

Arvonluonti 5G- ja 6G-aikakauden geoeconomisessa murroksessa



Heli Koski, ETLA

Petri Rouvinen, ETLA

Timo Ali-Vehmas, CKIR

Nina Hyvärinen, CKIR

Ilkka Lakaniemi, CKIR

Risto Lehtinen, CKIR

Denisa Mäki, CKIR

Suosittelava lähdeviittaus:

Koski, Heli, Rouvinen, Petri, Ali-Vehmas, Timo, Hyvärinen, Nina, Lakaniemi, Ilkka, Lehtinen, Risto & Mäki, Denisa (9.6.2026). ”Arvonluonti 5G- ja 6G-aikakauden geoeconomisessa murroksessa”. ETLA Muistio nro 183. <https://pub.etla.fi/ETLA-Muistio-Brief-183.pdf>

Tiivistelmä

Uuden sukupolven mobiiliteknologiat 5G ja 6G ovat enemmän kuin viestintäinfrastruktuuria: ne ovat alusta data- ja ohjelmistovetoiselle arvonluonnille, tuottavuudelle ja hyvinvoinnille. Globaalissa 5G- ja 6G-tekniologioihin liittyvässä t&k-toiminnassa johtajuus on keskittynyt yhä vahvemmin Yhdysvaltoihin ja Aasiaan, kun taas Euroopan osuus on supistunut erityisesti ylemmissä data- ja ohjelmistovetoisissa arvonluonnin kerroksissa.

Geopoliittinen fragmentaatio kaventaa rajat ylittävää innovaatioyhteistyötä ja kansainvälisten innovaatioverkostojen monimuotoisuutta. EU:n digisääntely vahvistaa kuluttajan oikeuksia ja yksityisyydensuojaa mutta lisää samalla sääntelyn noudattamisen kustannuksia yrityksille ja etenkin dataintensiivisillä toimialoilla innovointikustannuksia. Poliitikassa olennaista on tunnistaa turvallisuuden sekä tiedon ja datan liikkumisesta saatavien hyötyjen välinen ristiveto (trade-off) ja kohdentaa turvallisuus- ja huoltovarmuustoimet riskiperusteisesti niin, että kansainväliset innovaatioyhteistyön ja tiedon hyödyntämisen mahdollisuudet parantuvat. Julkisten toimien tulisi parantaa edellytyksiä datan (myös rajat ylittävälle) liikkumiselle ja hyödyntämiselle sekä vahvistaa yritysten kannusteita investoida arvonluonnin kasvualueisiin (dataan, ohjelmistoihin ja puolijoihteisiin).

Abstract

Value Creation in the Geoeconomic Transformation of the 5G and 6G Era

5G and 6G are more than communications infrastructures: they provide a foundation for data- and software-driven value creation, productivity growth, and welfare. In global R&D related to 5G and 6G, leadership has become increasingly concentrated in the United States and Asia, while Europe's share has declined, especially in the upper layers of value creation driven by data and software.

Geopolitical fragmentation reduces cross-border innovation collaboration and the diversity of international innovation networks. EU digital regulation strengthens consumer rights and privacy protection but also raises compliance costs for firms and increases innovation costs, particularly in data-intensive sectors. A central policy challenge is to balance security objectives with the benefits of data and information flows, and to target security and resilience measures on a risk-based basis so that opportunities for international innovation collaboration and knowledge use are preserved. Public policy should improve the conditions for the movement and use of data, including across borders, and strengthen incentives for firms to invest in the main growth areas of value creation: data, software, and semiconductors.

KTT **Heli Koski** on Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen tutkimusjohtaja. (heli.koski@etla.fi)

PhD (Econ.) **Petri Rouvinen** on Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen tutkimusneuvonantaja ja Suomen itsenäisyyden juhlarahaston Sitran vanhempi neuvonantaja. (petri.rouvinen@etla.fi)

TkT **Timo Ali-Vehmas** on vieraileva tutkija Aalto-yliopistossa ja yksityinen sijoittaja. (timo.ali-vehmas@aalto.fi, timo.ali-vehmas@iki.fi)

Nina Hyvärinen on Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun CKIR-yksikön vanhempi neuvonantaja ja NMH Global Oy:n toimitusjohtaja. (nina.hyvarinen@aalto.fi)

Tutkimusjohtaja **Ilkka Lakaniemi** on Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun CKIR-yksikön johtaja. (ilkka.lakaniemi@aalto.fi)

DI **Risto Lehtinen** on Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun CKIR-yksikön tutkija. (risto.lehtinen@aalto.fi)

Denisa Mäki on Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun CKIR-yksikön tutkija. (denisa.maki@aalto.fi)

Ph.D. (Econ.) **Heli Koski** is a Research Director at ETLA Economic Research. (heli.koski@etla.fi)

PhD (Econ.) **Petri Rouvinen** is a Research Advisor at ETLA Economic Research and a Senior Advisor at The Finnish Innovation Fund Sitra. (petri.rouvinen@etla.fi)

DSc (Tech.) **Timo Ali-Vehmas** is a Visitor at Aalto University and Private Investor. (timo.ali-vehmas@aalto.fi, timo.ali-vehmas@iki.fi)

Nina Hyvärinen is a Senior Advisor at CKIR, Aalto University School of Business, and the CEO of NMH Global Oy. (nina.hyvarinen@aalto.fi)

Research Director **Ilkka Lakaniemi** is Director at CKIR, Aalto University School of Business. (ilkka.lakaniemi@aalto.fi)

M.Sc. (Tech.) **Risto Lehtinen** is a Researcher at the CKIR, Aalto University School of Business. (risto.lehtinen@aalto.fi)

Denisa Mäki is a Researcher at CKIR, Aalto University School of Business. (denisa.maki@aalto.fi)

Kiitokset: ETLA, CKIR ja raportin kirjoittajat kiittävät Business Finlandia *Miten uusi geopolitiikka vaikuttaa 5G- ja 6G-teollisuuteen* -projektin tukemisesta (Diaari Nro 3265/31/2024).

Tämän muistion työstämisessä on hyödynnetty tekoälyä ihmistyön tukena Etlan eettisen ohjeiston mukaisesti (versio 14.1.2026, ks. <https://www.etla.fi/ai-etiikka>).

Acknowledgements: ETLA, CKIR, and the authors wish to thank Business Finland for its kind support of the *Mobile is Global – How the new geopolitics influence the 5G and 6G industry* project (Diary Number 3265/31/2024).

Artificial intelligence has been used to support human work in the preparation of this brief in accordance with ETLA's ethical guidelines (version 14.1.2026, see <https://www.etla.fi/en/ai-ethics>).

Avainsanat: 5G/6G, Geopolitiittinen fragmentaatio, Innovaatioverkostot, Keksijäyhteistyö, Digi- ja turvallisuussäätely, Kilpailukyky

Keywords: 5G/6G, Geopolitical fragmentation, Innovation networks, Inventor collaboration, Digital and security regulation, Data mobility, Competitiveness

JEL: O31, O33, L96, F51, O38

5G/6G mahdollistaa arvonluonnin: verkot, data ja geoeconomiset pelisäännöt

Suomen vientivetoinen talous rakentuu yhä vahvemmin strategisten teknologioiden varaan. 5G on jo yhteiskuntien perusinfrastruktuuria, ja 6G:n myötä verkot kytkeytyvät tiiviimmin dataan, tekoälyyn, ohjelmistoihin ja kriittisiin toimitusketjuihin. Samalla geopoliittinen kilpailu ja turvallisuuspolitiikka (vientivalvonta, sanktiot, toimittajarajaukset) muokkaavat markkinoita, standardointia ja tutkimusyhteistyötä.

EU on vastannut teknologiseen kilpailuun sekä turvallisuus- ja resilienssipainotteisilla toimilla (mm. EU:n 5G-työkalupakki, kyberturvallisuussäädös (CSA2), digiverkkoasetus (DNA)) että laajalla digisääntelyllä (esim. digimarkkinasäädös (DMA), datasäädös (Data Act) ja tekoälyasetus (AI Act)). Digisääntely vahvistaa kuluttajien oikeuksia ja yksityisyydensuojaa, mutta sen kumulatiiviset noudattamiskustannukset heikentävät erityisesti pienten yritysten innovointikykyä. Lisäksi datan käyttöä ja siirtoa koskevat rajoitukset voivat jarruttaa etenkin dataintensiivisten yritysten innovointia ja kasvua sekä lisätä kannustimia siirtää toimintaa unionin ulkopuolelle.

Geotalous (geoeconomics) tarkoittaa kansainvälistä valtapolitiikkaa taloudellisin keinoin (esim. vientivalvonta, sanktiot, investointien seulonta, dataan liittyvät rajoitteet). Se vaikuttaa 5G/6G-alueella (i) siihen, mitkä markkinat ja toimitusketjut ovat käytettävissä, ja (ii) siihen, miten standardointi, investoinnit ja t&k-yhteistyö organisoituvat.

Kansallista etua on hyödyllistä tarkastella kahdesta näkökulmasta. Ensinnäkin 5G- ja 6G-teknologioiden käytössä tavoitteena on laajasti saatavilla oleva, laadukas ja kustannustehokas infrastruktuuri, joka tukee tuottavuuden kasvua ja palveluiden digitalisaatiota. Toiseksi 5G- ja 6G-ratkaisujen tarjoamisessa tavoitteena on maksimoida Suomessa syntyvä arvonlisä koko taloudessa ottaen huomioon pitkän aikavälin osaaminen, omistajuus ja huoltovarmuus.

Geopoliittinen fragmentaatio kaventaa innovaatioverkostoja, ja sääntely haastaa kasvua ja innovointia

Pienenä, avoimena ja teknologiaan nojaavana taloutena Suomi hyötyy kansainvälisestä yhteistyöstä, mutta altis-

Kuvio 1 5G/6G-arvonluonnin geoeconomisen toimintaympäristö



Lähde: Kirjoittajien laatima kaavio.

tuu myös verkostojen fragmentaatiolle ja investointien siirtymälle kohti Yhdysvaltoja ja Aasiaa.

5G/6G-politiikassa kansallista etua on hyödyllistä jäsentää neljän toisiinsa kytkeytyvän tavoitteen kautta:

- Ensinnäkin teknologian ja palvelujen diffuusion on oltava nopeaa ja laajaa ennakoitavassa investointi- ja toimintaympäristössä.
- Toiseksi rakentamis- ja käyttökustannusten on pysyttävä matalina toimivan kilpailun ja tarkoituksenmukaisen infrastruktuurin yhteiskäytön avulla.
- Kolmanneksi verkkojen ja kriittisten riippuvuuksien on oltava mahdollisimman häiriösietokykyisiä realistisia sisäisiä ja ulkoisia uhkia vastaan.
- Neljänneksi datan turvallisuuden on perustuttava sekä teknisiin että hallinnollisiin keinoihin, kuten salaukseen, varmentamiseen ja nollaluottamusmalleihin (Rouvinen ym., 2024).

Geopolitiikka ohjaa 5G/6G-ekosysteemin kehitystä entistä suoremmin. Teknologia on noussut suurvaltakilpailun ytimeen, mikä näkyy vientivalvonnassa, sanktioissa ja toimitusketjujen uudelleenjärjestelyssä. Kosken (2026) patenttiaiineistoon vuosilta 2010–2023 perustuva analyysi osoittaa, että geopolitiittisen fragmentaation kasvu kaventaa rajat ylittävää innovaatioyhteistyötä: yhden keskihajonnan kasvu fragmentaatioissa pienentää USA–Kiina-keksijäyhteyden todennäköisyyttä noin 2,1 prosenttiyksikköä eli noin neljänneksen suhteessa keskiarvoon. Fragmentaatio vähentää myös keksijätiimien monimuotoisuutta ja geopolitiittisesti vastakkaisista blokeista tulevien keksijöiden osallistumista innovointiin. Aiempi tutkimus osoittaa, että monimuotoiset innovaatioverkostot tukevat tiedon yhdistelyä ja uusien ratkaisujen syntymistä. Innovaatioverkostojen kaventuminen voi siten heikentää innovoinnin kannalta tärkeiden tietovirtojen ja osaamisen yhdistämisen mahdollisuuksia sekä pitkällä aikavälillä myös innovaatioiden laatua. Tämä korostaa tarvetta kohdentaa turvallisuus- ja suvereniteettitavoitteita edistävät toimet siten, että ne rajoittavat mahdollisimman vähän matalan riskin tutkimus- ja innovaatioyhteistyötä.

Euroopassa digisääntely vahvistaa kuluttajan oikeuksia ja yksityisyydensuojaa, mutta se voi myös kasvattaa innovoinnin ja kasvun kustannuksia etenkin dataintensiivisillä aloilla (Koski, 2025; Koski & Rouvinen, 2025). Samanlaisesti globaalit t&k-panostukset kasvavat nopeimmin digipalveluissa ja puolijohdeissa. Näillä alueilla kehitys

Euroopassa on ollut verrattain heikkoa, mikä lisää riskiä siitä, että Eurooppa jää infrastruktuurivahvuutensa varaan, jos data- ja ohjelmistokerrokset sekä kaupallinen skaalautuminen eivät vahvistu (Koski & Rouvinen, 2025).

Koski ja Rouvinen (2025) osoittavat, että 5G/6G-teknologioihin liittyvien alojen yritysjohtoisen t&k:n painopiste on viime vuosikymmenellä keskittynyt yhä selvemmin Yhdysvaltoihin ja Aasiaan. EU:n osuuden heikkeneminen on ollut laaja-alaista, ja se korostuu erityisesti digipalveluissa ja muissa dataintensiivisissä toiminnoissa. Tämä vahvistaa riskiä siitä, että Eurooppa jää suhteellisesti vahvaksi verkko- ja laitekerroksissa, mutta menettää jalansijaa niissä 5G/6G-ekosysteemin kerroksissa, joissa suurin taloudellinen arvo syntyy (data, ohjelmistot ja puolijohdeet). Pitkällä aikavälillä tämä voi heikentää myös EU:n mahdollisuuksia vaikuttaa teknologisen kehityksen suuntaan ja kansainvälisten pelisääntöjen muotoutumiseen.

Turvallisuus ja tiedon liikkuminen: riskiperusteinen kohdentaminen

Edellä esitetyt tutkimustulokset korostavat politiikkadiagrammaa: turvallisuus- ja huoltovarmuustavoitteita tulisi edistää niin, että 5G- ja 6G-teknologioiden mahdollistama tiedon, datan ja osaamisen yhdistely ei tarpeettomasti heikkene. Vaikka EU:ssa sääntely perustuu lähtökohtaisesti riskiperusteiseen lähestymistapaan, käytännön toimeenpanossa on eroja. Esimerkiksi EU:n 5G-turvallisuustyökalupakki, NIS2-direktiivi ja kyberturvallisuuden sertifiointikehikko perustuvat riskienhallintaan, mutta jättävät jäsenmaille liikkumavaraa toimeenpanossa. Sääntelyä tulisi kehittää johdonmukaisemmin kohti mallia, jossa toimenpiteet kohdistetaan tarkasti toimittajiin, komponentteihin ja käyttötarkoituksiin todellisten riskien perusteella.

Eryyisesti pienissä avoimissa talouksissa innovaatioikyky nojaa muualta läikkyvään tietoon, rajat ylittäviin kumppanuuksiin sekä eri lähteistä tulevan tiedon yhdistelyyn. Siksi olisi olennaista määrittää, millainen kansainvälinen yhteistyö on matalariskistä ja miten se pidetään mahdollisena selkein pelisäännöin (esim. standardointi, avoin lähdekoodi ja rajatut tutkimusasetelmat), samalla kun korkean riskin riippuvuuksia vähennetään. Tällainen lähestymistapa edellyttää riskiperusteista arviointikehikkoa, joka erottaa matalan riskin yhteistyön korkean riskin riippuvuuksista.

Ennustettava sääntely-ympäristö ja kohtuullinen noudattamisrasite ovat investointien ja kasvun edellytys. Teknologiapoliitiikan keskeinen haaste on tasapainottaa turvallisuus- ja huoltovarmuustavoitteet sekä kilpailun ja innovoinnin edellytykset.

Skenaariotyön näkökulmia arvonluonnin kasvualueisiin

Hankkeessa laaditut skenaariot ja niitä täydentäneet työpajat jäsentävät 5G/6G-kehitystä epävarmuuksien, valintojen ja niiden seurausten kautta (CKIR, 2025). Niiden keskeinen viesti on, että kilpailukyky ei ratkea vain infrastruktuuri-investointien määrällä vaan sillä, miten verkot kytkeytyvät dataan, ohjelmistoihin, tekoälyyn ja muihin täydentäviin teknologioihin eri käyttötapauksissa.

Skenaariotyö siirtää huomion yksittäisistä teknologioista arvonmuodostuksen kannalta ratkaiseviin yhdistelmiin. Olennaista on, syntyykö Eurooppaan kykyä kehittää, yhdistää ja kaupallistaa verkkoihin kytkeytyviä ratkaisuja esimerkiksi tekoälyn, kyberturvallisuuden, puolijohteiden, satelliittijärjestelmien ja sovelluskehityksen alueilla. Tästä näkökulmasta keskeinen kysymys ei ole vain teknologinen suorituskyky vaan se, mille toimijoille infrastruktuurin mahdollistama lisäarvo lopulta kanavoituu.

Skenaariot korostavat myös, että kilpailukyky riippuu kyvystä yhdistää tutkimus, standardointi, investoinnit ja käyttöönotto toimiviksi kokonaisuuksiksi. Suurimmat taloudelliset hyödyt syntyvät vasta silloin, kun 5G/6G-verkot, tekoäly, kyberturvallisuus ja muut täydentävät teknologiat kytkeytyvät konkreettisiin käyttötapauksiin esimerkiksi teollisuudessa, energiassa, liikenteessä, logistiikassa, terveydenhuollossa sekä turvallisuus- ja puolustussektorilla. Näissä nopeasti kehittyvissä ekosysteemeissä tekoälyasetuksen riskiperusteinen sääntelymalli voi muodostua merkittäväksi toimintaympäristöä ohjaavaksi tekijäksi. Sen vaikutukset voivat ulottua yksittäisiä tekoälysovelluksia laajemmalle ja vaikuttaa digitaalisten ekosysteemien rakenteeseen. Eri riskiluokkien vaatimukset voivat myös vaikeuttaa palvelujen, datalähteiden ja teknologioiden yhdistämistä osaksi samoja kokonaisuuksia.

Skenaariot korostavat käyttöönoton kannalta kriittisiä edellytyksiä, kuten sääntelyn ennakoitavuutta, taajuuksien joustavaa käyttöä, pilotointi- ja testialustoja, regu-

laatiohiekkalaatikoita sekä standardointikyvykkyyttä. Skenaariotyö auttaa arvioimaan, milloin sääntely tukee uusien ratkaisujen kehittämistä ja käyttöönottoa ja milloin se alkaa hidastaa teknologioiden yhdistelyä, markkinoille pääsyä ja ekosysteemien muodostumista. Samalla se tekee näkyväksi, että Euroopan arvonluonnin kannalta ratkaisevaa ei ole ainoastaan se, rakennetaanko tulevaisuuden verkot, vaan myös se, kuka hallitsee niiden päälle rakentuvia teknologioita, palveluja ja ekosysteemejä.

Politiikkatoimet 5G/6G-aikakaudella

Tutkimuksesta nousevat havainnot korostavat, että 5G/6G-ympäristössä politiikan keskeinen haaste on yhdistää turvallisuus- ja resilienssitavoitteet, yksityisyydensuoja, datan ja tiedon liikkumisen hyödyt sekä eurooppalaisten toimijoiden skaalautumisedellytykset. Tässä valossa politiikkatoimien tulisi painottaa (i) kumulatiivisen sääntelytaakan hallintaan, (ii) riskiperusteiseen kohdentamiseen ja (iii) kasvua ja investointeja tukevien kannusteiden vahvistamiseen.

Politiikkatoimet:

- Sääntelyä tulee kehittää niin, että veloitteet ovat yhteensopivia ja toimeenpano ennakoitavaa; tavoitteena on vähentää päällekkäisiä vaatimuksia ja hallinnollista taakkaa.¹ (EU)
- Turvallisuutta ja resilienssiä vahvistavat toimet tulee kohdentaa riskiperusteisesti niin, että rajoitteet kohdistuvat eri tavoin eri riskitasoa edustaviin toimittajiin, komponentteihin ja käyttötarkoituksiin. (EU+Suomi)
- Matalan riskin innovaatioyhteistyöhön sekä datan lailliseen liikkumiseen ja yhdistelyyn tulisi aktiivisesti kannustaa selkein ja ennakoitavin pelisäännöin. (EU+Suomi)
- Datan hyödyntämisen edellytyksiä tulee vahvistaa ja kasvua tukevia instrumentteja kohdentaa voimakkaammin arvokerrokseen, joissa arvonlisäykset ovat suurimpia. (EU+Suomi)
- Suomen tulee säilyttää ja strategisesti vahvistaa asemaansa kansainvälisessä standardoinnissa sekä varmistaa, että standardointivaikuttaminen kytkeytyy johdonmukaisesti kansalliseen t&k-politiikkaan, IPR-strategioihin ja kaupallistamista tukeviin toimiin. (Suomi)

Kirjallisuus

Ali-Vehmas, T. (2026). *Era of Mobile Communications: A European Success Story?* Julkaisematon CKIR-raportti, Aalto-yliopisto.

CKIR (2025). *MIG-Skenaariotarinat*. CKIR-osaamiskeskus, Aalto yliopisto.

Koski, H. (2025). *Privacy Regulation and R&D Investments: Causal Evidence from Global Pharmaceutical and Biotechnology Firms*. ETLA Working Papers No 130. <https://pub.etla.fi/ETLA-Working-Papers-130.pdf>

Koski, H. (2026). *Geopolitical Fragmentation and the Geography of 5G Innovation*. ETLA Working Papers No 140. <https://pub.etla.fi/ETLA-Working-Papers-140.pdf>

Koski, H. & Rouvinen, P. (2025). *The Global 5G/6G Race: Regulation, Markets, and Innovation Dynamics*. ETLA Report No 170. <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-170.pdf>

Rouvinen, P., Ali-Vehmas, T., Harakka, T., Hyvärinen, N., Koski, H., Kässi, O., Lakaniemi, I., Mäki, D. & Thorén, K. (2024). *5G in the Era of Geoeconomics: Playbook for Finland?* ETLA Report No 152. <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-152.pdf>

ETLA



Elinkeinoelämän tutkimuslaitos

ETLA Economic Research

ISSN-L 2323-2463
ISSN 2323-2463

Kustantaja: Etlatieto Oy

Puh. 09-609 900
www.etla.fi
etunimi.sukunimi@etla.fi

Arkadiankatu 23 B
00100 Helsinki
