ u okviru Programa Unije za sigurnu povezivost IRIS²⁴, kao i napredne platforme za opažanje. Ulaže i u nekoliko pilot-linija u okviru Zajedničkog poduzeća za čipove²⁵ radi omogućivanja industrijalizacije kvantnih tehnologija u Europi.

Te javno financirane kvantne infrastrukture imaju stratešku ulogu u ostvarivanju europskih kvantnih ambicija. Omogućuju pristup najsvremenijim kvantnim sustavima i platformama koje bi inače bile nedostupne većini europskih dionika i korisnika kvantnih tehnologija zbog visokih troškova razvoja i pristupa, tehničke složenosti ili potrebe za posebnim uslugama, kao što je sigurna komunikacija. Služe kao testna platforma za inovacije, poligon za osposobljavanje talenata i mjesto na kojem industrija, MSP-ovi i istraživači mogu eksperimentirati, proučavati i oblikovati razvoj novih kvantnih tehnologija. Neophodne su za ubrzanje uvođenja kvantnih tehnologija, izgradnju industrijskih kapaciteta i raspoređivanje koristi od kvantnih tehnologija po cijeloj Uniji.

EU će u budućnosti nastaviti još više ulagati u javne kvantne infrastrukture u području **računalstva i simulacije, komunikacije i opažanja** u skladu s objašnjenjem u nastavku.

2.2.1 Kvantno računalstvo i simulacija

Kvantno računalstvo može neusporedivo više unaprijediti našu sposobnost rješavanja složenih problema računalne optimizacije nego najnapredniji sustavi računalstva visokih performansi (HPC). Očekuje se da će imati dalekosežan utjecaj na brojna područja, npr. u farmaceutskoj i kemijskoj simulaciji moglo bi omogućiti otkrivanje novih lijekova i kemikalija, u energetici bi kvantno računalstvo moglo doprinijeti otkrivanju novih materijala za baterije ili visokotemperaturnih supervodiča, a ima i dobre izgleda za unapređenje područja kao što su logistika i financije. Osim toga, kvantna računala takve probleme rješavaju na znatno energetski učinkovitiji način nego klasična superračunala. Kvantna računala neće zamijeniti sustave HPC-a, nego će ih dopuniti kao akceleratori ukupne učinkovitosti računalnog rješenja i postizati mnogo brže rezultate uz znatno manju potrošnju energije. Kvantne tehnologije sve se češće koriste kao dopuna i potpora umjetnoj inteligenciji. Na primjer, mogu ubrzati učenje UI modela, dok umjetna inteligencija doprinosi ispravljanju pogrešaka kvantnog računalstva, čime se povećava ukupna pouzdanost sustava.

Kvantno računalstvo trenutačno je na prijelomnoj točki: iako postoje mali kvantni procesori, danas je najveći izazov u svijetu njihovo proširenje na potpuno operativna kvantna računala koja mogu zorno pokazati prednost kvantnog računalstva. Sad nam je glavni cilj napraviti veće strojeve koji mogu donijeti jasnu kvantnu prednost²⁶ u odnosu na klasična računala. U sljedećih 5 – 10 godina kvantna računala postat će neizmjereno bolja u rješavanju problema iz stvarnog života. Zbog toga EU i njegove države članice, ali i drugi važni akteri (od Australije, Kanade, Kine, Japana, Južne Koreje i Ujedinjene Kraljevine do SAD-a) intenzivno ulažu u kvantne tehnologije kako bi dospjeli na čelo kvantne revolucije²⁷. Danas se razvija niz platformi za

²³ [Inicijativa za europsku kvantnu komunikacijsku infrastrukturu \(EuroQCI\) | Izgradnja digitalne budućnosti Europe.](#)

²⁴ [IRIS² | Sigurna povezivost – Europska komisija. Uredba \(EU\) 2023/588.](#)

²⁵ [Uredba Vijeća \(EU\) 2023/1782 o osnivanju Zajedničkog poduzeća za čipove.](#)

²⁶ OECD (2025.), *A Quantum Technologies Policy Primer*. Pojam „kvantna prednost” odnosi se na trenutak u kojem kvantno računalo obavlja određeni zadatak učinkovitije, brže, preciznije ili energetski učinkovitije od najboljih mogućih klasičnih superračunala. Riječ je o fazi koja konkretno potvrđuje nadmoć kvantnog računalstva u rješavanju određenih računalnih problema, čak i ako se to vidi samo u ograničenim primjenama.

²⁷ Na primjer, nacionalna kvantna inicijativa SAD-a (<https://www.quantum.gov/>), kineski kvantni plan za 2030., japanska strategija za kvantne tehnologije i inovacije (https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy_r08.pdf), australna nacionalna kvantna strategija (<https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-05/national-quantum-strategy.pdf>), kanadska nacionalna kvantna strategija (<https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy>).

kvantno računalstvo, a svaka se temelji na drugom tehnološkom pristupu²⁸. U 1. tablici navedena su kvantna računala koja pružaju poduzeća sa sjedištem u raznim regijama svijeta.

Tehnološka platforma	Supravodljiva	Ionske zamke	Hladni atomi	Fotonika	Spinski kvantni bitovi
 Strojevi u EU-u	 17	 6	 8	 5	 3
 Strojevi u Ujedinjenoj Kraljevini	4	6	0	5	2
 Strojevi u SAD-u	26	7	4	2	0
 Strojevi u Kanadi	13	0	0	1	0
 Strojevi u Kini	2	0	0	0	0
 Strojevi u ostatku svijeta ²⁹	1	0	0	1	3

Tablica 1: Pregled dobavljača u području kvantnog računalstva i simulacije

Europa razvija sve opisane važne tehnologije kvantnog računalstva u okviru nacionalnih programa i inicijative Quantum Flagship³⁰. Taj je trud urodio rezultatima u obliku radnih prototipova, skupova softverskih alata i nekoliko *spin-off* poduzeća u području duboke tehnologije. Osim toga, preko Zajedničkog poduzeća EuroHPC u nekoliko država članica EU-a već se uvode prvi prototipovi kvantnoračunalnih sustava (vidjeti sliku 2). To rano uvođenje ima dvije važne svrhe: potiče razvoj autonomne, suverene i konkurentne europske kvantne industrije zahvaljujući ranom stvaranju tržišta za dobavljače hardvera i softvera, a istodobno omogućuje razvoj unutarnjeg tržišta povećanjem broja i razmjera primjena i korisnika.

Europa je omogućila i ranu hibridizaciju kvantnih računala i HPC-a, čime je ostvarila cilj digitalnog desetljeća EU-a da do 2025. ima prvo računalo s kvantnim ubrzanjem³¹. Riječ je o strateškoj prekretnici jer se time podupire europski ekosustav kvantnog hardvera, stvaraju uvjeti za primjene u industriji i postavljaju temelji za naprednije hibridne sustave, a sve to doprinosi dugoročnom cilju postizanja punog kapaciteta kvantnog računalstva do 2030. Ta će hibridizacija omogućiti i korištenje kvantnih računala u europskim tvornicama UI-ja³², što doprinosi ostvarivanju ciljeva iz Akcijskog plana za kontinent umjetne inteligencije³³.

U budućnosti će inicijativa Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu dodatno podupirati koordinirane aktivnosti za ubrzavanje prelaska s današnjih kvantnih uređaja prve generacije na potpuno operativne strojeve. Cilj je omogućiti Europi da kvantna računala sljedeće generacije prvenstveno nabavlja od dobavljača iz EU-a i postupno širiti te platforme kako bi se do 2030.

quantum-strategy/en/canadas-national-quantum-strategy) i nacionalna kvantna strategija Ujedinjene Kraljevine (<https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>).

²⁸ Reprezentativni primjeri računalnih platformi temelje se na supravodljivim krugovima, zarobljenim ionima, neutralnim atomima, fotonici, dijamantima ili spinskim kvantnim bitovima. Svaki od njih nosi sa sobom različite prednosti i inženjerske izazove u smislu računalne prilagodljivosti, preciznosti i dosljednosti.

²⁹ Pokrata na engleskom ROW (*rest of the world*).

³⁰ [Quantum Flagship | Početna stranica](#)

³¹ Hibridne kvantne/HPC platforme kombiniraju kvantne procesore s klasičnim sustavima HPC-a kako bi se omogućila rana zajednička obrada, pri čemu kvantni procesori služe kao računalni akceleratori klasičnih superračunala. Danas su u Francuskoj, Njemačkoj i Finskoj u pogonu tri hibridne platforme u okviru EuroHPC-ovih i nacionalnih infrastruktura. Do kraja 2025. hibridizacija će postati standardna praksa u svim europskim infrastrukturama za kvantno računalstvo, što će biti dodatna potvrda tog važnog postignuća.

³² [Tvornice umjetne inteligencije | Izgradnja digitalne budućnosti Europe](#)

³³ [Kontinent umjetne inteligencije – Europska komisija](#)

dosegnulo otprilike 100 kvantnih bitova s ispravljenim pogreškama³⁴ po sustavu, što je cilj koji je u skladu s industrijskim planovima za postizanje značajne računalne prednosti. **Europa namjerava do 2035. postati prvi kontinent koji će dosegnuti tisuće kvantnih bitova s ispravljenim pogreškama po platformi, što je prag koji se smatra nužnim za rješavanje problema u stvarnom svijetu.**

To bi bila prekretnica u smislu praktične kvantne prednosti³⁵, a Europi bi osiguralo položaj svjetskog lidera u području kvantnog računalstva. To će doprinijeti rastu europskih poduzeća za kvantno računalstvo, potaknuti razvoj i uvođenje rješenja vodećih korisnika te dodatno povećati tehnološku autonomiju Unije.



***Slika 2:** Karta superračunala, kvantnih računala i simulatora EuroHPC-a*

Isto tako, **Europa će nastaviti ulagati u kvantne simulatore**³⁶, koji mogu oponašati kvantni sustav, a koriste jednostavniji hardver. Ti kvantni simulatori već omogućuju otkrića u znanosti o materijalima, kvantnoj kemiji i temeljnoj fizici. Europa prednjači u razvoju i uvođenju tih platformi, za koje se očekuje da će dati korisne rezultate prije univerzalnih kvantnih računala zbog nižih zahtjeva u pogledu hardvera.

EU će razviti **plan za kvantno računalstvo i simulaciju** i utvrditi jasne referentne vrijednosti i postupak za praćenje tehnološkog napretka i zrelosti različitih vrsta kvantnih platformi. Zahvaljujući tom planu moći će se redovito procjenjivati koje su platforme najnaprednije ili dugoročno najperspektivnije. Europa će se voditi tim pristupom na temelju dokaza pri strateškom odlučivanju i određivanju budućih prioriteta javnih ulaganja u kvantno računalstvo.

- Objaviti plan EU-a za kvantno računalstvo i simulaciju [2026.]

³⁴ Današnja kvantna računala daju rezultate koji još nisu potpuno točni (kvantni izračuni i dalje često sadržavaju znatne pogreške). Stoga je uvođenje učinkovitog ispravljanja pogrešaka kako bi se dobili kvantni bitovi (procesorske jedinice kvantnog računala) s ispravljenim pogreškama važna faza za sva buduća potpuno operativna kvantna računala.

³⁵ Vidjeti bilješku 26.

³⁶ PASQuanS2: [Programibilna atomska kvantna simulacija velikih razmjera 2 – SGA1 | PASQuanS2.1 | Projekt | Informativni članak | OBZOR | CORDIS | Europska komisija.](#)

- Povećati broj i kapacitet kvantnoračunalnih sustava koji se temelje na EuroHPC-u [od 2026. nadalje] i uspostaviti okvir za praćenje kvantnog računalstva [2026.]

2.2.2. Kvantne komunikacije

Kvantna komunikacija omogućuje iznimno siguran prijenos podataka, štiti kritične infrastrukture i čuva osjetljive informacije od budućih kibernetičkih prijetnji omogućenih kvantnim tehnologijama³⁷. Uz to omogućuje uspostavu kvantnih komunikacijskih mreža potrebnih za međusobno povezivanje kvantnih uređaja kao što su senzori i računala u takozvani **kvantni internet**. Zbog svojeg potencijala dvojne namjene korisna je i za civilne primjene (npr. zaštita financijskih transakcija, osiguravanje javnih mreža) i za obrambene svrhe (npr. sigurna komunikacija za vojne i nacionalne sigurnosne operacije). Provedbom inicijativa kao što su **EuroQCI**³⁸ i **kvantni internet** EU gradi potpuno autonomne i pouzdane kvantne komunikacijske infrastrukture koje će štititi kritične protoke podataka, osigurati javnu komunikaciju i kritične infrastrukture te pojačati europsku unutarnju sigurnost u skladu sa strategijom ProtectEU³⁹.

Inicijativa EuroQCI

U okviru inicijative EuroQCI razvija se sigurna kvantna komunikacijska infrastruktura koja obuhvaća cijeli EU, uključujući njegova prekomorska područja. Dio je Unijine inicijative IRIS² i sastojat će se od zemaljskog segmenta koji se oslanja na svjetlovodne komunikacijske mreže koje povezuju strateške lokacije na nacionalnoj i prekograničnoj razini i svemirskog segmenta koji se temelji na satelitima.

Inicijativa brzo napreduje: 26 država članica trenutačno uvodi nacionalne zemaljske kvantne komunikacijske mreže koje će služiti i za testiranje sigurnog komunikacijskog satelita (Eagle 1) za distribuciju kvantnih ključeva (QKD) koji će se lansirati 2026. i biti prvi demonstrator u orbiti za Europu.

Te zemaljske kvantne komunikacijske mreže koriste se za provedbu i testiranje QKD-a u stvarnim uvjetima. Pilot-projekti uključuju siguran prijenos medicinskih podataka od bolnice do bolnice, šifriranu komunikaciju između državnih institucija i QKD veze za kritičnu infrastrukturu kao što su centri za upravljanje elektroenergetskom mrežom. Pokazuju kako QKD može zaštititi temeljne javne usluge i nacionalne operacije.

Da bi olakšao njihovo uvođenje, EU se oslanja na potpuno europski lanac kvantnih komponenata, uređaja i sustava⁴⁰. Uz to stavlja u pogon sveobuhvatan objekt za testiranje i procjenu QKD-a koji nudi predcertifikacijske uvjete za QKD komponente i priprema njihovu integraciju u cjelovite sustave i mrežne arhitekture⁴¹.

Nadalje, ta je aktivnost usko povezana s EU-ovim politikama kibernetičke sigurnosti, kao što su Direktiva NIS 2, predstojeća revizija Akta o kibersigurnosti i ENISA-in plan za kvantno

³⁷ Opasnost koja prijete trenutačnim kriptografskim protokolima zbog kvantnih računala.

³⁸ [Inicijativa za europsku kvantnu komunikacijsku infrastrukturu \(EuroQCI\) | Izgradnja digitalne budućnosti Europe](#)

³⁹ [Komisija predstavila strategiju unutarnje sigurnosti ProtectEU – Europska komisija.](#)

⁴⁰ „Među tim su tehnologijama kvantni generatori slučajnih brojeva (QRNG), kvantni izvori i detektori pojedinačnih fotona, QKD moduli koji se temelje na kvantnoj prepletenosti i integrirane platforme za telekomunikacijske namjene. Lanac opskrbe certificiran je u okviru Programa EU-a za sigurnu povezivost (Uredba (EU) 2023/588).”

⁴¹ Taj objekt omogućuje rigoroznu karakterizaciju, ispitivanje sigurnosti i početnu potporu za normizaciju, što je strogo usklađeno s aktivnostima ETSI-ja u području distribucije kvantnih ključeva (www.etsi.org/technologies/quantum-key-distribution).

sigurnu kriptografiju, kako bi infrastrukture za kvantnu komunikaciju, opažanje i računalstvo od samog početka imale sigurnosne mjere za obrambene namjene, provjere integriteta lanca opskrbe i sposobnost odgovora na incidente.

Druge vodeće regije isto ulažu u kvantno sigurne zemaljske i svemirske kapacitete. Kina je, primjerice, demonstrirala QKD između svemira i Zemlje i izgradila više od 2000 km međugradskih sigurnih zemaljskih veza⁴². SAD pak intenzivno ulaže u testne platforme za kvantni internet i nacionalna laboratorijska partnerstva, ali još nije pokrenuo objedinjeni, sigurni komunikacijski program na razini kontinenta. Europski model koji spaja zemaljske i satelitske segmente u okviru inicijative IRIS² i temelji se na načelima integrirane sigurnosti i komponentama pod nadzorom EU-a omogućuje EU-u da predvodi razvoj pouzdanih kvantnih mreža.

Od 2025. do 2035. EU će dodatno proširiti inicijativu EuroQCI.

Prvo, od 2025. do 2030. EU će **uvesti prekogranične zemaljske kvantne veze koje povezuju države članice**, kao i zemaljske postaje koje povezuju zemaljske segmente EuroQCI-ja s njegovim satelitima za svemirsku distribuciju kvantnih ključeva. Dakle, do 2030. uspostaviti će se prva potpuno međupovezana pokusna zemaljska i svemirska sigurna komunikacijska mreža EU-a.

Drugo, **EU će potaknuti korištenje tehnologije na tržištu i sigurnosnu certifikaciju**. Nastavit će podupirati daljnji razvoj, usavršavanje i uvođenje kvantnih komunikacijskih tehnologija i protokola⁴³ te njihovu redovitu integraciju u EuroQCI. Uz to će nadograditi svemirski segment EuroQCI-ja kako bi se pružile sveobuhvatne sigurne svemirske i zemaljske QKD usluge koje će se postupno integrirati u sljedeću generaciju svemirskih usluga u okviru inicijative IRIS². Cijela infrastruktura EuroQCI-ja certificirat će se u okviru usklađenog programa EU-a radi zadobivanja povjerenja i postizanja usklađenosti.

Inicijativa za kvantni internet

Inicijativa za kvantni internet dopunjuje EuroQCI tako što priprema buduću generaciju kvantnih mreža. Postavlja temelje za distribuirano kvantno računalstvo i opažanje te iznimno sigurnu razmjenu podataka.

Europa je već odredila cijelu specifikaciju arhitekture za kvantnu internetsku mrežu i demonstrirala kvantno umrežavanje na razini velegradskih područja⁴⁴. Uspostavljeni su okviri za primjere upotrebe, a ekosustav se razvija zahvaljujući pokretanju Tehnološkog foruma organizacije Quantum Internet Alliance (QIA)⁴⁵, prvog otvorenog foruma na svijetu posvećenog kvantnom internetu. U Europi su već zabilježena prva industrijska izdvojena društva i lansiranja proizvoda u području kvantnog interneta, što ukazuje na početni prijenos tehnologije u industriju.

Inicijativa Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu doprinijet će daljnjem tehnološkom razvoju kvantnog interneta⁴⁶ i postizanju interoperabilnosti među temeljnim računalnim platformama. Uz to će 2026. podržati otvaranje pilot-objekta za europski kvantni internet koji

⁴² U okviru okosnice Peking – Šangaj i satelitskog programa Micius, koji je u međuvremenu naslijedio Jinan-1.

⁴³ Neki od primjera takvih tehnologija su dugotrajne visokokvalitetne optičke memorije sljedeće generacije neophodne za rad kvantnog repetitora te izgradnju i demonstraciju potpuno operativnih kvantnih repetitora koji povezuju velegradske mreže, a ispitani su u laboratorijskim i stvarnim uvjetima.

⁴⁴ U inicijativi je uspješno postignuta *kvantna prepletenost* između dva neovisna kvantna mrežna čvora razdvojena 10-kilometarskim optičkim vlaknom. Isto tako, ostvaren je tehnološki napredak u razvoju kvantnog internetskog hardvera, među ostalim tehnologije i čvorova kvantnih repetitora, kao i u području kvantnog softverskog stoga (<https://quantuminternetalliance.org/>).

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

⁴⁶ Primjeri: prilagodljivost kvantne memorije, pouzdana distribucija kvantne prepletenosti i razvoj softverskog stoga za kvantne mreže.

će omogućiti testiranje ključnih kvantno sigurnih komponenata i prvih primjera upotrebe, sigurnih usluga u kvantnom oblaku, distribuiranog računalstva i naprednih uvjeta za validaciju koji služe kao most između istraživanja i uvođenja uoč potpunog puštanja u rad. Cilj je **uvesti potpuno operativnu kvantno sigurnu komunikacijsku mrežu do 2030. kao prvi korak prema objedinjenom kvantnom internetu**. To će ujedno pomoći EU-u da dođe na čelo međunarodne normizacije u tom području. Budući da napredak kvantnog računalstva ugrožava sigurnost naših komunikacija⁴⁷, EU i njegove države članice trenutačno provode preporuku o **postkvantnoj kriptografiji**⁴⁸ te su upravo objavili **plan**⁴⁹ za prelazak na postkvantnu kriptografiju.

- Uvesti prvu međupovezanu pokusnu kvantnu zemaljsku i svemirsku sigurnu komunikacijsku mrežu u EU-u [do 2030.]
- Objaviti plan za kvantnu komunikaciju [2026.]
- Otvoriti pilot-objekt za europski kvantni internet [2026.]

2.2.3. Kvantno opažanje

Kvantno opažanje oslanja se na kvantna svojstva kako bi se fizička obilježja izmjerila nezapamćenom osjetljivošću i preciznošću, čime se znatno nadmašuju mogućnosti klasičnih senzora⁵⁰. Odlikuje se golemim potencijalom u mnogim područjima, od zdravstvene zaštite, borbe protiv klimatskih promjena ili praćenja zaliha podzemnih voda do sigurnosti, obrane i svemira ili navigacije.

EU-ov vodeći projekt Quantum odigrao je vodeću ulogu u prenošenju tehnologija za kvantno opažanje iz osnovne znanosti u istraživanja usmjerena na primjenu. Funkcionalni prototipovi već se testiraju u stvarnim uvjetima, što je primjer vodstva Europe kad je riječ o inovacijama u području senzora i pripremi terena za industrijsku primjenu i uvođenje tehnologija s potencijalom dvojne namjene.

Kvantni gravimetri

EU trenutačno razvija **mrežu mobilnih i stacionarnih kvantnih gravimetara**⁵¹ koji omogućuju otkrivanje dubinskih obilježja smještenih nekoliko desetaka kilometara pod zemljom, uključujući zalihe vode, ležišta plina, mineralne resurse, komore s magmom ili zatrpane infrastrukture. Posebno su korisni za praćenje podzemnih promjena koje nastaju s vremenom, olakšavanje primjena u geoznanosti i geofizici (uključujući dubinsko kartiranje i rano upozoravanje na potrese), klimatologiji (npr. praćenje otapanja ledenjaka i iscrpljivanja podzemnih voda), sprečavanju prirodnih opasnosti i niskogradnji te strateških primjena u

⁴⁷ Na primjer, u konceptu poznatom kao „pohrani sad, dešifriraj poslije” (engl. *store now, decrypt later*) kriminalci prvo prikupe šifrirane informacije (npr. ukradene baze podataka, zaštićene datoteke ili komunikacijske podatke) pa ih spremaju radi naknadnog dešifriranja kvantnim računalima u zlonamjerne svrhe. Vidjeti, na primjer, [Druga kvantna revolucija: utjecaj kvantnog računalstva i kvantnih tehnologija na izvršavanje zakonodavstva](#) (Europolovo izvješće iz 2024.).

⁴⁸ [Preporuka o planu koordiniranog prelaska na postkvantnu kriptografiju | Izgradnja digitalne budućnosti Europe](#)

⁴⁹ U tom se planu navode kvantno sigurni algoritmi, razvojni standardi i programi certificiranja koje treba razviti da bi se zaštitile osjetljive informacije i kritične infrastrukture. [EU povećava kibernetičku sigurnost postkvantnom kriptografijom | Izgradnja digitalne budućnosti Europe](#)

⁵⁰ Neke od prednosti kvantnog opažanja u odnosu na klasične tehnike opažanja su: veća osjetljivost otkrivanja fizičkih veličina kao što su magnetska polja, temperatura, gravitacija itd., poboljšana točnost i preciznost mjerenja te bolja razlučivost.

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

obrani i civilnoj zaštiti, kao što su otkrivanje podzemnih umjetnih struktura i praćenje kritične infrastrukture.

Pod okriljem vodećeg projekta Quantum u narednih 3 – 5 godina uvest će se mreža zemaljskih gravimetara po cijeloj Europi, pojačana gravimetrima postavljenima na platformama na velikim nadmorskim visinama. Osim toga, EU planira nakon 2030. obaviti prvi **probni let za kvantnu svemirsku gravimetriju**⁵². Razmotrit će i integraciju kvantne gravimetrije u okviru daljnjih misija inicijative IRIS². To bi moglo utrti put sveobuhvatnoj mreži zemaljskih, zračnih i svemirskih gravimetara za promatranje Zemlje, što ide u prilog znanstvenim istraživanjima i strateškim primjenama, među ostalim onima s potencijalnom dvojnog namjenom.

Kvantno oslikavanje magnetskom rezonancijom (Q-MR)

Istraživanja EU-a u području medicinske dijagnostike otvorila su put kvantno poboljšanom oslikavanju kvantnim senzorima za mjerenje magnetskih signala na razini molekula. Ti bi sustavi mogli neizmjereno doprinijeti preciznoj medicini i personaliziranoj zdravstvenoj zaštiti ubrzavanjem otkrivanja raka i neurodegenerativnih bolesti te modernizacijom europske dijagnostičke infrastrukture.

U okviru vodećeg projekta Quantum EU će 2025. sudjelovati u uspostavi europske **pilot-infrastrukture za Q-MR**⁵³ u nizu država članica. Ta će infrastruktura omogućiti kliničku validaciju kvantno poboljšanih MR sustava⁵⁴, a akreditiranim istraživačkim centrima, bolnicama i partnerima iz industrije pružiti otvoreni pristup radi testiranja odobrenih prototipova kvantnog snimanja. Zahvaljujući integraciji alata za analizu koji se temelje na umjetnoj inteligenciji infrastruktura će povećati dijagnostičku točnost, olakšati raniju intervenciju i smanjiti ukupne troškove zdravstvene zaštite. Mreža će se s vremenom postupno proširiti na druge države članice.

U okviru inicijative Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu nastaviti će se financirati daljnje istraživanje i razvoj Q-MR senzora i njihova integracija u infrastrukturu za istraživanja u području javnog zdravlja, čime će se omogućiti njihova daljnja industrijalizacija.

Osim navedenog, EU će nastaviti podupirati istraživanja **za povećanje osjetljivosti i razvoj novih kontrastnih sredstava za oslikavanje**, što će omogućiti nove dijagnostičke mogućnosti, primjerice u neurologiji (npr. poremećaji moždane povezanosti u ranom stadiju Alzheimerove bolesti) ili onkologiji (npr. otkrivanje raka metaboličkim oslikavanjem).

Da bi dodatno unaprijedio svoj strateški položaj i plan u području tehnologija za kvantno opažanje i infrastruktura za mjerenje i testiranje, **EU će izraditi koordinirani europski plan za kvantno opažanje, mjerenje i testiranje** te će podržavati odgovarajuće aktivnosti normizacije u suradnji s mjeriteljskim institutima i državama članicama. Jedan od glavnih ciljeva bit će i postizanje europske strateške autonomije uz pomoć sigurnih i usklađenih lanaca opskrbe za kritične komponente i sustave za opažanje.

- Uvesti mrežu gravimetara raspoređenih po cijeloj Europi [od 2026. nadalje]
- Objaviti plan za kvantno opažanje [2026.]
- Uspostaviti europsku pilot-infrastrukturu za Q-MR i proširiti je po cijeloj Europi [od 2025. nadalje]

2.3 3. područje: Ekosustav kvantne Europe

Dinamičan, međupovezan i pouzdan kvantni ekosustav presudan je za dugoročnu sposobnost Europe da razvija i uvodi kvantne tehnologije u širim razmjerima. Danas europski kvantni

⁵² <https://carioqa-quantum Pathfinder.eu/>: pod vodstvom CNES-a, DLR-a i Airbusa.

⁵³ **Kvantno poboljšana metabolička MR dijagnostika koja se temelji na umjetnoj inteligenciji.**

⁵⁴ Provest će se kao kontrolirana klinička ispitivanja u skladu s Uredbom EU-a o medicinskim proizvodima.

ekosustav obuhvaća otprilike 70 *start-up* i *scale-up* poduzeća, ulagače u duboku tehnologiju, istraživačke i inovacijske organizacije, nacionalne klastere kompetentnosti i industrijske lance opskrbe. **Međutim, ekosustav je i dalje vrlo nestabilan.** U njemu prevladavaju **mala *start-up* i *scale-up* poduzeća koja nailaze na velike prepreke za rast**, kao što su **nestabilni izvori prihoda, ograničen pristup kapitalu za širenje i ograničena industrijska potražnja** u blizoj budućnosti. Nadalje, u EU-u vlada manjak velikih dobavljača kvantnog hardvera i glavnih krajnjih korisnika koji mogu potaknuti potražnju i ubrzati širenje industrijske primjene. Zbog te strukturne slabosti ograničena su i privatna ulaganja i pojava ključnih lanaca opskrbe.

Ne dobiju li koordiniranu pomoć i jednostavan pristup pravim tržišnim prilikama, mnoga od tih *start-up* poduzeća mogla bi propasti ili se preseliti u poticajnije ekosustave izvan Europe.

Da bi povećala taj ekosustav, Europa mora poduzeti odlučne mjere za poticanje industrijalizacije, širenje perspektivnih aktera, osiguravanje strateških lanaca opskrbe, razvoj vodećih tržišta, zaštitu strateške imovine i osposobljavanje sljedećeg naraštaja kvantnih stručnjaka.

2.3.1. Od laboratorija do proizvodnje i industrijalizacije

Globalno tržište kvantnih tehnologija još je u fazi nastajanja. Predviđa se da će do 2040. narasti s današnje dvije-tri milijarde EUR na 155 milijardi EUR⁵⁵. Taj potencijalni rast podrazumijeva potrebu za koordiniranom i jedinstvenom strategijom EU-a za industrijalizaciju koja će omogućiti europskim poduzećima da iskoriste tu nadolazeću priliku.

Kvantni čipovi su temeljni čimbenici koji omogućuju industrijalizaciju i razvoj tržišta kvantnih tehnologija. Međutim, trenutačno su u fazi razvoja koja se može usporediti s razvojem poluvodiča prije 30 – 40 godina, pri čemu je većina postojećih kvantnih uređaja uglavnom vlasnički dizajn (u velikoj mjeri ručne izrade).

Europa mora brzo započeti prvu masovnu proizvodnju jeftinih kvantnih čipova koja se što više temelji na procesima kompatibilnima s onima za mikroelektroniku i fotoniku ili prema potrebi razviti nove procese. Taj bi joj pristup omogućio da iskoristi postojeću poluvodičku infrastrukturu, smanji troškove i ubrza vrijeme potrebno za stavljanje kvantnih čipova i uređaja na tržište.

EU će radi toga **uskoro pokrenuti prvih šest kvantnih pilot-linija u okviru Zajedničkog poduzeća za čipove** u skladu s Aktom o čipovima⁵⁶. Te će pilot-linije, koje EU i države članice zajednički financiraju s 40 – 50 milijuna EUR po pilot-liniji, pospješiti ranu izradu prototipova, validaciju dizajna i razvoj procesa, ali i potaknuti primjere praktične upotrebe zbog bliske suradnje s industrijom. Tih šest pilot-linija nadogradit će temelje postavljene pokusnim pilot-linijama⁵⁷ vodećeg projekta Quantum u industrijske pilot-linije.

To će u sljedećih 3 – 5 godina Europi omogućiti da do 2030. dodatno unaprijedi i konsolidira kvantne i druge razvojne tehnologije i procese prije izgradnje prvih kvantnih tvornica. Da bi podržala sveobuhvatno planiranje i provedbu industrijalizacije i uskladila se s Kompasom konkurentnosti za EU, **Komisija će 2026. objaviti podroban plan industrijalizacije kvantnih čipova.**

S obzirom na to da su objekti i knjižnice za projektiranje neizostavan dio svakog ekosustava kvantnih čipova, EU će uspostaviti **objekt za kvantno projektiranje** u okviru Zajedničkog poduzeća za čipove. Objekt će raditi zajedno s platformom za projektiranje u oblaku industrije poluvodiča i biti povezan s kvantnim pilot-linijama.

Da bi se potaknula kvantna industrijalizacija, bit će potrebne i tehnička interoperabilnost i nove norme. Zato će EU 2026. objaviti **europski plan za kvantne norme** te se zajedno s državama

⁵⁵ [McKinsey, Quantum Technology Monitor 2024.](#)

⁵⁶ (EU) 2023/1781: [Europski akt o čipovima | Izgradnja digitalne budućnosti Europe.](#)

⁵⁷ [QU-PILOT](#) i [QU-TEST.](#)

članicama zalagati za aktivno sudjelovanje dionika iz industrije u europskim i međunarodnim organizacijama za normizaciju.

2.3.2. Jačanje i širenje europskog kvantnog ekosustava u nastajanju

Da bi se europski kvantni ekosustav doista proširio, moraju se provesti mjere u nastavku.

Prvo, **potrebno je uspostaviti europsku centraliziranu mrežu kvantnih testnih platformi otvorenog pristupa**. Kvantne tehnologije oslanjaju se na vrlo osjetljive sustave i laboratorije⁵⁸ koji su tehnički složeni i iznimno skupi. Zbog toga su samostalna gradnja ili održavanje takvih objekata većini aktera, pogotovo MSP-ovima i *start-up* poduzećima, neizvedivi. Da bi se proširio pristup objektima za testiranje, posebnoj opremi i mogućnostima eksperimentiranja, postojeći pilot-objekti u okviru vodećeg projekta Quantum pretvaraju se u centraliziranu europsku mrežu kvantnih testnih platformi otvorenog pristupa. Ti će objekti razvojnim inženjerima, *start-up* poduzećima, MSP-ovima i istraživačima olakšati pristup uslugama i mogućnostima testiranja, validacije i usporedbe kvantnih uređaja⁵⁹. Time će se ubrzati prelazak s prototipa na tržište i olakšati certifikacija, što je nužno za nastanak pouzdanih lanaca opskrbe i zadobivanje povjerenja kupaca u svim sektorima.

Drugo, potrebno je **proširiti klastere za kvantne kompetencije**. Ti su klasteri već dio nacionalnih i regionalnih ekosustava za inovacije u nekoliko država članica. Riječ je o regionalnim centrima koji pružaju zajedničku infrastrukturu i usluge te povezuju istraživačke i industrijske aktere. U okviru inicijative Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu poduprijet će se širenje i umrežavanje tih klastera kako bi se obuhvatio cijeli EU, među ostalim u državama članicama u kojima još nema takvih klastera. Stručni klasteri za kvantne tehnologije djelovat će kao raspoređeni stručni centri koji služe kao spona koja unutar kvantnog ekosustava povezuje *start-up* poduzeća, istraživače i partnere iz industrije s infrastrukturama, pilot-linijama i objektima za projektiranje u cijeloj Uniji. Poticat će suradnju⁶⁰ i usklađenost u svim kvantnim strateškim područjima, od istraživanja do industrijalizacije, kao i razvoj vještina. Oni će kao i europski centri za digitalne inovacije (EDIH) nuditi usluge prilagođene regionalnim odlikama, ali će ujedno igrati vodeću ulogu u paneuropskoj suradnji koju nastoje pojačati.

Treće, potrebno je **promicati mehanizme zaštite intelektualnog vlasništva** kako bi ih kvantna poduzeća mogla koristiti za strateški nadzor najvažnijih inovacija i sprečavanje odljeva ključnih resursa.

Četvrto, potrebno je **ubrzati uvođenje kvantnih tehnologija u industriju**. EU će primijeniti koordinirani pristup kako bi potaknuo pojavu vodećih korisnika u javnom i privatnom sektoru. U tom će pogledu **javna nabava biti važan alat za poticanje prvih korisnika i stvaranje prvih tržišnih prilika**. Zajedničko poduzeće EuroHPC već pomaže u kupnji prvih kvantnih računala u okviru javne nabave. Osim toga, Komisija će poduprijeti programe inovativne nabave koji će bolnicama, operatorima infrastrukture, ključnim javnim službama i vladinim agencijama omogućiti da budu prvi kupci kvantnih rješenja. To će se potaknuti prilagođenim financijskim poticajima i okvirima za uvođenje namijenjenima javnim tijelima koja će biti spremna biti prvi ulagači. Budu li **države članice prvi institucijski kupci europskih kvantnih tehnologija**, to će poslati jasnu poruku tržištima i ulagačima, čime će se pospješiti razvoj ekosustava i komercijalna održivost.

Peto, potrebno je **povezati kvantna *start-up* poduzeća s europskim poduzećima**. To će biti ključno za širenje *start-up* poduzeća na tržištu. Komisija će u suradnji s kvantnim

⁵⁸ To su, među ostalim, iznimno čisti uvjeti, kriogeno hlađenje, vakuumski sustavi, elektronika za precizno upravljanje itd.

⁵⁹ U skladu s predstojećom [europskom strategijom za istraživačke i tehnološke infrastrukture](#).

⁶⁰ U skladu s odgovarajućim protumonopolskim pravilima EU-a, kao što su prema potrebi Smjernice iz 2023. o primjenjivosti članka 101. UFEU-a na sporazume o horizontalnoj suradnji.

ekosustavom⁶¹ postaviti ciljeve za pojedinačne sektore, osobito za aerosvemirsku, automobilsku, prerađivačku i farmaceutsku industriju te sektor energetike i logistike, kako bi velike industrijske aktere potaknula da postanu strateški partneri u zajedničkom razvoju i vodeći korisnici.

Konačno, za rastući kvantni ekosustav bit će potreban priljev odgovarajućih talenata. To je razrađeno u odjeljku 2.5.

2.3.3. Ulaganje u kvantna *start-up* i *scale-up* poduzeća

Iako su pretpočetno i početno financiranje iz javnih izvora naširoko dostupni, Europa privlači samo 5 % svjetskog privatnog ulaganja u kvantne tehnologije, dok se SAD može pohvaliti s više od 50 %. Taj manjak financiranja posebno je izražen u kasnijim fazama razvoja⁶², što je opasno za EU jer bi njegova *start-up* poduzeća mogli preuzeti neeuropski ulagači pa bi mogao ostati bez intelektualnog vlasništva, kritičnih tehnologija, tehnološke suverenosti i talenata.

Stoga će se investicijski fondovi, među ostalim i javno financirani privatni fondovi, poticati na privlačenje znatnih kapitalnih ulaganja za razvoj kvantnih tehnologija. To uključuje potporu Fonda Europskog vijeća za inovacije (EIC)⁶³ i Inicijative za europske tehnološke predvodnike⁶⁴ Grupe Europske investicijske banke ili u okviru jamstva za prvi gubitak i prilagođenih programa za zajedničko ulaganje u okviru programa InvestEU.

U Strategiji EU-a za *start-up* i *scale-up* poduzeća donesenoj u svibnju 2025.⁶⁵ najavljeno je osnivanje **Fonda za *scale-up* poduzeća u Europi** u okviru fonda EIC-a radi mobilizacije pozamašnih privatnih ulaganja i izravnih vlasničkih ulaganja u strateške sektore kao što je kvantna tehnologija. U Strategiji EU-a za *start-up* i *scale-up* poduzeća nude se i posebna rješenja za olakšavanje pristupa financijama, javnoj nabavi, tržištima, uslugama i talentima za inovativna *start-up* i *scale-up* poduzeća.

Osim toga, kako je predloženo u preispitivanju kohezijske politike u sredini programskog razdoblja⁶⁶, upravljačka tijela mogla bi iskoristiti priliku da uz poticaje i fleksibilne uvjete preusmjere sredstva prema ulaganjima u, među ostalim prioritetima, ciljeve Platforme za strateške tehnologije za Europu (STEP). Komisija poziva države članice i regije da se pri reprogramiranju u okviru preispitivanja u sredini programskog razdoblja usredotoče na revolucionarna, inovativna poduzeća kako bi se pomoglo poduzećima koja doprinose europskim strateškim sektorima i lancima vrijednosti, kao što su kvantne tehnologije.

Konačno, u kontekstu unije štednje i ulaganja⁶⁷ Komisija će predložiti mjere za rješavanje problema fragmentacije jedinstvenog tržišta za financijske usluge i uklanjanje prepreka za jednostavna prekogranična ulaganja u EU-u, među ostalim u rizični kapital koji je presudan za razvoj kvantnih tehnologija. EU će, među ostalim, poticati institucijske ulagače na vlasnička ulaganja, pojednostavniti pravila o uvrštenju pri provedbi Akta o uvrštenju, predložiti mjere za potporu izlascima ulagača koji ulažu u privatna poduzeća i analizirati s EIB-om potencijalne inicijative čiji je cilj privući privatna ulaganja u rizični kapital i kapital za rast te ukloniti prepreke za nacionalne postupke oporezivanja⁶⁸.

⁶¹ Europski konzorcij za kvantnu industriju ([početna stranica – QuIC](#)).

⁶² [Budućnost europske konkurentnosti – Strategija za konkurentnost Europe](#).

⁶³ Od 2021. do 2024. EIC je već namijenio otprilike 350 milijuna EUR za poticanje rasta *start-up* poduzeća u području kvantne tehnologije. Uz to priprema dodatna ulaganja do 30 milijuna EUR po kvantnom *scale-up* poduzeću nakon raspisivanja poziva na podnošenje prijedloga za rast u okviru Platforme za strateške tehnologije za Europu (STEP).

⁶⁴ [Fond fondova za potporu europskim tehnološkim predvodnicima](#).

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

⁶⁶ [Modernizirana kohezijska politika: Preispitivanje u sredini programskog razdoblja](#), COM(2025) 163.

⁶⁷ [Unija štednje i ulaganja – Europska komisija](#).

⁶⁸ U skladu s primjenjivim pravilima o državnim potporama.

2.3.4. Jačanje sigurnosti lanca opskrbe

Dinamičan kvantni ekosustav koji podupiru otporni lanci opskrbe ključan je za jačanje europske gospodarske sigurnosti. Premda je dugotrajna otvorenost EU-a za trgovinu, ulaganje i istraživanje bila i ostat će iznimno važna za razvoj europskog kvantnog ekosustava, povlači za sobom i određene probleme. S jedne strane, europska kvantna poduzeća i istraživači oslanjaju se na neprestanu opskrbu iz pouzdanih izvora od koje imaju dosta koristi. S druge strane, ti lanci opskrbe mogu biti izloženi riziku od zloupotrebe. Zato je presudno da se utvrde i otklone kritične slabosti u europskom kvantnom lancu opskrbe kako bi se ublažili rizici koji proizlaze iz prekomjerne ovisnosti EU-a o neeuropskim izvorima. Stoga je određivanje rizika i pomno praćenje razvoja kvantnog ekosustava u nastajanju neophodan dio europskog pristupa izgradnji zdravog, sigurnog i konkurentnog europskog okruženja za kvantnu i duboku tehnologiju.

U okviru Europske strategije gospodarske sigurnosti⁶⁹ i Opservatorija za ključne tehnologije⁷⁰ te u bliskoj suradnji s dionicima i državama članicama **Komisija provodi opću procjenu rizika kvantne tehnologije na razini EU-a kako bi pronašla slabe točke u lancu opskrbe**, pri čemu posebnu pozornost posvećuje materijalima, komponentama i ključnim tehnologijama. Cilj je tih procjena utvrditi strateške ovisnosti, moguća uska grla i sustavne slabe točke u lancu opskrbe kvantnom tehnologijom (od rijetkih materijala do preciznih komponenata, upravljačke elektronike i softverskih stogova). Na temelju nalaza procjene poduzet će se ciljane mjere za ublažavanje, uključujući diversifikaciju dobavljača, povećanje europskih proizvodnih kapaciteta, sklapanje partnerstva sa zemljama dobavljačima u okviru strategije Global Gateway, i uspostaviti mehanizmi za podjelu rizika. Prvi se rezultati očekuju 2026. Osim toga, uloga kvantnih tehnologija u očuvanju sigurnosti i javnog poretka EU-a vidi se u raspravama o tekućim i budućim inicijativama o ulaznim i izlaznim ulaganjima, kao i u kontekstu kontrola izvoza.

Na temelju spomenutih nalaza predstojeći **kvantni akt** omogućit će dodatno jačanje kvantnog ekosustava i, u širem smislu, prethodno navedenih pokušaja industrijalizacije poticanjem država članica i poduzeća, ulagača i istraživača na ulaganje u proizvodne (pilot-)objekte radi doprinosa tim aktivnostima u okviru opsežnih inicijativa na razini EU-a odnosno nacionalnih ili regionalnih aktivnosti.

- Uspostaviti šest novih kvantnih proizvodnih pilot-linija u okviru Zajedničkog poduzeća za čipove kako bi se tehnologije premjestile iz laboratorija na tržište [2025.]
- Objaviti plan za industrijalizaciju kvantnih čipova [2026.]
- Pokrenuti objekt za projektiranje kvantnih tehnologija [2026.]
- Objaviti europski plan za kvantne norme [2026.]
- Proširiti mrežu klastera za kvantne kompetencije [2026.]
- Provesti i dovršiti procjene slabih točaka u lancu opskrbe u cijelom EU-u [2025. – 2026.]

2.4 4. područje: Kvantne tehnologije za svemir i kvantne tehnologije s dvojnog namjenom (sigurnost i obrana)

Kvantne tehnologije imaju potencijalnu dvojni namjenu. Stoga su bitne za poboljšanje konkurentnosti i strateške autonomije Europe u području svemira, sigurnosti i obrane. Nedavna dostignuća u području kvantnih tehnologija obećavaju velike prednosti za obranu i sigurnost, uključujući iznimno sigurnu komunikaciju, pojačano opažanje na bojištu i optimiziranu logistiku. Doduše, to može biti i opasno ako neprijatelji steknu tehnološku prednost. Da bi se

⁶⁹ JOIN(2023) 20 final; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023JC0020>. Strategija obuhvaća i procjene rizika u području sigurnosti i neovlaštenog otkrivanja tehnologija, pri čemu su kvantne tehnologije zasad jedno od četiriju ključnih područja.

⁷⁰ https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/eu-observatory-critical-technologies_en.

potpuno iskoristio njihov potencijal i ublažili rizici, neophodne su proaktivne mjere politike i nadzora, kao i bliska suradnja s glavnim partnerima kao što je Europska obrambena agencija.

Kvantne tehnologije u svemiru

Kvantne tehnologije nude strateški važne mogućnosti za europske svemirske misije. Tehnologije za sigurnu kvantnu komunikaciju već su dio najvažnijih svemirskih inicijativa EU-a, među ostalim inicijative EuroQCI/IRIS² i probne misije kvantnog svemirskog gravimetra. Svemirske aktivnosti EU-a obuhvaćaju i unapređenje kvantnih inercijskih navigacijskih sustava, među ostalim prototipova koji se temelje na kvantnim optičkim senzorima u okviru programa Galileo, za autonomno određivanje položaja na mjestima na kojima su globalni navigacijski sustavi (GNSS) namjerno onemogućeni ili sabotirani. Očekuje se da će se ti prototipovi u narednim godinama testirati na satelitima sustava Galileo kako bi se ocijenio njihov potencijal za praktičnu primjenu. U isto se vrijeme razmatra mogućnost buduće nadogradnje sustava Galileo kvantnim satovima. Očekuje se da će kvantno računalstvo unaprijediti i svemirsko inženjerstvo zahvaljujući naprednim računalnim svojstvima, među ostalim poboljšanjem ljudskog razumijevanja svemira. Velik broj kvantnih svemirskih primjena mogao bi biti iznimno koristan za vojne i obavještajne svrhe.

Te bi kvantne tehnologije zajedno mogle znatno unaprijediti stabilnost mjerenja vremena, preciznost i otpornost, čime se jača strateška autonomija Europe u satelitskoj navigaciji. Radi dodatnog istraživanja potencijala kvantnih tehnologija u svemiru Komisija će proširiti trenutačni okvir za suradnju s Europskom svemirskom agencijom (ESA) kako bi zajednički razvile **plan za kvantne tehnologije u svemiru** i zajamčile komplementarnost i usklađenost kvantnih svemirskih aktivnosti.

Kvantne tehnologije za sigurnost i obranu

Zbog njihove potencijalne dvojne namjene napredak u području kvantnih tehnologija može uvelike doprinijeti strateškoj sigurnosti i obrani. Na primjer, kvantno računalstvo moglo bi stubokom promijeniti obrambene strategije omogućivanjem bržeg odlučivanja i rješavanja složenih operativnih i logističkih problema. Osim toga, može biti korisno za projektiranje novih materijala za vojne namjene ili zaštitu osjetljivih informacija od kibernetičkih prijetnji.

Kvantno računalstvo uskoro bi moglo revolucionirati glavne sigurnosne i obrambene primjene kao što su simulacije protoka fluida ekstremne temperature, dinamika izgaranja ili otkrivanje materijala otpornih na toplinu. Tehnologije kvantnog opažanja nude ključne obrambene mogućnosti, uključujući iznimno točnu gravimetriju, magnetometriju i inercijsku navigaciju. Ti senzori omogućuju otkrivanje podzemnih struktura, praćenje podmornica i napredno otkrivanje prijetnji. Isto tako, kvantne komunikacije, prije svega distribucija kvantnih ključeva, omogućuju iznimno sigurnu razmjenu informacija u zemaljskim i satelitskim mrežama, čime štite vojne i obavještajne podatke od špijuniranja ili budućih kibernetičkih prijetnji omogućenih kvantnim tehnologijama. Zbog toga su tehnologije opažanja i komunikacije presudne za europsku stratešku autonomiju i operativnu nadmoć u području obrane i sigurnosti.

Globalni akteri kao što su SAD⁷¹ i Kina dosta ulažu u svemirske i vojne primjene kvantnih tehnologija, među ostalim u navigaciju bez GNSS-a, sigurnu satelitsku i zemaljsku komunikaciju, kvantni lidar⁷² i kvantno poboljšane radare. Kvantne tehnologije počele su utjecati i na šire saveze i okvire za suradnju⁷³.

⁷¹ Inicijativa za ocjenjivanje kvantnih tehnologija prema referentnim vrijednostima: <https://www.darpa.mil/research/programs/quantum-benchmarking-initiative>.

⁷² Kvantni lidar je sustav za svjetlosno otkrivanje i određivanje udaljenosti koji uz pomoć kvantnih svojstava kao što je prepletenost povećava osjetljivost i točnost otkrivanja meta i procjene udaljenosti iznad mogućnosti klasičnih tehnologija.

⁷³ Na primjer, [BRICS And Quantum Computing](#).

Nekoliko država članica EU-a⁷⁴ u okviru svojih obrambenih programa već ulaže u razvoj obrambenih kvantnih tehnologija, kao što su senzori na temelju hladnih atoma, dijamantni senzori ili kvantna računala, i istražuje primjene kao što su napredno mjerenje vremena, određivanje položaja bez GNSS-a i kartografija morskog dna.

Da bi povećala mogućnost ulaganja u obrambene tehnologije dvojne namjene i ključne obrambene tehnologije u okviru programa EU-a, Komisija je nedavno predstavila prijedlog⁷⁵ o izmjeni područja primjene postojećih relevantnih instrumenata. Uz to je poduzela mjere za iskorištavanje tehnologija s potencijalnom dvojnomo namjenom, među ostalim kvantnih tehnologija, za obrambene potrebe, npr. djelovanjem u okviru Europskog fonda za obranu i pripadajućeg programa EU-a za inovacije u području obrane (EUDIS).

Glavni je cilj svih tih aktivnosti da se Europa pobrine da razvoj kvantnih tehnologija ostane dostupan, siguran, oslobođen izvoznih propisa trećih zemalja i usklađen s europskim obrambenim i sigurnosnim ciljevima.

EU i NATO smatraju da su kvantne tehnologije presudni alati za obavještajne aktivnosti, nadzor, navigaciju i sigurnu infrastrukturu. NATO je 2024. uspostavio Transatlantsku kvantnu zajednicu kako bi postao „savez spreman za kvantne tehnologije”. Komisija i NATO raspravljaju o kvantnim tehnologijama u okviru strukturiranog dijaloga EU-a i NATO-a o novim i disruptivnim tehnologijama.

U okviru **europske strategije unutarnje sigurnosti ProtectEU** i Europskog fonda za obranu ističe se da su kvantne tehnologije važne za dugoročnu sigurnost i tehnološku prednost EU-a. U **Zajedničkoj bijeloj knjizi o europskoj obrambenoj spremnosti 2030.** spominje se da mogu disruptivno i transformacijski utjecati na tradicionalne pristupe ratovanju. U njoj se najavljuje da će Komisija upotpuniti **europski tehnološki plan za naoružanje** relevantnim kvantnim postignućima, inicijativama i programima. Time će se ubrzati transformacija obrane poticanjem ulaganja u napredne tehnološke kapacitete s dvojnomo namjenom na razini EU-a, država članica i privatnog sektora.

Da bi usmjerila te aktivnosti, **Komisija će do 2026. izraditi poseban plan za svemirsku i obrambenu tehnologiju za kvantno opažanje**, kojim će uskladiti prioritete u civilnim, sigurnosnim i obrambenim zajednicama. To će olakšati koordinaciju ulaganja u kvantne senzore sljedeće generacije, među ostalim za gravimetriju, navigaciju i napredno otkrivanje prijetnji.

EU će pak od 2026. pokretati inicijative za *spin-in* kako bi ubrzao primjenu civilnih kvantnih inovacija u sigurnosne i obrambene svrhe. Zahvaljujući tim inicijativama najsuvremenija poduzeća i istraživačke skupine povezat će se s akterima u sektoru obrane, čime će se skratiti razvojni ciklusi i povećati tehnološka prednost Europe u području **kapaciteta s potencijalnom dvojnomo namjenom**.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Potpisati s ESA-om sporazum o suradnji na pripremi plana za kvantne tehnologije u svemiru [drugo tromjesečje 2025.]• Izraditi plan za svemirsku i obrambenu tehnologiju za kvantno opažanje [2026.]• Doprinijeti europskom tehnološkom planu za naoružanje [četvrto tromjesečje 2025.] |
|--|

⁷⁴ Među njima su Francuska (program PROQCIMA o kvantnim senzorima za obranu – <https://quantique.france2030.gouv.fr/acces-aux-marches/programme-proqcima>), Njemačka (kvantna komunikacija i opažanje pod okriljem BMBF-a), Italija (senzori na temelju hladnih atoma za navigaciju bez GNSS-a), Austrija (kvantni satovi i inercijski senzori) i Finska (prijenosni sustavi za kvantno opažanje u obrambene svrhe).

⁷⁵ **COM(2025) 188 od 22. travnja 2025.**: Prijedlog uredbe o izmjeni uredaba (EU) 2021/694, (EU) 2021/695, (EU) 2021/697, (EU) 2021/1153, (EU) 2023/1525 i (EU) 2024/795 u pogledu poticanja ulaganja u obranu u okviru proračuna EU-a radi provedbe plana ReArm Europe.

- Pokrenuti inicijative za *spin-in* radi udruživanja civilnih poduzeća i akademske zajednice na obrambenim projektima [od 2026. nadalje]

2.5 5. područje: Kvantne vještine

U Europi se razvila velika baza akademskih kvantnih talenata. S obzirom na veličinu stanovništva Europska unija prednjači u svijetu po broju osoba s diplomom iz područja povezanih s kvantnim tehnologijama: više od 110 000 osoba godišnje diplomira⁷⁶ fiziku, IKT, inženjerstvo i srodne discipline. Prema Strateškom programu za istraživanje i industriju do 2030.⁷⁷ u okviru vodećeg projekta Quantum u Europi se nudi više od 40 specijaliziranih diplomskih programa u području kvantnih tehnologija i inženjerstva. Međutim, to svejedno nije dovoljno da bi se zadovoljila predviđena potražnja *start-up* poduzeća i industrije u EU-u koji se nose s velikim manjkom stručnjaka s potrebnim primijenjenim vještinama. Tim su manjkom najgore pogođena područja praktične primjene⁷⁸, među ostalim kvantno softversko inženjerstvo, integracija sustava i kvantna kibernetička sigurnost, što usporava komercijalizaciju *start-up* i *scale-up* poduzeća sa sjedištem u EU-u.

U okviru Unije vještina⁷⁹ Komisija pokreće nekoliko inicijativa za rješavanje problema manjka vještina, među ostalim u području kvantnih tehnologija. Komisija će 2026. osnovati virtualnu **europsku akademiju za kvantne vještine** kao jedinstvenu, središnju kontaktnu točku koja će davati informacije o dostupnom osposobljavanju u području kvantnih tehnologija i mogućnostima praktične primjene na svim razinama obrazovanja. U okviru te inicijative Komisija će poticati suradnju s akademskom zajednicom, ustanovama za osposobljavanje, istraživačkom zajednicom i partnerima iz industrije na osmišljavanju i realizaciji obrazovnih programa i samostalnih modula za osposobljavanje primjenom interdisciplinarnog pristupa. Programi će se sastojati od zajedničkih kurikuluma na razini ISCED 7 (magistarska ili jednakovrijedna razina) ili ISCED 8 (doktorska ili jednakovrijedna razina) čijim se završetkom stječe diploma po Europskom sustavu prijenosa i prikupljanja bodova (ECTS). Ti će se programi promicati na virtualnim studijskim sajmovima i u okviru programa stipendija.

Nadalje, da bi potaknula stjecanje vještina za budućnost, Komisija će olakšati razvoj inovativnih zajedničkih europskih studijskih programa, među ostalim u strateškim sektorima i ključnim tehnološkim područjima kao što su kvantne tehnologije, po mogućnosti putem europske diplome/oznake na temelju zajednički dogovorenih kriterija.

U skladu s ciljem privlačenja i zadržavanja globalnih talenata postavljenim u okviru Unije vještina ta će akademija podupirati i programe istraživačkih stipendija u području kvantnih tehnologija koji će visokokvalificiranim doktorandima iz EU-a i trećih zemalja i mladim stručnjacima koji žive izvan EU-a omogućiti rad u EU-u.

Da bi proširila i promovirala svoje aktivnosti, akademija će osmisliti aktivnosti komunikacije i informiranja. To će, među ostalim, uključivati namjensku početnu stranicu koja će služiti kao **portal za kvantne talente** integriran u platformu za digitalne vještine i radna mjesta, module za poučavanje nastavnika (engl. *Teach-the-Teacher*) namijenjene sveučilišnim i srednjoškolskim nastavnicima radi postizanja kvantne pismenosti u ranoj fazi obrazovanja te razmjenu primjera najbolje prakse s državama članicama i trećim zemljama koje ispunjavaju uvjete.

Cilj komunikacijskih aktivnosti virtualne akademije bit će senzibiliziranje javnosti, ali i poboljšanje društvenog razumijevanja, povjerenja i upućenog sudjelovanja u politikama u

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

⁷⁷ Strateški program za istraživanje i industriju do 2030. (vodeći projekt Quantum): <https://qt.eu/media/pdf/Strategic-Research-and-Industry-Agenda-2030.pdf>.

⁷⁸ [IQM-State-of-Quantum-2025.pdf](#), RAND Europe: [Quantum's Future Workforce Needs More Than Physicists.](#)

⁷⁹ [COM\(2025\) 90 final.](#)

području kvantnih tehnologija. Važno je napomenuti da će njezine aktivnosti komunikacije i informiranja doprinijeti i povećanju raznolikosti i premošćivanju znatnog rodnog jaza koji je i dalje prisutan među europskom radnom snagom u području kvantnih tehnologija⁸⁰.

Iako je virtualna akademija važan prvi korak, dugoročna je vizija osnivanje nekoliko umreženih akademija rasprostranjenih po cijelom EU-u i povezanih s klasterima za kvantne kompetencije i centrima kompetentnosti za poluvodiče radi povećanja njihove učinkovitosti.

Osim toga, u okviru programa Digitalna Europa⁸¹ Komisija će poduprijeti pilot-projekt za **program kvantnog naukovanja** kako bi se pripremio portfelj stručnjaka za kvantne tehnologije osposobljenih na projektima u stvarnom svijetu i spremnih za (ponovni) ulazak na tržište rada EU-a, a uvest će i programe povratka na posao za stručnjake. Nadalje, kako bi se dodatno potaknulo pozitivno međudjelovanje akademske zajednice i industrije, Komisija će od 2026. organizirati **europska natjecanja u naprednim digitalnim vještinama**, na kojima će mladi sudjelovati u zajedničkom stvaranju kvantnih rješenja za ključne društvene i industrijske izazove, čime će se poticati kreativno i inovativno razmišljanje.

Kako se tehnologija brzo razvija, tako se razvijaju i mijenjaju vještine potrebne za rad u području kvantnih tehnologija, stoga je također nužno stalno pratiti pružatelje usluga obrazovanja i osposobljavanja, potrebe u industriji i potražnju za radnom snagom. U okviru Unije vještina Europski opservatorij za informacije o vještinama pravodobno će pratiti kako se mijenja potražnja za vještinama u strateškim sektorima u Europi.

Europsko vijeće za inovacije pokrenut će 2025. pilot-program za **rezidencijalne istraživače u start-up poduzećima za kvantnu tehnologiju**. Tom će mjerom olakšati ciljano posredovanje pri zapošljavanju istraživača u skladu s konkretnim potrebama brzorastućih poduzeća koje omogućuje posebna platforma za povezivanje istraživača s inovativnim *start-up* i *scale-up* poduzećima.

Konačno, Komisija će pokrenuti **europski program mobilnosti za kvantne talente** kako bi se potaknula međunarodna mobilnost radne snage i razvoj vještina na razini EU-a, država članica i partnerskih zemalja, što uključuje i istraživačke stipendije u području kvantnih tehnologija za doktorande i stručnjake na početku karijere iz trećih zemalja, te zadržala i poduprla postojeća radna snaga radi sprečavanja odljeva mozgova. Za potrebe privlačenja, usavršavanja i zadržavanja odličnih međunarodnih kvantnih istraživača provodit će i aktivnost Marie Skłodowska-Curie (MSCA) „Odaberi Europu”, koja će, među ostalim, obuhvatiti i njih.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Osnovati europsku akademiju za kvantne vještine [2026.]• Organizirati europska natjecanja u naprednim digitalnim vještinama u području kvantnih tehnologija [od 2026. nadalje]• Pokrenuti pilot-program za rezidencijalne istraživače u <i>start-up</i> poduzećima za kvantnu tehnologiju [2025.]• Pokrenuti europski program mobilnosti za kvantne talente [od 2026. nadalje] |
|---|

3 Strateški provedbeni okvir za kvantnu Europu

3.1 Glavne sastavnice provedbe Strategije za kvantnu Europu

Europsko kvantno polje ima jedinstvena obilježja: kvantne tehnologije i dalje su pretežno u povojima, a mnoge njihove osnovne (hardverske i softverske) komponente u ranoj fazi zrelosti. Njihov daljnji razvoj klasičnim, linearnim tijekom od temeljne znanosti do tržišta trajao bi 10

⁸⁰ U visokom obrazovanju i karijerama u području STEM-a prisutna je znatna rodna neravnoteža. Vidjeti [izvješće „She Figures” za 2024.](#)

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

– 15 godina. Da bi se proces ubrzao, uvest će se sljedeća **prilagođena logika provedbe životnog ciklusa tehnologije**, koja će čvrsto povezati istraživanje, inovacije, infrastrukturu i stvaranje ranih tržišta u neprekidnu petlju.

Pristup koji se temelji na životnom ciklusu posebno je bitan u europskom ekosustavu jer i dalje postoje velike znanstvene i inženjerske prepreke⁸² u svim kvantnim područjima koje se moraju svladati da bi se dobile konkretne tehnologije. Nije dovoljno da Europa nađe rješenja za te probleme, ona ih mora i hitno pretvoriti u primjene spremne za tržište prije nego što je u tome trajno preteknu globalni konkurenti.

Da bi se svladale znanstvene i inženjerske prepreke, u okviru inicijative Istraživanje i inovacije za kvantnu Europu (opisane u odjeljku 2.1.) poticat će se:

- **ciljane aktivnosti u području znanosti i tehnologije** čija je svrha rješavanje postojećih glavnih problema u području znanosti i tehnologije koji ograničavaju napredak u svim kvantnim područjima. To će se uglavnom rješavati pozivima u području znanosti i tehnologije utemeljenima na pristupu odozgo prema dolje, kojima će se dopuniti uobičajeni pozivi utemeljeni na pristupu odozdo prema gore,
- **istraživačke i inovacijske aktivnosti koje mogu revolucionirati tržište i ciljane mjere za razvoj određenih kvantnih i razvojnih tehnologija.** Cilj je smanjiti rizik kvantnih inovacija i ubrzati prijenos velikih istraživačkih otkrića u industrijsku praksu.

Uz to, i kako bi se pojačao učinak prethodno navedenog, primjenjivat će se sljedeći pristup:

Mehanizam velikih izazova

Veliki kvantni izazovi poslužit će kao strateški instrumenti za rješavanje jasno definiranih problema u kvantnim tehnologijama s velikim posljedicama. Svrha je tog mehanizma okupiti znanstvenike, industrijske korisnike, proizvođače, integratore i aktere iz područja kvantnih i razvojnih tehnologija u koordinirano djelovanje koje je po ambicijama i strukturi slično prijašnjim inicijativama usmjerenima na misije.

Naglasak će biti na pružanju podrške pojedinačnim *start-up/scale-up* poduzećima u provedbi njihovih planova za transformativne tehnologije na temelju konkurentnog i kolaborativnog razvojnog procesa. Mehanizam velikih izazova omogućit će im da se povežu s vodećim industrijskim korisnicima i istraživačima radi zajedničkog razvoja ključnih, prilagodljivih kvantnih rješenja. Sudjelovanje vodećih industrijskih korisnika ključno je kako bi *start-up* poduzeća zadovoljila industrijske kriterije i potvrdila valjanost svojih tehnologija u industrijskim uvjetima. Prema potrebi, u nekim velikim izazovima mogu kao krajnji korisnici sudjelovati akteri iz sektora obrane, uključujući ministarstva obrane i obrambena poduzeća.

Za *start-up/scale-up* poduzeća odabrana za veliki izazov osigurat će se niz instrumenata (bespovratna sredstva, vlasnički kapital, zajmovi ili drugi instrumenti mješovitog financiranja). Od samog početka sudjelovat će i javni i privatni financijski akteri kako bi se zajamčila usklađenost sa strateškim investicijskim ciljevima i maksimalno povećao učinak.

Od 2025. do 2027. Komisija će zajedno s Europskom investicijskom bankom i državama članicama provesti barem dva probna velika izazova. Tema prvog izazova bit će kvantnoračunalni sustavi otporni na pogreške koji mogu rješavati složene industrijske probleme, a drugog sustavi za kvantno određivanje položaja, navigaciju i mjerenje vremena (PNT) za mjesta na kojima ne rade globalni navigacijski satelitski sustavi. Bude li dostupno financiranje, mogli bi se provesti dodatni veliki izazovi, npr. u području kvantno poboljšanog

⁸² Primjeri tih prepreka u kvantnom računalstvu su prilagodljivi sustavi za ispravljanje kvantnih pogrešaka, kvantne međuveze za modularne arhitekture i kriogena upravljačka elektronika; u kvantnoj komunikaciji to su dalekometni kvantni repetitori, distribucija kvantne prepletenosti kompatibilna s različitim uređajima te sigurne i pouzdane mreže bez čvorova; a u kvantnom opažanju to su minijturni, prijenosni gravimetri, Q-MR sustavi visoke razlučivosti i inercijski senzori za navigaciju bez GNSS-a.

medicinskog snimanja (Q-MR) radi unapređenja rane dijagnostike bolesti i personalizirane medicine.

Pristup koji se temelji na životnom ciklusu tehnologije

Sve spomenute mjere počivat će na **pristupu utemeljenom na životnom ciklusu tehnologije, koji objedinjuje pet strateških područja Strategije za kvantnu Europu** u koordinirani i iterativni razvojni proces koji omogućuje neprekinut ciklus otkrivanja, razvoja, testiranja i uvođenja.

Za taj su model presudne europska kvantna javna infrastruktura i pilot-linije predstavljene u odjeljku 2.2. One služe kao poveznica između istraživanja i industrijalizacije. Njihova izgradnja, održavanje i proširivanje ključni su fizički i organizacijski temelji za daljnje jačanje i razvoj cijelog kvantnog ekosustava. Mogu pomoći u pretvaranju rezultata istraživanja u praktične primjene osiguravanjem testnih platformi, objekata i mreža potrebnih za testiranje, validaciju i široku primjenu istraživačkih otkrića. Idealne su platforme za privlačenje talenata i razvoj praktičnih primjena i primjera upotrebe. Naposljetku, omogućuju kvantnim *start-up* poduzećima i MSP-ovima da pristupe najnovijim tehnološkim platformama i laboratorijima kako bi mogli doraditi prototipove i pripremiti ih za industrijsku primjenu. Udružena mreža klastera za kvantne kompetencije poslužit će i kao katalizator tog pozitivnog pristupa utemeljenog na životnom ciklusu kako bi povezala istraživačke organizacije, *start-up* poduzeća, *scale-up* poduzeća, veliku industriju i pružatelje infrastrukture radi učvršćivanja veza između znanstvenih i industrijskih aktera.

Da bi životni ciklus bio pouzdan i svrsishodan, uvest će se ključni pokazatelji uspješnosti, praćenje faza i uspoređivanje s postojećim tehnologijama.

Konačno, taj integrirani model usklađuje strategije EU-a i država članica ulaganjem u zajedničke ciljeve i stvaranjem koordiniranih sustava povratnih informacija. Tako se izbjegava preklapanje, stvara kritična masa i jača međunarodni utjecaj Europe na smjer razvoja i uvođenja kvantnih tehnologija.

4 Međunarodna suradnja

Zbog sve veće geopolitičke nesigurnosti i njezinih izravnih posljedica na klimu ulaganja i trgovanja u svijetu Europa mora zaštititi vlastite interese, očuvati svoju otvorenost i aktivno surađivati s pouzdanim partnerima. To se spominje u nizu nedavnih politika EU-a, među ostalim u njenoj Međunarodnoj digitalnoj strategiji i Strategiji gospodarske sigurnosti.

Prednost se daje partnerima kao što su zemlje istomišljenice, naročito zemlje s kojima EU već surađuje na rješavanju pitanja tehnološke i trgovinske politike u okviru, primjerice, sporazuma o slobodnoj trgovini, vijeća za trgovinu i tehnologiju⁸³ ili digitalnih partnerstava⁸⁴. Komisija namjerava proširiti tu suradnju inicijativama koje obuhvaćaju zajedničke programe istraživanja, koordinirane pozive, razmjenu stručnog znanja, uzajaman pristup infrastrukturama, usklađene okvire za intelektualno vlasništvo i pripremu svjetskih kvantnih normi. Udružiti će snage i po pitanju konkretnih primjena kvantnih tehnologija u sektorskim politikama, primjerice za razvoj novih materijala. U tom je kontekstu EU u suradnji s Japanom, Republikom Korejom i Kanadom već počeo provoditi zajedničke istraživačke i inovacijske projekte u području kvantnih tehnologija.

EU će surađivati i s brzorastućim kvantnim ekosustavima u nastajanju koji nude gospodarske prilike poduzećima iz EU-a, daju konkurentan poticaj kvantnoj industriji EU-a na globalnoj razini i omogućuju europskim kvantnim poduzećima da diversificiraju partnerstva i smanje ovisnost o drugima. Tim će se pristupom voditi bilateralna i multilateralna partnerstva koja se

⁸³ S SAD-om i Indijom.

⁸⁴ S Kanadom, Japanom, Singapurom i Južnom Korejom.

temelje na zajedničkim vrijednostima, uzajamnom povjerenju te komplementarnosti sposobnosti i tržišta, pri čemu će se adekvatno zaštititi interesi EU-a u strateškim područjima.

Osim toga, EU će u području kvantne tehnologije aktivnije sudjelovati u međunarodnim forumima za normizaciju, trgovinskim dijalozima i multilateralnim kvantnim savezima⁸⁵.

Komisija će pritom blisko surađivati s državama članicama na uspostavi usklađenog europskog okvira za međunarodnu suradnju u području kvantnih tehnologija koji utvrđuje prioritetne zemlje i područja za strukturiranu suradnju. Zalagat će se i za zajedničke diplomatske inicijative i zauzimanje zajedničkih europskih stajališta o kvantnim tehnologijama kako bi se jasno čuo glas Europe u oblikovanju globalnog upravljanja i etike u kvantnim inovacijama.

- Proširiti i pokrenuti nove inicijative za bilateralnu i multilateralnu suradnju sa zemljama istomišljenicama [od 2025. nadalje]
- Raditi s državama članicama na europskom okviru za međunarodnu suradnju u području kvantnih tehnologija [od 2025. nadalje]

5 Upravljanje

Odlučno i uključivo upravljanje na razini EU-a nužno je za usmjeravanje, koordinaciju i praćenje provedbe Strategije za kvantnu Europu, čime se potiče sudjelovanje cijele Unije u smislu uključenosti svih država članica i predstavnika svih vrsta kvantnih dionika, ali i postiže rodna ravnoteža.

Prvo, **savjetodavni odbor na visokoj razini** koji okuplja vodeće europske kvantne znanstvenike i tehnološke stručnjake donijet će neovisne strateške smjernice za provedbu Strategije za kvantnu Europu.

Drugo, **okvir za strukturiranu suradnju s državama članicama** doprinijet će dosljednoj provedbi u svim programima na razini EU-a i država članica, koordinaciji godišnjeg napretka životnog ciklusa u pet strateških područja i praćenju razvoja sigurnosti i otpornosti kvantnih lanaca opskrbe i njihovih ključnih sastavnica. **Posebna stručna skupina** koja okuplja sve države članice⁸⁶ već intenzivno djeluje i bit će aktivno uključena u budući rad Upravnog odbora Zajedničkog poduzeća EuroHPC nakon izmjene uredbe o zajedničkom poduzeću.

Konačno, Komisija će nastaviti blisko surađivati s cijelom europskom kvantnom zajednicom, među ostalim s akademskom zajednicom, *start-up* poduzećima, industrijskim akterima, inovacijskim dionicima i njihovim predstavnicima.

6 Zaključci

Kvantne tehnologije su na prekretnici. EU se etablirao kao svjetski predvodnik u kvantnom istraživanju i položio temelje za konkurentnu industrijsku bazu. Međutim, svjetska utrka u iskorištavanju kvantnih tehnologija ubrzava. Vodeće zemlje povećavaju javna ulaganja, koordiniraju nacionalne strategije i konsolidiraju procese prijenosa znanstvenih otkrića u industriju radi postizanja tehnološke suverenosti i gospodarske prednosti. Zahvaljujući potencijalnoj dvojnoj namjeni kvantne tehnologije mogu povećati svoju sigurnosnu i obrambenu sposobnost. Ishod projekata sve više ovisi o privatnim ulaganjima. Ako Europa želi ostati konkurentna, oblikovati vrijednosti na kojima se temelje kvantne inovacije i iskoristiti sve gospodarske, sigurnosne i druge prednosti vlastitog intelektualnog vodstva, mora djelovati žurno, jasno i složno.

⁸⁵ Na sastanku na vrhu skupine G-7 održanom u lipnju 2025. njezini čelnici potvrdili su transformacijski potencijal kvantne tehnologije i obvezali se da će poticati ulaganja, njegovati pouzdanu globalnu suradnju i jačati veze među nacionalnim mjeriteljskim institutima preko zajedničke radne skupine u okviru skupine G-7. Vidjeti: [Kananaskis Common Vision for the Future of Quantum Technologies](#).

⁸⁶ [Europska koordinacijska skupina predstavnika država članica za kvantnu tehnologiju](#).

Sad je trenutak da Europa zauzme vodeći položaj. Ova strategija nije konačni cilj, nego okvir koji se razvija, odnosno nacrt koji se provodi radi ostvarivanja kvantne budućnosti Europe. Za to je potrebno zajedničko zalaganje EU-a, država članica, industrije, akademske zajednice i civilnog društva u cjelini. Postignu li uspjeh, kvantne tehnologije začet će sljedeću tehnološku revoluciju i potvrditi konkurentnost EU-a, pri čemu će Europa biti na njezinu čelu i neovisno je oblikovati.

DODATAK

Sažetak mjera Strategije za kvantnu Europu

1. područje: Inicijativa za kvantna istraživanja i inovacije
• izmijeniti Uredbu o Zajedničkom poduzeću EuroHPC kako bi se njegova nadležnost proširila na sve kvantne tehnologije i za početak prenijele na njega postojeće kvantne istraživačke i inovacijske aktivnosti u okviru programa Obzor Europa [treće tromjesečje 2025.] • predstaviti prijedlog kvantnog akta [2026.] • provesti dva probna velika izazova u području kvantnih tehnologija (kvantnoračunalni sustavi otporni na pogreške i kvantni PNT sustavi) [2025. – 2027.]
2. područje: Infrastrukture kvantne Europe
• objaviti plan EU-a za kvantno računalstvo i simulaciju [2026.] • povećati broj i kapacitet kvantnoračunalnih sustava koji se temelje na EuroHPC-u [od 2026. nadalje] • uspostaviti okvir za praćenje kvantnog računalstva [2026.] • uvesti prvu međupovezanu pokusnu kvantnu zemaljsku i svemirsku sigurnu komunikacijsku mrežu u EU-u [do 2030.] • objaviti plan za kvantnu komunikaciju [2026.] • otvoriti pilot-objekt za europski kvantni internet [2026.] • uvesti mrežu gravimetara raspoređenih po cijeloj Europi [od 2026. nadalje] • objaviti plan za kvantno opažanje [2026.] • uspostaviti europsku pilot-infrastrukturu za Q-MR i proširiti je po cijeloj Europi [od 2025. nadalje]
3. područje: Ekosustav kvantne Europe
• uspostaviti šest novih kvantnih proizvodnih pilot-linija u okviru Zajedničkog poduzeća za čipove [2025.] • pokrenuti objekt za projektiranje kvantnih tehnologija [2026.] • objaviti plan za industrijalizaciju kvantnih čipova [2026.] • izdati europski plan za kvantne norme [2026.] • Proširiti mrežu klastera za kvantne kompetencije [2026.] • provesti i dovršiti procjene slabih točaka u lancu opskrbe u cijelom EU-u [2025. – 2026.]
4. područje: Kvantne tehnologije za svemir i kvantne tehnologije s potencijalnom dvojnog namjenom (sigurnost i obrana)
• potpisati s ESA-om sporazum o suradnji na pripremi plana za kvantne tehnologije u svemiru [drugo tromjesečje 2025.] • izraditi plan za svemirsku i obrambenu tehnologiju za kvantno opažanje [2026.] • doprinijeti europskom tehnološkom planu za naoružanje [četvrto tromjesečje 2025.] • pokrenuti inicijative za spin-in radi udruživanja civilnih poduzeća i akademske zajednice na obrambenim projektima [od 2026. nadalje]
5. područje: Kvantne vještine
• osnovati europsku akademiju za kvantne vještine [2026.] • organizirati europska natjecanja u naprednim digitalnim vještinama u području kvantnih tehnologija [od 2026. nadalje] • pokrenuti pilot-program za rezidencijalne istraživače u <i>start-up</i> poduzećima za kvantnu tehnologiju [2025.] • pokrenuti europski program mobilnosti u području kvantnih tehnologija [od 2026. nadalje]
Međunarodna suradnja

- pokrenuti inicijative za bilateralnu i multilateralnu suradnju [od 2025. nadalje]
- raditi s državama članicama na uspostavi europskog okvira za međunarodnu suradnju u području kvantnih tehnologija [od 2025. nadalje]