

Markus Salmi

**PUOLIJOHTEIDEN TOIMITUSKETJUN RISKIT:
VAIKUTUKSET PUOLIJOHDEMARKKINAN JA SIINÄ
TOIMIVIEN YRITYSTEN JATKUVUUTEEN**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2024

TIIVISTELMÄ

Salmi, Markus

Puolijohteiden toimitusketjujen riskit: Vaikutukset puolijohdesektorin ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuteen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2024, 38 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Vuorinen, Jukka

Puolijohteet ovat kaiken modernin teknologian, ja siten myös tietojärjestelmien perusta. Niiden avulla rakennetaan nykyajan puhelimet, tietokoneet, palvelimet, kodinkoneet, ja listaa voisi jatkaa lähes loputtomiin. Puolijohteet ovat myös geopolittisen vallan väline, koska ne määrittävät niin kansainvälisen taloudellisen, kuin myös sotilaallisen vallan. Niiden saatavuus määrittää teknologian kehityksen ja uudet innovaatiot. Puolijohteiden saatavuus taas on riippuvainen puolijohteiden toimitusketjujen sujuvuudesta. Puolijohteiden toimitusketjut ovat kuitenkin niin globaalisti hajautuneet, sekä samalla yksittäisille yrityksille keskittyneet, että niihin liittyy merkittäviä riskejä. Toimitusketjujen riskit ovat merkittävä riski koko puolijohdemarkkinalle, kuin myös siinä toimiville yrityksille. Tässä tutkielmassa perehdyttiin puolijohteiden merkitykseen tietojärjestelmissä ja teknologian kehityksessä. Tutkielmassa syvennyttiin kahteen puolijohteiden toimitusketjujen riskiin, sen monimutkaisuuteen ja siihen liittyviin geopolittisiin jännitteisiin, sekä syihin näiden riskien muodostumiselle. Tavoitteena oli pohtia näiden riskien merkitystä puolijohdesektorin ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuteen. Tutkielmassa pohdittiin myös valtioiden ja niissä toimivien yritysten varautumista mahdollisiin puolijohdekatkoksiin. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Aineistona tutkielmassa käytettiin vertaisarvioituja tutkimusartikkeleita, alan ajankohtaisia raportteja, sekä kirjoja. Tutkielmassa tutkitaan, mistä puolijohteiden toimitusketjujen riskit muodostuvat, ja osoitetaan niiden vaikuttavan puolijohdemarkkinan ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuteen. Tutkielmassa käy ilmi, että puolijohdemarkkina ja siinä toimivat yritykset ovat hyvin haavoittuvaisia toimitusketjun globaalisuuden ja monimutkaisuuden vuoksi. Myös geopolittiset jännitteet, ja niistä kumpuavat valtioiden toimet muokkaavat puolijohteiden toimitusketjujen toimintaa. Näiden toimitusketjujen riskien todetaan heikentävän puolijohdemarkkinan ja siinä toimivien yritysten jatkuvuutta. Valtioiden ja yritysten tulisi varautua puolijohdekatkoksiin vahvistamalla alueellista puolijohteiden toimitusketjua, joka vähentäisi riippuvuutta muihin valtioihin. Valtion sisäinen täydellinen puolijohteiden toimitusketju on kuitenkin mahdotonta rakentaa. Pelkkä alueellisen toimitusketjun vahvistaminen ei myöskään poista kaikkia riskejä, se vain vähentää niitä.

Asiasanat: puolijohde, toimitusketju, sirupula, kauppasota

ABSTRACT

Salmi, Markus

Semiconductor supply chain risks: Impacts on the continuity of the semiconductor sector and the companies operating within it

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2024, 38 pp.

Information systems, bachelor's thesis

Supervisor: Vuorinen, Jukka

Semiconductors form the foundation of all modern technology. The manufacturing and innovation of technology-containing devices are only possible if semiconductor supply chains flow smoothly. However, the supply chains of semiconductors are so globally dispersed yet at the same time concentrated on individual companies that they pose significant vulnerabilities. The vulnerabilities in semiconductor supply chains are a significant risk to the entire semiconductor market, as well as to the companies operating within it. This study examines the importance of semiconductors in both information systems and technological development. The study delves into two vulnerabilities in semiconductor supply chains, their complexity, and the related geopolitical tensions. The aim was to consider the significance of these vulnerabilities for the continuity of the semiconductor sector and the companies operating within it. The study also considers regions and companies' preparedness for potential semiconductor shortages. The study is conducted as a literature review. It drew upon peer-reviewed research articles, trending reports in the field, and books as its sources of literature. The study examines the sources of risks in semiconductor supply chains and demonstrates their impact on the continuity of the semiconductor market and the companies operating within it. It reveals that the semiconductor market and the companies operating within it are highly vulnerable due to the global nature and complexity of their supply chains. The identified risk factors in supply chains are found to weaken the continuity of the semiconductor market and the companies within it. Countries and companies should prepare for semiconductor shortages by strengthening regional semiconductor supply chains, thereby reducing dependence on other countries.

Keywords: semiconductor, supply chain, chip shortage, trade war

KUVIOT

KUVIO 1 Tyypillinen älypuhelimeen valmistettavan puolijohteen toimitusketju (Varas ym., 2021).....	14
KUVIO 2 Puolijohteen toimitusketjun pää- ja apuvaiheet (SIA, 2016).....	16

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Puolijohteiden toimitusketjujen suurimmat riskit ja niiden vaikutus jatkuvuuteen	29
---	----

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT JA TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	6
2	PUOLIJOHTEET.....	8
2.1	Transistori.....	8
2.2	Puolijohdemateriaalit elektroniikan keskiössä.....	9
2.3	Integroitu piiri ja sen tärkeys tietojärjestelmissä.....	9
3	PUOLIJOHTEIDEN TOIMITUSKETJUT.....	12
3.1	Puolijohdeiden toimitusketjujen taustaa.....	12
3.2	Nyky päivän puolijohdeiden toimitusketju.....	14
3.3	Puolijohdeiden toimitusketjun aputoimet.....	16
4	KAUPPASODAN GEOPOLITIikka.....	20
4.1	Yhdysvaltojen valta-asemasodat historiassa.....	20
4.2	Kiinan sotilaalliset ja taloudelliset tavoitteet.....	21
4.3	Yhdysvallat–Kiina kauppasota.....	22
5	KAUPPASOTA TALOUDESSA.....	25
5.1	Yhdysvallat–Kiina kauppasodan taustaa.....	25
5.2	Yhdysvallat–Kiina kauppasodan vaikutukset.....	26
5.3	Puolijohdekatkoksiin varautuminen.....	28
6	YHTEENVETO.....	31
	LÄHTEET.....	34

1 JOHDANTO

Uuden sukupolven teknologian, digitalisaation ja tekoälyn tuomista mahdollisuuksista puhutaan jatkuvasti, mutta kaiken tämän mahdollistajasta kuulee harvemmin puhuttavan. Kaikki moderni teknologia on riippuvainen puolijoh-teista (Miller, 2022; Varas ym., 2021). Puhuttaessa kaikesta modernista teknolo-giasta, tarkoittaa se puhelimia, tietokoneita, reitittäjiä, modeemeja, autoja, teol-lisuuden laitteita, terveydenhuollon nykävälineitä, armeijan nykykalustoa, ko-dinkoneita ja paljon muuta (Miller, 2022; Varas ym., 2021). Nykyajan tietojärjes-telmät ovat riippuvaisia teknologiasta, joten voidaan sanoa niiden olevan riip-puvaisia myös puolijoh-teista. Modernit tietojärjestelmät ovat riippuvaisia lait-teistosta, kuten tietokoneista ja mobiililaitteista, jotka rakentuvat puolijoh-teiden varaan. Tietojärjestelmiin kuuluu myös ohjelmistoja, kuten esimerkiksi tieto-kannat ja viestintäjärjestelmät, jotka rakentuvat reitittäjien ja palvelimien va-raan. Nämäkin elektroniset laitteet ovat rakennettu puolijoh-teiden varaan. Puo-lijoh-teita kutsutaan eri konteksteissa eri nimillä, kuten siru, mikrosiru tai integ-roitu piiri.

Valtavirran mediassa alettiin puhumaan puolijoh-teista koronapandemian aikana, koska kasvava etätyöskentely ja -opiskelu nosti elektronisten laitteiden kysyntää. Samaan aikaan lähes kaikki globaali kauppa, ja sitä myötä globaalit toimitusketjut, lakkasivat toimimasta pandemian aiheuttamien sulkujen takia. Valmistustehtaat pysähtyivät ja syntyi niin kansainvälisiä, kuin kansallisiakin logistiikkaongelmia. Syntyi valtava pula puolijoh-teista, joka näkyi elektronisten tarvikkeiden hinnoissa ja saatavuudessa.

Puolijoh-teiden toimitusketjut ovat muutenkin hyvin monimutkaiset, nii-den globaalien luonteen ja yksittäisiin yrityksiin keskittyvän riippuvuuden vuoksi. Maailmanlaajuinen pandemia vain nosti puolijoh-teiden toimitusketju-jen syvimät ongelmat viimein esiin (Mohammad ym., 2022). Toimitusketjun riskillisyyttä lisää toimitusketjun suurimpien tekijöiden, Yhdysvaltojen ja Kii-nan, keskinäiset geopoliittiset jännitteet, joissa puolijoh-teet ovat keskiössä. Yh-dysvallat ja Kiina kilpailevat maailman johtavasta teknologisesta asemasta, joka tuo myös muita etuja. Johtava teknologia tarkoittaa myös edistyneintä taloudel-

lista ja sotilaallista voimaa, joita valtiot tavoittelevat saavuttaakseen tavoitteensa nousta kansainvälisesti merkittävimmäksi valtioksi.

Tutkimuksen tarkoituksena on tunnistaa puolijohteiden merkitys tietojärjestelmissä, sekä tutkia, miten puolijohteiden toimitusketjut toimivat. Tutkimuksessa tutkitaan myös, miten toimitusketjujen geopolittisistä riskeistä puhutaan niin geopolittisissä, kuin talousaiheisissa julkaisuissa. Toimitusketjuja ja geopolittisiä jännitteitä tutkivissa luvuissa pohditaan löydettyjen riskien vaikutusta puolijohdemarkkinaa ja sen parissa toimivien yritysten jatkuvuuteen. Tutkielman tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä ovat puolijohteiden toimitusketjujen riskit ja miten ne muodostuvat?
2. Miten puolijohteiden toimitusketjujen riskit vaikuttavat puolijohdesektorin ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuteen?

Tutkielman tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus. Lähdemateriaalia on etsitty sähköisesti Scopus:n, JYKDOK:n, sekä IEEE Xplore:n avulla. Joitain lähteitä on löytynyt käyttämieni artikkelien lähdeluettelosta. Puolijohteista ja niiden toimitusketjuista on sen ajankohtaisuuden vuoksi kirjoitettu viimeisen vuosikymmenen aikana relevantteja artikkeleita, jonka vuoksi käytetty lähdemateriaali on varsin tuoretta. Kauppasota Yhdysvaltojen ja Kiinan välillä on nykyisessä, teknologiapainotteisessa muodossaan alkanut 2018, joten kauppasotaan liittyvät tieteelliset artikkelit ovat myös suurin osa julkaistu kyseisen vuoden aikana tai jälkeen. Hakusanoina lähteiden etsinnän tukena on käytetty esimerkiksi "semiconductor", "trade war", "USA", "China", "supply chain", sekä monia erilaisia näiden termien yhdistelmiä. Lähteiden kriittiseen arviointiin ja siihen liittyvään prosessiin on hyödynnetty JUFO-portaalia. Pääsääntöisesti kaikki tutkielmaan valitut tieteelliset artikkelit ovat vähintään 1-tason luokituksen saaneita julkaisuja. Tärkein kriteeri tieteellisten artikkelien kohdalla on kuitenkin ollut sisältö. Tutkielmassa on myös hyödynnetty alan ajankohtaisia raportteja, sekä kirjoja.

Tutkielma sisältää johdannon, neljä sisältöluvua ja yhteenvedon. Tutkielman ensimmäisessä sisältöluvussa käydään läpi elektronisten laitteiden ja teknologian kehityksen historiaa. Tämä auttaa ymmärtämään puolijohteiden merkitystä tietojärjestelmissä, kuin myös koko yhteiskunnassa. Toisessa sisältöluvussa tutkitaan, miten puolijohteiden toimitusketjut toimivat. Luvussa syvennytään toimitusketjun eri vaiheisiin ja niiden aputoimiin. Kolmannessa ja neljännessä sisältöluvussa tutkitaan geopolittisten haasteiden, erityisesti Kiina-Yhdysvallat kauppasodan, vaikutuksista puolijohdemarkkinalla. Kolmannessa sisältöluvussa geopolittisiä jännitteitä tarkastellaan geopolittisten julkaisujen näkökulmasta, kun taas neljännessä sisältöluvussa näkökulmana toimii talousaiheiset julkaisut. Neljännen luvun lopussa pohditaan lyhyesti organisaatioiden ja valtioiden keinoja varautua puolijohdekatkoksilta.

2 PUOLIJOHTEET

Ymmärtääkseen puolijohteiden merkityksen ja niiden tuomat mahdollisuudet tietojärjestelmiin, on aluksi tarkasteltava puolijohteiden ja elektronisten laitteiden rakennetta ja teknologista kehitystä. Luvussa käydään läpi, miten laskentateho on kehittynyt puolijohteiden avulla ja mitä vaikutuksia sillä on ollut tietojärjestelmien ja kokonaisuudessaan teknologian kehitykselle. Näiden avulla voi laajentaa käsitystä siitä, mitä kaikkea puolijohdeet mahdollistavat niin tietojärjestelmien saralla kuin myös koko yhteiskunnassamme.

2.1 Transistori

Laskentatehoon käytettävät elektroniset laitteet ovat kehittyneet vuosikymmenten varrella. Varhaiset sähköiset tietokoneet käyttivät tyhjiöputkea, joka on hehkulampun kaltainen lasi, jonka sisällä kulkee metallilankaa (Miller, 2022; O'Regan, 2016). Tyhjiöputken läpi kulkevaa sähkövirtaa voitiin kytkeä päälle ja pois päältä. Päällä oleva tyhjiöputki koodattiin numerona 1, kun taas pois päältä oleva putki oli 0, ja näiden kahden numeron avulla voitiin tuottaa mikä tahansa luku käyttäen binäärijärjestelmää ja siten suorittaa monenlaisia laskentatehtäviä (Miller, 2022). Tässä vaiheessa keksintö oli jo valtava teknologinen kehityssaskel laskentatehossa, mutta parempia tapoja laskea tehoa oli tulossa. Tyhjiöputkien varaan rakennetuissa tietokoneissa oli kuitenkin paljon ongelmia. Ne vievät tilaa kokonsa vuoksi kokonaisia huoneita, maksoivat paljon ja olivat hyvin epäluotettavia, joten tutkijat pyrkivät löytämään parempia ratkaisuja sähkövirtojen hallitsemiseksi (Miller, 2022; O'Regan, 2016).

Tyhjiöputken kanssa oleviin ongelmiin saatiin ratkaisu, kun kolme insinööriä, Bardeen, Brattain ja Shockley esittelivät ensimmäisen transistorin vuonna 1947 (Benatti ym., 2021). "Transistori on kolmiportainen elektroninen laite, joka voi hallita sähkövirran tai jännitteen kulkua kahden terminaalien välillä soveltamalla sähkövirtaa tai jännitettä kolmanteen terminaaliiin" (O'Regan, 2016). Kolmiportainen transistori mahdollistaa sähköisen kytkimen, jota voidaan ohja-

ta toisen sähköisen kytkimen avulla (O'Regan, 2016). Vanhan tyhjiöputken ja uuden keksinnön, transistorin, käyttötarkoitus on sama. Eron näiden välillä tekee se, että sähkövirtaa, sekä numeroita 1 ja 0, voitiin nyt transistorin avulla kytkeä päälle ja pois tyhjiöputkea pienemmällä, halvemmalla ja luotettavammalla laitteella (O'Regan, 2016).

2.2 Puolijohdemateriaalit elektroniikan keskiössä

Puolijohdemateriaalit ovat mahdollistaneet niin ensimmäisten transistorien, kuin myös myöhemmin integroitujen piirien ja koko modernin teknologian valmistuksen. Puolijohteet, kuten esimerkiksi pii ja germanium, ovat materiaaleja, jotka itsessään eivät johda sähköä lähes lainkaan, mutta lämpötilan, valon ja magneettisen kentän avulla sähkön johtavuutta voidaan vahvistaa (Song, 2023). Puolijohdemateriaalien herkkyyys sähkön johtavuudelle, jota voidaan säädellä eri tekijöillä, on juuri se syy, miksi niitä käytetään eri elektronisten laitteiden perustana (Song, 2023). Pii on yleisesti käytetyin puolijohdemateriaali (SIA, 2016; Song, 2023).

Ensimmäinen transistorikin rakennettiin puolijohdemateriaalin päälle, mutta sen yksinkertaisuuden rajallisuudet ilmenivät hyvinkin pian. Kasvava laskentatehon vaade lisäsi laitteiden vaatiman transistorien määrän kasvua, mutta yhden puolijohdekiekon päälle oli mahdollista rakentaa vain yksi transistori (Ceruzzi, 2012). Vain yhden transistorin sisältämiä puolijohdekiekkokoja si-dottiin ja kiinnitettiin toisiinsa päällekkäin, jotta yhden elektronisen laitteen komponenttien määrää saatiin kasvatettua (O'Regan, 2016). Tuhansien transistorien kytkentä johtojen avulla oli mahdottoman monimutkaista (Miller, 2022). Tarvittiin uusia keksintöjä, joilla transistoreja ja muita elektronisia komponentteja saataisiin mahdutettua yhden puolijohdemateriaalin päälle.

Transistorien kehitys eteni hitaasti, mutta varmasti, kunnes 1960-luvun alussa tutkijat keksivät tavan sijoittaa useita transistoreita ja muita komponentteja yhden puolijohdemateriaalin päälle (Ceruzzi, 2012). Oli keksitty integroitu piiri.

2.3 Integroitu piiri ja sen tärkeys tietojärjestelmissä

Integroitu piiri (kutsutaan myös puolijohdeeksi tai siruksi) ja sen kehitys on muodostanut nykypäivän teknologian. Kun kaikki komponentit pystyttiin valmistamaan saman puolijohdekiekon päälle, valmistuksesta saatiin kustannustehokasta ja lopputuotteesta luotettava (O'Regan, 2016). Valmistuslaitteiden kehittyessä ajan saatossa transistorien ja muiden integroidun piirin elektronisten komponenttien kokoa on saatu pienennettyä ja vuosi vuodelta samankokoiselle puolijohdemateriaalille on saatu mahdutettua enemmän ja enemmän komponentteja (Ceruzzi, 2012; Miller, 2022; O'Regan, 2016). Mitä enemmän

komponentteja, sitä suurempi laskentateho (Miller, 2022; O'Regan, 2016). Vuonna 1965 Gordon Moore ennusti, että transistorien lukumäärä puolijohde-materiaalin päällä tuplaantuisi vähintään kahden vuoden välein kaikkien muiden tekijöiden pysyessä samana (Moore, 1998). Transistorien määrän kasvun kehitys onkin ollut huomattavaa, ja Song (2023) kertoo kehittyneimpien sirujen sisältävän nykyään transistoreja, joiden koko on 3 nanometriä. Laskentatehon kasvu on siis ollut todella suurta ja sen johdosta kaikki moderni teknologia on riippuvaista siruista. Puhelimet, tietokoneet, modeemit, autot, lääkinälliset laitteet, puolustussektori, kodinkoneet, teollisuuden laitteet, ja listaa voisi jatkaa loputtomiin (Miller, 2022; Mohammad ym., 2022; Song, 2023). Sirut ovat joka puolella, eikä ilman niitä olisi siis uusimpia teknologioita sisältäviä autoja, kodinkoneita tai kannettavia elektronisia laitteita.

Alun perin lisääntyvän laskentatehon myötä kehittyneet tehokkaammat ja luotettavammat integroidut piirit auttoivat armeijaa valmistamaan tarkempia ohjuksia sotilaallisiin tarpeisiin (Miller, 2022; O'Regan, 2016). Hyvin nopeasti valtiot ja yritykset tajusivat niiden olevan kuitenkin myös taloudellisen vallan väline, koska niillä pystyttiin valmistamaan uutta, kehittyneempää teknologiaa (Miller, 2022).

Nykypäivän sirut ovat erikoistuneita tiettyihin osa-alueisiin. Muistisirut tallentavat ja varastoivat digitaalista dataa, eli nollia ja ykkösiä, joiden avulla logiikkasirut suorittavat laskutoimituksia ja muodostavat niiden tuloksilla ulostuloja (Khan ym., 2021). Logiikka- ja muistisirujakin on erilaisia, jotka jokainen erikoistuu omaan osa-alueeseen. Esimerkiksi logiikkasirujen alahaarassa on GPU:t, eli suomeksi grafiikkasuorittimet, joita hyödynnettiin pitkään nimensä mukaisesti graafisiin toimintoihin, kuten videoiden ja animaatioiden käsitteilyyn (Khan ym., 2021). GPU:lle on kuitenkin löydetty uusia käyttötarkoituksia ja yksi niistä on tekoälyn kehittäminen (Miller, 2022).

Ymmärtääkseen tietojärjestelmien riippuvuuden integroiduista piireistä, on ymmärrettävä mitä tietojärjestelmät ovat. Tietojärjestelmälle ei ole yhtä vakiintunutta käsitettä. Se voidaan käsittää eri konteksteissa eri tavalla ja sitä voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta. Tietojärjestelmän käsite on kuitenkin muuttunut selvästi suuntaan, jossa keskiöön nostetaan tietotekninen aspekti.

Boell ja Cecez-Kecmanovic (2015) ovat tehneet kattavan tutkielman, jossa he tarkastelevat kirjallisuuskatsauksen muodossa 34 eri määritelmää tietojärjestelmästä. Tutkittavista papereista he ovat koonneet neljän eri näkökulman kattavan näkemyksen tietojärjestelmän määrittelemiseksi. Ensimmäisenä he mainitsevat teknologisen näkökulman, joka sisältää datan prosessointia, säilytystä ja välitystä. Teknologisen näkökulman määritelmät korostavat heidän mukaansa teknologian, kuten laitteiden, verkkojen ja ohjelmistojen tärkeyttä tietojärjestelmissä. Koonnin toisena kohtana on sosiaalinen näkökulma, joka korostaa tietojärjestelmien olevan pohjimmiltaan sosiaalisia järjestelmiä (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015). Sosiaalisenkin näkökulman määritelmät tunnistavat teknologian tärkeyden, vaikkakin keskiössä ovat ihmiset ja vuorovaikutus (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015). Ihmisten vuorovaikutuksen tosin mahdollistaa useassa tilanteessa teknologia. Boellin ja Cecez-Kecmanovicin (2015) esittämä kol-

mas näkökulma on sosio-teknillinen näkökulma, joka korostaa tietojärjestelmien olevan kahden ensimmäisen näkökulman summa. Heidän mukaansa tietojärjestelmät eivät ole pelkästään teknisesti tai sosiaalisesti määrättyneitä, vaan molempien yhteisvaikutuksesta syntyvä tulos. Neljäs, ja viimeinen näkökulma on prosessinäkökulma, jossa korostetaan toimintojen suorittamista ja tukemista tietojärjestelmillä (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015). Esimerkiksi Alter (2008) kertoo, että tietojärjestelmässä ihmiset ja koneet suorittavat prosesseja ja toimintoja teknologian, tiedon ja muiden resurssien avulla.

Jokainen kohta Boellin & Cecez-Kecmanovicin (2015) kirjallisuuskatsauksessa nostaa enemmän tai vähemmän esiin teknologian tärkeyttä tietojärjestelmissä. Voi siis todeta, että ilman teknologiaa tietojärjestelmät eivät olisi yhtä kehittyneitä, kuin mitä ne nyt ovat. Kuten Boell & Cecez-Kecmanovicin (2015) mainitsee, tiettyjen tehtävien tekemisen ja ihmisten vuorovaikutuksen kannalta nykypäivän tietojärjestelmät ovat riippuvaisia tietotekniikasta. Keskeisessä roolissa tietojärjestelmien toimivuudessa ovat laitteiston osalta tietokoneet ja mobiililaitteet (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015), jotka on huomattu rakentuvat sirujen varaan. Ohjelmistojen puolesta keskeisiä ovat esimerkiksi tietokannat, sekä viestintäjärjestelmät (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015), jotka rakentuvat reitittimien ja palvelimien varaan. Myös reitittimet ja palvelimet, muiden nykyaikaisten teknologisten laitteiden tapaan, on huomattu rakentuvan sirujen varaan.

Tietojärjestelmien riippuvuutta ja yhteyttä siruihin voi tarkastella myös hieman yksityiskohtaisemmasta näkökulmasta. Tietojärjestelmissä tapahtuva kommunikointi, tiedon tallentaminen, välittäminen ja esittäminen tapahtuvat paljon teknologian avulla. Kuten on huomattu, nykyteknologia on täysin riippuvainen puolijohdeista. Tietojärjestelmien kasvavaan tiedon tallentamiseen, välittämiseen ja esittämiseen syntyvään kysyntään (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015) alettiin vastaamaan 2000-luvun alussa. Yritykset alkoivat rakentamaan varastoittain palvelimia, eli datakeskuksia, rakentaakseen ”pilven”. Pilvessä voidaan varastoida ja hallita dataa (Jiang ym., 2020), joka edesauttaa tietojärjestelmien käsiteltävän datan määrän kasvua. Nykyään lähes jokainen merkittävä datakeskus on täynnä edistyneitä Intelin tai AMD:n x86 prosessoriarkkitehtuuriin perustuvia CPU-siruja (Miller, 2022). Ilman siruja ei ole palvelimia, eikä ilman palvelimia ole valtavaa määrää datan tallennus- ja käsittelytilaa, jolla muodostetaan pilvi. Tietojärjestelmien kasvuun liittyvissä ongelmissa on siis hyödynnetty puolijohdeisiin perustuvia teknologioita, ja nyt tietojärjestelmät ovatkin täysin riippuvaisia teknologioista täynnä siruja.

3 PUOLIJOHTEIDEN TOIMITUSKETJUT

Vuodesta 2020 lähtien puolijohdemarkkinalla on ollut vakavia toimitusongelmia, jotka Mohammad ym. (2022) mukaan johtuvat pääasiallisesti kolmesta tekijästä: covid-19 häiriöistä, puolijohdeiden toimitusketjujen monimutkaisuudesta, sekä geopolittisistä jännitteistä. Tässä luvussa käydään läpi puolijohdeiden toimitusketjuja ja myöhemmin tutkielmassa syvennytään laajemmin geopolittisten jännitteiden tuomiin haasteisiin puolijohdesektorilla. Luvussa tarkastellaan niin toimitusketjujen hyviä puolia, kuin myös haasteita. Toimitusketjujen virtaa tarkastellaan liiketoiminnan jatkuvuuden näkökulmasta, koska jatkuvuus on edellytys toimitusketjujen luotettavalle toiminnalle, joka taas mahdollistaa puolijohdeiden jatkuvan, luotettavan toimittamisen maailmalle.

3.1 Puolijohdeiden toimitusketjujen taustaa

Puolijohdeiden toimitusketjut ovat niin monimutkaisia, maantieteellisesti hajautettuja ja keskenään kietoutuneita, että harvat, jos yksikään muu teollisuudenala on samanlaisessa tilanteessa (SIA, 2016). Toimitusketjun monimutkaisuus kuvainnollistuu hyvin kuviossa 1. Puolijohdeiden valmistusprosessi voi kestää jopa puoli vuotta ja valmistusprosessiin liittyy usein useampi maanosa, useita valtioita ja kasa erilaisia yrityksiä valtiossa (Mohammad ym., 2022). Tämä johtuu pitkälti siitä, että toimitusketjun eri vaiheet vaativat merkittävää erikoistumista, joka mahdollistaa lisäarvoa tuotteen valmistukselle (Mohammad ym., 2022; Mönch ym., 2021; SIA, 2016; Varas ym., 2021). Esimerkiksi maat, joissa on yleisesti ottaen runsaasti työvoimaa, suorittavat työvoimavaltaisia tehtäviä, kuten puolijohdeiden kokoamista ja testausta (SIA, 2016). Yhdysvallat ja Euroopan maat alkoivat siirtämään työvoimavaltaisia tehtäviä Aasiaan jo hyvin varhaisessa vaiheessa, halvan työvoiman perässä (Miller, 2022; Mönch ym., 2021), kun taas kehittyneemmissä valtioissa suoritetaan tietointensiivisempiä tehtäviä koskien puolijohdeiden valmistusta (SIA, 2016). Kuvioista 1 voidaankin hyvin ha-

vainnollistaa toimitusketjun eri vaiheiden tyypillistä maantieteellistä sijoittumista.

Puolijohdeiden toimitusketjun evoluutio maantieteellisesti hajautetuksi, mutta samalla valtioita ja yrityksiä toisiinsa kietouttaneeksi kokonaisuudeksi on tapahtunut perimmiltä pohjilta liiketoiminnallisista syistä. SIA (2016) kertoo, että valtioille ja yrityksille toimitusketjujen leviäminen on ollut suotuisaa esimerkiksi tehokkuuden ja tuottavuuden paranemisen, taloudellisen kasvun ja matalampien kuluttajahintojen sekä kansainvälisille markkinoille pääsyn takia. Hyödyt on saatu toteutettua jo mainitulla valmistusketjun eri vaiheiden erikoistamisella (SIA, 2016). Toimitusketjun globaalisuus on vahvistunut luonnollisesti myös siitä syystä, että puolijohdeiden valmistukseen tarvittavia raaka-aineita saadaan vain tietyiltä alueilta (Miller, 2022), joka luonnollisesti johtaa siihen, että toimitusketju kulkee raaka-aineita omistavien alueiden kautta.

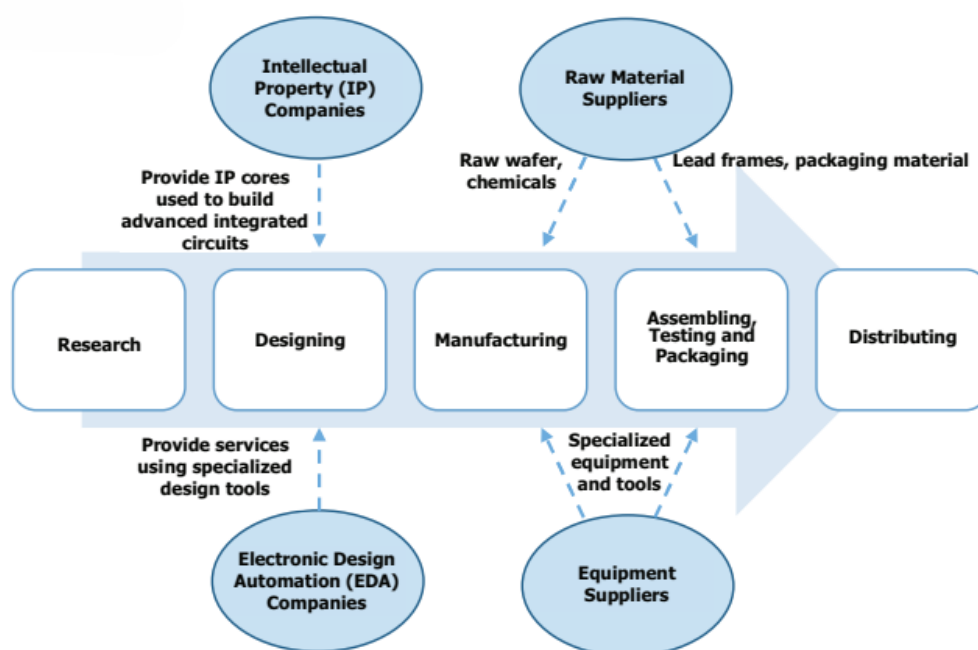
Toimitusketjut ovat siis kehittyneet sellaisekseen hyvin luonnollisista syistä, mutta se luo samalla haasteita ja riskejä koko sektorin jatkuvuudelle. Puolijohdeiden toimitusketjujen monimutkaisuuden ja maantieteellisen hajautuvuuden tuomat riskit nousivat esiin koronapandemian aikana. Kansainvälinen, sekä osittain myös kansallinen logistiikka pysähtyi kuin seinään, joka johti suuriin puolijohdeiden toimitushäiriöihin (Mohammad ym., 2022). Toimitusketjun eri vaiheisiin erikoistuminen, joka keskittää vaiheiden toimintoja tietyille toimijoille, korostaa yksittäisten organisaatioiden tärkeyttä toimitusketjussa. Yksittäisten toimijoiden keskeisyys onkin tuonut jo historian saatossa esiin systeemin haavoittuvuuksia. Vuonna 1999 Taiwania koetteli voimakas maanjäristys, jonka takia maailman puolijohdetuotannolle kriittisiä tuotantolaitoksia sulkeutui useaksi päiväksi (Miller, 2022, s.200; SIA, 2016). Vuoden 2020 joulukuussa Taiwanissa sijaitseva muistisirujen valmistaja koki tunnin mittaisen sähkökatkoksen, jolla oli valtavia vaikutuksia sirutuotantoon (SIA, 2016). Koko puolijohdeiden toimitusketjun jatkuvuuden näkökulmasta on elintärkeää turvata kriittisten laitosten turvallisuus. Voi todeta, että toimitusketjujen globaalisuus ja sen keskittyneisyys yksittäisille yrityksille luo suuria haasteita jatkuvuudelle.

ovatkin riippuvaisia valtion rahoituksesta, ja toimivat usein valtion tavoitteet omien tavoitteiden edellä (Miller, 2022).

Toisena vaiheena puolijohteiden toimitusketjussa on suunnittelu, josta alkaa itse puolijohteen valmistusprosessi (Thadani & Allen, 2023). Suunnitteluvaiheessa yritykset määrittävät puolijohteelle sen teknisiä vaatimuksia, jonka avulla insinöörit alkavat rakentamaan suunnittelulaitteistolla suunnitelmaa (SIA, 2016). Varas ym. (2021) kertoo, että suunnitteluun tarvitaan tietotaitoa. Tästä syystä suunnittelu on suurimmilta osin aina toteutettu kehittyneissä valtioissa, kuten Yhdysvalloissa, Kanadassa ja Euroopan maissa (SIA, 2016). Viime vuosikymmenen aikana myös Kiina on noussut kilpailuun mukaan kehittämällä työntekijöiden osaamista (Varas ym., 2021). Suunnitteluvaiheen jatkuvuuteen vaikuttaa enemmänkin siihen liittyvien aputoimien sujuvuus, joita avataan seuraavassa aliluvussa.

Puolijohteiden toimitusketjun kolmannessa vaiheessa valmistetaan itse sirut. Valmistuslaitoksissa suoritetaan valmistuskaluston avulla monimutkaisia valmistusprosesseja, joiden lopputulemana puolijohdekiekkoihin valmistetaan satoja, tai jopa satoja tuhansia toisilleen identtisiä siruja (Varas ym., 2021). Valmistuslaitoksia on ympäri maailmaa, mutta niistäkin löytyy eroavaisuuksia, sillä esimerkiksi Kiinassa ei ole lähes ollenkaan edistyneimpien sirujen tuotantoa (Khan ym., 2021). Edistyneemmän teknologian saralla Kiina on siis toistaiseksi hyvin riippuvainen muiden maiden tuotantokapasiteetista ja siitä, että heille toimitetaan siruja muista maista. Yhdysvallat taas ovat halunneet kasvat-
taa omaa kansainvälistä asemaansa puolijohdemarkkinalla ja hyödyntää alueiden kasvumahdollisuuksia laajentamalla valmistukseen liittyviä toimintoja erityisesti Aasiaan. Miller (2022) kertoo, että Yhdysvallat ovat auttaneet erityisesti Taiwania valmistuslaitosten rakentamisessa. Auttamisen perusteena on hänen mukaansa ollut se, että yhdysvaltalaiset yritykset kokivat puolijohteiden valmistuslaitosten rakentamisen ja toiminnan ylläpidon turhan kalliina omassa valtiossaan. Hän huomauttaa, että Yhdysvallat halusivat myös kehittää strategista kumppanuuttaan läheisen liittolaisensa kanssa. Tekstissä kerrotaan myös, että valtioiden yhteistyö, sekä Taiwanin hallituksen panostukset puolijohdesektorin kehitykselle ovat tuoneet Taiwanin pisteeseen, jossa he valmistavat nyt yli 90 prosenttia kaikista maailman edistyneimmistä siruista. Nousu on perustunut 'foundry'-malliin (Miller, 2022; Shattuck, 2021), jossa taiwanilaiset yritykset eivät itse suunnittele siruja, vaan toteuttavat ja valmistavat siruja muiden yritysten tarpeisiin, kyseisten yritysten omalla suunnitelmalla (Khan ym., 2021). Tämän liiketoimintamallin avulla Taiwan, jolla ei ole aina ollut korkeasti koulutettua työvoimaa, on pystynyt hyödyntämään omia vahvuuksiaan ja kansainvälisiä suhteitaan noustessaan kohti toimitusketjun huippua. Jatkuvuuden näkökulmasta Miller (2022) muistuttaa, että Taiwan on riskillinen valtio luonnonkatastrofien, kuten maanjäristysten ja tulvien vuoksi, mutta myös sen geopoliittisten haasteiden takia. Jonkinnäköinen häiriötekijä saarivaltiossa voi aiheuttaa laajamittaisia katkoksia puolijohteiden, erityisesti kaikista edistyneimpien sellaisten, valmistuksessa ja jakelussa.

Puolijohdekiekkoihin kaiverrettujen sirujen valmistuttua on edessä viimeinen vaihe, jossa sirut erotellaan toisistaan, pakataan lähetettäväksi ja niiden toimivuus testataan (Varas ym., 2021). Sirujen kokoonpano, testaus ja pakkaus on työvoimavaltaista (Khan ym., 2021; Thadani & Allen, 2023), joka on johtanut tämän viimeisen vaiheen toimintojen keskittyvän kehittyviin maihin (Khan ym., 2021). Tällä hetkellä suurimman osan puolijohteiden valmistusketjun viimeisestä vaiheesta omistaa Taiwan ja Kiina, ja toimintoja on laajennettu viime aikoina muualle Kaakkois-Aasiaan (Thadani & Allen, 2023; Varas ym., 2021). Näillä alueilla suureksi riskiksi nousee niiden kohtaamat haasteet luonnonkatastrofien kanssa. Esimerkiksi maanjäristykset voivat aiheuttaa laajamittaisia vahinkoja ja tuhota kokonaisia testaus-, pakkaus- ja kokoonpanolaitoksia.



KUVIO 2 Puolijohdeiden toimitusketjun pää- ja apuvaiheet (SIA, 2016)

3.3 Puolijohdeiden toimitusketjun aputoimet

Puolijohdeiden toimitusketjuissa on myös tiettyjä aputoimia, jotka on kuvattu kuviossa 2 ympyröiden sisään. Nämä tukevat toimitusketjun eri vaiheita. Aputoimia, kuten välineitä ja raaka-aineita, toimittaa tiettyihin osa-alueisiin erikoistuneet yritykset (SIA, 2016). Näitä toimitusketjun kannalta kriittisiä välineitä taikka raaka-aineita tarvitaan kolmessa toimitusketjun jälkimmäisessä vaiheessa: suunnittelussa, valmistuksessa sekä kokoonpano-testaus-pakkauksessa. Aputoimet sisältävät toimitusketjun vaiheiden kaltaisesti hyvin riskillisiä kohteita sektorin jatkuvuuden näkökulmasta.

Suunnitteluvaiheessa tarvittavia IP-lohkoja toimittaa lähes ainoastaan Yhdysvallat ja Englanti (Khan ym., 2021). Tietokoneavusteisia suunnittelulaitteita

valmistavat yritykset tulevat pääosin Yhdysvalloista, eikä edistyneimpiä puolijohteita ole mahdollista suunnitella, taikka rakentaa, ilman viimeisintä teknologiaa omaavia suunnittelulaitteita (Thadani & Allen, 2023). Lähes jokainen tuotettu siru maapallolla käyttää yhden kolmesta yhdysvaltalaisyrittäjän ohjelmistosta (Yang, 2022). Erityisesti edistyneiden puolijohteiden toimitusketjun jatkuvuuden näkökulmasta on tärkeää, että nämä yhdysvaltalaiset toimijat pystyvät toimittamaan suunnitteluun tarvittavia laitteita luotettavasti, koska niiden markkinaosuus on niin suuri, että ongelmien ilmaantuessa kokisimme hyvin todennäköisesti suuria katkoksia sirutuotannossa ja siruja sisältävien laitteiden kehityksessä. Varas ym. (2021) kertoo, että suunnitteluun tarvittavaa laitteistoa on suurimmilta osin aina toteutettu kehittyneissä valtioissa, kuten Yhdysvalloissa, Euroopan maissa, sekä joissain Aasian maissa. Viime vuosikymmenen aikana myös Kiina on noussut kilpailuun mukaan valmistamalla omia laitteistoja (Miller, 2022; Varas ym., 2021).

Puolijohteiden toimitusketjun kolmas vaihe, valmistus, ei olisi mahdollista ilman valmistuksessa tarvittavia raaka-aineita, erilaisia kemikaaleja sekä kalustoa (Thadani & Allen, 2023). Valmistuskalustoa, erityisesti korkean teknologian kalustoa, kehitetään kehittyneissä maissa Yhdysvalloissa, Japanissa ja Euroopan maissa, hyödyntämällä vuosikymmenten aikana investoituja miljardeja tutkimus- ja kehityshankkeisiin (Varas ym., 2021). Puolijohteiden valmistuskalusto on myös todella mielenkiintoista tutkittavaa jatkuvuuden perspektiivistä, sillä moni siruja valmistava laite on saatavilla vain kouralliselle yhtiötä, muutamalta toimittajalta. Esimerkiksi edistyneimpien puolijohteiden valmistukseen tarvittavat EUV-litografialaitteet, joiden avulla puolijohdekiekkojen pinnalle voidaan kaivertaa kuvioita, valmistetaan vain ja ainoastaan hollantilaisen ASML:n toimesta (Khan ym., 2021; Miller, 2022, s. 315). Millerin (2022, s. 315) mukaan toisaalta myös ASML on täysin riippuvainen muista yhtiöistä, kuten Cymeristä, joka toimittaa EUV-litografialaitteen kriittisiä komponentteja. Varas ym. (2021) puolestaan huomauttaa tekstissään, kuinka kompleksi prosessi EUV-litografialaitteen komponenttien kerääminen on. Komponentit laitteen valmistamiseen kerätään ASML:lle yli 5000 toimittajalta niin Pohjois-Amerikasta, Euroopasta kuin Aasiasta (Varas ym., 2021).

Edistyneiden puolijohdekalustojen valmistaminen siis hyötyy globaalista hajautuksesta erikoistumisen myötä, jolloin tietyt yritykset voivat keskittyä yksittäisten tuotteiden ja komponenttien valmistamiseen ja toimittamiseen. Tällöin kyseistä yksittäistä tuotetta saadaan kehitettyä ja käsiteltyä mahdollisimman luotettavasti. Toisaalta kyseisen systeemin kipukohta on sen monimutkaisuus ja riippuvuus yksittäisistä yhtiöistä. Jatkuvuuden perspektiivistä on kriittistä, että kaikki, yli 5000 yritystä toimittavat komponentteja luotettavasti, koska yksikin toimittamatta jäänyt lähetys voi aiheuttaa ongelmia koko EUV-litografian valmistuksessa, joka vaikuttaa taas koko sirutuotantoon ja sen kehitykseen. On myös hyvä huomata, että yksi EUV-litografialaite voi maksaa 150 miljoonaa dollaria (Varas ym., 2021), joten litografialaitteen valmistusmarkkinoille on vaikeaa, jopa mahdotonta päästä sen vaatiman pääoman, kuin myös laitteen tarvittavien komponenttien toimitusketjun monimutkaisuuden vuoksi.

ASML tulee hyvin todennäköisesti siis pitämään monopoli asemansa EUV-litografialaitteiden valmistuksessa, joka korostaa tämän yrityksen jatkuvuuden turvaamisen tärkeyttä koko puolijohdesektorin puolesta. Puolijohdeiden valmistusprosessi sisältää useita muitakin vaiheita ja laitteita, joita valmistetaan ympäri maailmaa (Khan ym., 2021). Puolijohdesektorilta löytyy siis EUV-litografialaitteiden valmistuksen lisäksi muitakin monimutkaisia ja globaaleja laiteketjuja. Näiden laiteketjujen jatkuvuuden turvaaminen on kriittistä koko sektorin jatkuvuuden kannalta.

Puolijohdeiden valmistukseen tarvittavia raaka-aineita löytyy Kiinasta, mutta myös Yhdysvalloilla ja sen liittolaisilla ympäri maailmaa on pääsy kaikkein tärkeimpiin raaka-aineisiin (Khan ym., 2021). Monipuolisuus pääsyssä raaka-aineisiin vähentää riippuvuutta yhdestä valtiosta, joka turvaa puolijohdesektorin jatkuvuutta. Yksittäisten raaka-aineiden vaikutus voi kuitenkin olla suurempi, ja vaikuttaa sektorin jatkuvuuteen. Keskeisin puolijohdemateriaali on pii (SIA, 2016), josta valmistetut kiekot muodostivat vuonna 2021 kolmannen puolijohdemateriaalien kokonaismyynnistä (Thadani & Allen, 2023). Kiina on ylivoimaisesti suurin piin tuottaja, Venäjän ja Yhdysvaltojen seuratesa pitkältä seuraavaksi suurimpina tuottajina (U.S. Geological Survey, 2020). Kiinan ja Venäjän suuren piin valmistusosuuden voidaan oletettavan olevan muulle maailmalle suuri riski raaka-aineiden jatkuvuuden kannalta. Puolijohdeiden materiaaliverkostossa piilee myös muita riskikohtia. 95 prosenttia piikiekoista, joiden päälle mikrosirut kaiverretaan, valmistetaan viiden yrityksen toimesta (Thadani & Allen, 2023), kun taas piikiekkujen valmistukseen käytettävän polypin markkinaosuus on 90 prosenttisesti ainoastaan neljän yrityksen harteilla (Varas ym., 2021). Näiden kahden tärkeän vaiheen toimittajien osuus on valtava globaalissa mittakaavassa, emmekä voi olla huomioimatta riskejä, joita tämä tuo puolijohdesektorille. Lyhytkin katkos yhdellä yrityksellä aiheuttaa pulaa puolijohdemateriaalien toimituksessa jollain segmentillä, joka vaikuttaa negatiivisesti valmistusprosessin seuraaviin askeliin, joka heikentää sektorin jatkuvuutta

Tuotantoketjun viimeiseen vaiheeseen, eli pakkaukseen, kokoonpanoon ja testaukseen, tarvittava kalusto rakennetaan tuotantolaitosten kaluston tapaan korkeasti koulutetun työvoiman valtioissa, kuten Yhdysvalloissa, Japanissa ja Kiinassa (SIA, 2016). Tämän vaiheen kaluston markkina-arvo on huomattavasti muita vaiheita pienempi (Thadani & Allen, 2023). Kalustoa valmistetaan melko tasaisesti useammassa valtiossa, eikä markkina myöskään ole yksittäisten tekijöiden hallitsema (Varas ym., 2021). Tästä näkökulmasta puolijohdemarkkinan jatkuvuus on turvatumpaa kuin muissa vaiheissa. Tulevaisuuden näkymät ovat kuitenkin mielenkiintoiset. Koska Mooren laki näyttää lähestyvän pistettä, jossa elektronisten komponenttien kokoa ei voida enää supistaa aikaisempaan tahtiin, täytyy teknologista kehitystä löytää muilta osa-alueilta (Miller, 2022; Varas ym., 2021). Puolijohdeiden pakkaus onkin noussut tässä suurempaan rooliin. Erilaisilla pakkausinnovaatioilla pyritään löytämään uusia keinoja tehdä puolijohdeista entistä tehokkaampia (Malkin & He, 2024). Tulevaisuuden puolijohdeiden

toimitusketjut voivatkin olla hyvin riippuvaisia yrityksistä, joka mahdollisesti omistaa uuden sukupolven pakkausteknologiaa.

4 KAUPPASODAN GEOPOLITIikka

Toimitusketjujen monimutkaisuuden ja globaalisuuden lisäksi myös geopolittiset jännitteet lisäävät epävarmuuksia ja ongelmia puolijohdemarkkinalla. Yksi näistä geopolittista uhista on Yhdysvaltojen ja Kiinan vastakkainasettelu. Ymmärtääkseen geopolittisten jännitteiden vaikutuksia puolijohteiden toimitusketjuihin, on syytä tarkastella aluksi jännitteitä suuremmassa kuvassa. Tämän luvun kaksi ensimmäistä alilukua keskittyykin avaamaan suurvaltojen taustoja, josta johtaa juuret jännitteiden syttymiseen. Kolmannessa aliluvussa tarkastellaan, miten Yhdysvaltojen ja Kiinan kauppasotaa tarkastellaan geopolittisen kirjallisuuden keskuudessa. Mitä suurvallat tavoittelevat ja mitä syitä tavoitteille on?

4.1 Yhdysvaltojen valta-asemasodat historiassa

Ymmärtääkseen Yhdysvaltojen ja Kiinan meneillään olevaa kauppasotaa, on syytä tarkastella, miten Yhdysvallat yleensä toimivat tilanteissa, joissa heidän valta-asemansa on uhattuna. Geopolittisissa julkaisuissa korostetaankin historian tapahtumien ja nykyhetken kauppasodan yhtäläisyyksiä.

Kylmän sodan päättymisestä lähtien Yhdysvallat on säilyttänyt kansainvälisesti hallitsevan asemansa (Chen & Evers, 2023). Vuoteen 2010 mennessä Kiina on kuitenkin noussut merkittäväksi kilpailijaksi ja haastaa Yhdysvaltoja nyt maailman hallitsevan aseman korokkeelta (Chen & Evers, 2023). Yhdysvallat kokevat Kiinan tavoitteet uhaksi itselleen, ja sille on monta syytä. Kuten on todettu, yksi Kiinan tavoitteista on kehittyä sotilaallisesti. Toisen maailmansodan aikana Japani uhkasi dominoida Aasiaa sotilaallisella ylivoimallaan, jolloin Yhdysvallat nousivat Kiinan ja koko muun Aasian tueksi (Friedman, 2013). Kun taas Neuvostoliitto uhkasi Kiinaa vuonna 1970, nousi presidentti Nixonin johtama Yhdysvallat jälleen kerran Kiinan tueksi, välttääkseen vihamielisen Neuvostoliiton nousua kohti maailmaa johtavan valtion asemaa (Friedman, 2013). Yhdysvallat pyrkivät siis suojelemaan omaa kansainvälisesti merkittävää ase-

maansa estämällä muita valtioita saavuttamasta sotilaallisia tavoitteitaan ja seisomalla aina omien liittolaistensa tukena.

Myös globaalien taloudellisten ylivallan saavuttaminen on aina ollut Yhdysvalloille yksi tärkeimmistä prioriteeteista. Historian saatossa Yhdysvaltojen päättäjät ovat usein muokanneet valtionsa kauppasuhteita, kun maan edut ja valta-asema ovat olleet uhattuina (Rasmus, 2018). (Chenin ja Eversin (2023) mukaan empiirinen aineisto osoittaa, että kun maailman markkinoita hallitseva valtio kokee uhan nousevalta kilpailijalta, se usein pyrkii häiritsemään jälkimmäisen pääsyä toimitusketjuihin rajoittaakseen sen talouskasvua. Esimerkkejä löytyy jälleen Yhdysvaltojen historiasta. Nixonin Yhdysvallat näkivät 1970-luvun alussa eurooppalaiset valuutat turhan vahvana dollariin verrattuna ja alkoivat devalvoimaan dollaria, sekä asettivat eurooppalaisille tuotteille tulleja (Rasmus, 2018). Samanlainen järjestely nähtiin 1980-luvun puolivälissä Reaganin aikakaudella, kun Yhdysvallat pakotti Japanin neuvottelemaan kauppaehtoja uudestaan nostattaen Japanin inflaatiota ja vähentämällä sen vientituotteiden kilpailukykyä (Rasmus, 2018). Molemmat näistä ongelmista liittyivät alun perin Yhdysvaltojen sisäpoliittisista ja taloudellisista haasteista, kuten korkeasta inflaatiosta ja budjettivajeesta, mutta Yhdysvaltojen ratkaisu tilanteisiin oli vain vetää kilpakumppanit mukanaan kohti heikkoa taloutta (Rasmus, 2018). Maailman vallasta pidetään siis kiinni kynsin ja hampain.

4.2 Kiinan sotilaalliset ja taloudelliset tavoitteet

Kiinalla on niin sotilaallisesti, kuin taloudellisestikin tavoitteita, jotka eivät tue Yhdysvaltojen näkemyksiä maailman voimasuhteista. Kiinan tavoitteet, ja jo toteutuneetkin toimet, muistuttavat hyvinkin paljon historiassa nähtyjä tapahtumia joihin Yhdysvallat puuttuivat turvatakseen omaa asemaansa.

Kiinan hallitus väittää, että Taiwan on aina kuulunut Kiinaan ja että sillä on oikeus käyttää sotilaallista voimaa yhdistääkseen Taiwanin osaksi Kiinaa (Friedman, 2013). Yhdysvalloilla on monia syitä suojella Taiwania sotilaallisesti, joista yksi on taloudelliset syyt, toinen syy on noudattaa Yhdysvaltojen arvoja ja sääntöjä ja kolmas on sotilaalliset tavoitteet (White, 2001). Taiwan on Yhdysvaltojen tärkeä kauppakumppani ja liittolainen (Shattuck, 2021). Taiwanissa tuotetaan suuria määriä puolijohteita Yhdysvaltojen käyttöön, ja suurien yhdysvaltalaisyriyten, sekä jopa Yhdysvaltain armeijan sanotaan olevan riippuvainen Taiwanissa tuotetuista puolijohteista (Shattuck, 2021).

Toinen asia, josta Yhdysvallat ovat huolissaan, on Kiinan tavoitteet yhteiskunnallisesti sekä taloudellisesti. Ferdinand (2016) kertoo, että Xi Jinpingin noustua valtaan Kiinan ulkopoliittikan ääni on muuttunut. Tekstissä kerrotaan, että aikaisemmin Kiina oli hyvin varovainen ja konservatiivinen, mutta nyt Kiinalla on julkisesti lausuttu visio paremmasta Kiinasta, joka palautetaan takaisin maailman valtaistuimelle. Tästä visiosta on alettu käyttämään vakiintunutta termiä "China Dream", joka viittaa Kiinan kansan unelmaan kohti tulevaisuuden parempaa yhteiskuntaa (Ferdinand, 2016). Unelman päälle on rakennettu

konkreettisia suunnitelmia ja tekoja, joista yksi on vuonna 2015 julkaistu ”Made in China 2025” -suunnitelma. Kiinan hallituksen käynnistämä aloite pyrkii siirtämään Kiinan taloutta perinteisestä matalan tason valmistusteollisuudesta kohti korkean teknologian ja innovaation keskittymiä (State Council of China, 2015). Ohjelma sisältää mittavia investointeja tutkimukseen ja kehitykseen. State Council of China (2015) väittää, että Kiina ei ole enää riippuvainen muiden maiden valmistusteollisuudesta. Suunnitelmassa kerrotaan, että Kiina on luonut teollisuusjärjestelmän, joka on tehokkaasti edistänyt teollistumisen ja modernisaation prosessia kohti uutta, tulevaisuuden kehittyneempää Kiinaa. Vaikka suunta on ollut oikea ja kehitystä on jo tapahtunut, on Kiinan otettava seuraava kehitysaskel matkalla kohti maailmanvaltaa (State Council of China, 2015). Jo heti vuonna 2015 Kiinan johto ilmoittikin suunnittelevansa investoida 150 miljardia dollaria Kiinan teknologisen perustan vahvistamiseen ja erityisesti kiinalaisen puolijohdeteollisuuden kehittämiseen (Chen & Evers, 2023). Kuten aikaisemmissa luvuissa on todettu, puolijohteet ovat niin sotilaallisen, kuin myös taloudellisen kasvun perusta.

4.3 Yhdysvallat-Kiina kauppasota

Geopoliittisissa julkaisuissa puhutaan kauppasodasta hyvin vaihtelevin näkökulmin. Osa julkaisuista nostaa enemmän esiin Taiwanin merkitystä kauppasodan keskellä, kun taas osa keskittyy suurvaltojen keskinäiseen kilpailuun ja sen muotoihin. Kauppasodalle etsitään erilaisia lähestymiskulmia historiasta ja eri julkaisut kokevat kauppasodan juurisyvät hieman erilaisina.

Vaikka Yhdysvaltojen ja Kiinan väliselle kauppasodalle esitetään erilaisia syitä eri lähteissä, suurin osa näistä määrittelee kauppasodan suurvaltojen kunnianhimoiseksi tavoitteluksi kohti maailman valtaa geopoliittisella ja taloudellisella rintamalla. Rasmusen (2018) mukaan kauppasodan oikeat ajurit nousevat Kiinan muodostamasta haasteesta Yhdysvaltojen teknologisen ja sotilaallisen ylivoimallisuuden hallintaan. Hän lisää myös, että vaikka julkisuudessa kauppasodan puhutaan johtuvan Yhdysvaltain kauppavajeesta ja Kiinan tuonnin vähentämisestä, on se ainoastaan juurisyyn peittelyä. Yhdysvaltojen tavoite teknologiselle ja sotilaalliselle ylivoimallisuudelle edistää Yhdysvaltojen turvallisuutta (Rasmus, 2018). Schindler ym. (2023) taas esittelee tekstissään, kuinka kisa Yhdysvaltojen ja Kiinan välillä keskittyy verkostojen hallinnan avulla geopoliittisen ja geotaloudellisen vallan ja tavoitteiden saavuttamiseksi.

Keskeisestä verkostojen hallinnan asemasta kilpaillaan neljässä eri kategoriassa: infrastruktuuri-, digitaali-, tuotanto- ja rahoitusverkostot (Schindler ym., 2023). Tekstissä väitetään, että Yhdysvallat ja Kiina yrittävät voittaa puolelleen verkostojen hallintaa mahdollisimman paljon usealla osa-alueella. Verkostojen hallinta sitouttaisi ihmisiä ja resursseja toimimaan verkoston haltijalle suotuisasti. Erityisesti puolijohteiden tärkeyden näkökulmasta näistä nousevat esiin tuotantoverkostot. Monet globaalit tuotantoverkostot, jotka ovat tällä hetkellä suurvaltojen välisen kilpailun kohteena, ovat aiemmin olleet Yhdysvaltojen tai

sen liittolaisten koordinoimia (Schindler ym., 2023). Alun perin kiinalaiset yritykset osallistuivat näihin verkostoihin pääasiassa tuotteiden valmistajina, mutta ajan myötä kiinalaisten yritysten tiedot ja taidot ovat kehittyneet ja osa niistä on siirtynyt lähemmäs teknologista huippua (Schindler ym., 2023). Tuotantoverkostoja hallitsemalla voi saada suuria hyötyjä kilpajuoksussa kohti kansainvälistä johtajuutta. Tuotantoverkoston hallinta mahdollistaa tuotannon sijoittamista halutuille alueille, joissa ne voivat luoda esteitä kilpailijoille ja samalla laajentaa omien kotimaisten johtavien yritysten vaikutusvaltaa (Schindler ym., 2023).

Chen ja Evers (2023) tarkastelee kauppasodan juurisyitä historiallisesti samanlaisesta tilanteesta. He käyttävät esimerkkinään vallan siirtymisen teoriaa. Teorian mukaan konflikteja tapahtuu, kun nouseva valtio uhkaa dominoivan valtion asemaa jollakin osa-alueella. Tekstissä kerrotaan, että Kiina onkin pitkään ollut puolijohdesegmentissä ja yleisesti teknologian saralla mukana vain alhaisen arvon toiminnoissa, kun taas Yhdysvallat ovat dominoineet kehitystä ja korkean teknologian toimintoja. Voimasuhteet ovat vuosien mittaan muuttuneet, ja nyt Kiina haastaakin Yhdysvallat teknologiakilpailun ykkössijasta (Chen & Evers, 2023). Yhdysvallat ovatkin yrittäneet rajoittaa Kiinan pääsyä strategiaan tuotantoverkostoihin erityisesti hidastamalla Kiinan edistysaskeleita kehittyneen teknologian tuotantovaiheessa (Schindler ym., 2023). Yhdysvaltojen hallituksen strategia, jolla Kiinan teknologista kehitystä saataisiin hidastettua, keskittyy eristämään Kiina globaalista puolijohdeverkostosta (Chen & Evers, 2023).

Shattuck (2021) kirjoittaa Taiwanin, sekä erityisesti yhden taiwanilaisyrityksen tärkeydestä Yhdysvaltojen ja Kiinan kauppasodassa. Hän kertoo TSMC:n, taiwanilaisen puolijohdeiden valmistajan, olevan kriittinen kauppakumppani niin Kiinalle kuin Yhdysvalloillekin. TSMC valmistaa maailman edistyneimpiä puolijohdeita suurille yrityksille, kuten esimerkiksi yhdysvaltalaisille Appllelle ja Nvidialle, sekä Kiinalaiselle Huaweiille. Jopa Yhdysvaltojen armeijan kerrotaan olevan riippuvainen TSMC:stä. Haastavan TSMC:n tilanteesta tekee sen sijainti (Shattuck, 2021), koska Kiinan tavoitteisiin on todettu kuuluvan Taiwanin haltuunotto. Yhdysvaltojen on taas todettu olleen Taiwanin puolijohdemarkkinan nousun tärkeimpänä tukena, sekä liittolaisena. Triolo (2023) kirjoittaa kauppasodan tuomista haasteista Kiinan telekommunikaatiosektoriin, joten myös hän nostaa esiin TSMC:n keskeisen roolin. Yhdysvallat ovat pystyneet hyväksikäyttämään asemaansa Taiwanin kumppanina kieltämällä edistyneiden puolijohdeiden valmistuksen TSMC:n toimesta tietyille kiinalaisille yrityksille, kuten Huaweiille (Shattuck, 2021; Triolo, 2023). Taiwanin liittolaisina Yhdysvallat siis pystyvät hyödyntämään suhteitaan ja hallita Schindlerin ym. (2023) mainitsemia verkostoja, jotta Kiinalle ei toimiteta edistynyttä teknologiaa.

Rasmus (2018) korostaa omassa julkaisussaan Donald Trumpin merkitystä kauppasodan syyttymiselle. Tekstissä väitetään Yhdysvaltain eliitille ja puolustussektorille olleen aina ensisijaisen tärkeää hillitä Kiinan teknologista kasvua. Trumpille Kiina-pakotteet olivat enemmänkin osoituksia lupauksista ja näytöis-

tä omalle poliittiselle kannattajakunnalle, jonka tuen kasvua hän havitteli. Vaikka Trumpin kauppapakotteet eivät ensisijaisesti liittyneet Yhdysvaltojen aseman turvaamiseen, vaan oman poliittisen kannatuksen kasvuun, sai Yhdysvaltojen eliitti myös haluamansa (Rasmus, 2018).

Kenties kattavimman, ja usean tässä tutkimuksessa käytetyn tieteellisen artikkelin näkökulman tekstissään koostaa yhteen Malkin ja He (2024). Kirjoittajat keskustelevat siitä, miten Yhdysvallat on noussut globaalin puolijohdearvoketjun pääajuriksi. Suuri tekijä Yhdysvaltojen vahvaan otteeseen arvoketjun valtaistuimella johtaa kirjoittajien mukaan juurensa niihin aikoihin, kun Yhdysvallat alkoivat ulkoistamaan puolijohdetuotantoa Itä-Aasiaan. Ulkoistaminen johti Yhdysvaltojen suhteiden paranemiseen näiden maiden kanssa, ja ulkoistamalla pelkästään tuotannon, Yhdysvallat sitoutti Itä-Aasian maat olemaan riippuvaisia tuotantoketjun muissa vaiheissa Yhdysvalloista (Malkin & He, 2024). Näin Yhdysvallat saivat sitoutettua valtiot ja niiden resurssit allokoitumaan Schindlerin ym. (2023) mainitsemissa tuotantoverkostoissa itselleen suotuisalla tavalla. Itä-Aasian valtioista esimerkiksi Taiwan, jonka tärkeydestä globaalissa tuotantoverkostossa Shattuck (2021) ja Triolo (2023) kirjoittavat, saatiin näillä keinoilla sitoutettua Yhdysvaltojen kumppaniksi. Hallitsemalla tuotantoverkkojen toimintaa ja hyödyntämällä suhteita esimerkiksi Taiwanin kanssa, Yhdysvallat ovat pystyneet asettamaan taiwanilaisyrityksille kieltoja toimittaa tuotteita kiinalaisyrityksille (Malkin & He, 2024).

Puolijohdesektorin jatkuvuuden kannalta on huomattava, että Yhdysvalloilla vaikuttaa olevan merkittävä valta vaikuttaa puolijohteiden tuotantoverkkojen voimasuhteisiin. Yhdysvaltojen intressit määrittävät pitkälti puolijohteiden toimitusketjujen toiminnan. Organisaation jatkuvuus voi kohdata suuria riskejä toimiessaan alueella, jonka tukeminen ei kuulu Yhdysvaltojen intresseihin. Esimerkiksi taiwanilaisyrityksen, joka saattaa milloin tahansa saada Yhdysvalloilta käskyjä olla toimittamatta tuotteita Kiinaan, jatkuvuus on jatkuvasti uhattuna.

5 KAUPPASOTA TALOUDESSA

Tässä luvussa tarkastellaan sitä, miten kauppasodasta puhutaan talousaiheisissa julkaisuissa. Julkaisujen löydöksiä ja tuloksia verrataan siihen, miten kauppasota vaikuttaa organisaatioiden liiketoiminnan jatkuvuuteen. Liiketoiminnan jatkuvuutta on syytä tarkastella siksi, että toimitusketjuja käsittelevässä luvussa yritysten jatkuvuuden todettiin olevan varsin riskillisiä puolijohdemarkkinan saralla, jolla on vaikutuksia koko maailman teknologiseen kehitykseen ja valtioiden voimasuhteisiin.

5.1 Yhdysvallat–Kiina kauppasodan taustaa

Talousaiheisissa julkaisuissa suurvaltojen kauppasodan juurisyy rajoittuu selvästi teknologisen vallan tavoitteluun. Julkaisuissa korostetaan ja perustellaan, mikä on teknologisen vallan yhteys kokonaisvaltaiseen kansainväliseen valtaan. Kwan (2020) kirjoittaa artikkelissaan, että Yhdysvaltojen peruste kauppasodan käynnistämiseksi olisi Kiinan noudattamattomuus kansainvälisiä kauppasääntöjä kohtaan. Kiina kuitenkin tunnistaa Yhdysvaltojen toimien kumpuavan heidän nousevasta uhastaan Yhdysvaltojen kansainvälisesti merkittävää johtoasemaa kohtaan. Kohti artikkelin loppua kuitenkin todetaan kauppasodan eskaloituneen nyt kilpailuksi maailman johtavimmasta teknologiasta (Kwan, 2020). Chen ym. (2023) määrittelee kauppasodan syyksi Kwanin (2020) esiin nostaman Yhdysvaltojen pyrkimyksen estää Kiinan korkean teknologian kehitystä. Tällä Yhdysvallat mahdollisesti säilyttäisivät oman valta-asemansa kansainvälisessä järjestyksessä (Chen ym., 2023). Myös Chen ym. (2020) kokee kauppasodan kahden suurvallan välillä taisteluksi teknologisen vallan hallinnasta. He huomauttavat, että edistyneen teknologian hallitsija hallitsee myös maailman valtaa. Teknologisella edistyneisyydellä on positiivinen vaikutus niin valtion taloudelliseen, kuin myös sotilaalliseen tilaan (Chen ym., 2020).

Chong ja Li (2019) ovat samoilla linjoilla muiden kirjoittajien kanssa, ja korostavat artikkelissaan kauppasodan syttyvän taistelusta maailman taloudelli-

sesta vallasta. He huomauttavat, että Kiina on jatkanut nopeaa kasvua ja nousut Yhdysvaltojen ohi eri taloudellisilla mittareilla, kuten ostovoimakorjatulla bruttokansantuotteella. Kiinan rahayksikön, yuanin, merkitys maailmankaupassa haastaa Yhdysvaltain dollarin dominoivaa asemaa (Chong & Li, 2019). Kiinan taloudellinen nousu ja valuutan kasvava merkitys muistuttavat hyvinkin paljon luvussa 4.1 käsiteltyjä esimerkkejä muiden maiden nousuista historiassa, joihin Yhdysvallat lopulta vastasivat taloudellisilla toimilla.

Talousaiheisissa julkaisuissa ei niinkään keskitytä määrittelemään kauppasodan syitä, vaan niissä pohditaan enemmänkin minkälaisia, ja mihin sektoreihin asetetut sanktiot osuvat. Benguria ym. (2022) ja Su (2024) kertovat kauppasodan alkaneen Yhdysvaltojen langettaessa ensin Kiinalle tullimaksuja pyykinpesukoneiden ja aurinkopaneelien tuontiin. Hetkeä myöhemmin tullimaksuja lisättiin myös teräksen ja alumiinin tuontiin (Benguria ym., 2022; Su, 2024). Vain noin kuukautta myöhemmin näistä sanktioista, Yhdysvallat alkoivat jakelemaan sanktioita kovemmin keinoin. Tässä sanktioerässä Yhdysvallat langettivat tullimaksuja Kiinan vientituotteisiin, joissa oli 50 miljardin dollarin edestä edistyneen teknologian tuotteita (Kwan, 2020). Kiina vastasi Yhdysvaltojen toimiin heti seuraavana päivänä omalla tullimaksujen lisäyksellä, ja siitä lähtien suurvaltiot ovat toinen toisensa perään lisänneet ja langettaneet uusia sanktioita eri tuotteille satojen miljardien dollarien edestä (Kwan, 2020). Ajan saatossa Yhdysvaltojen asettamista sanktioista on paljastunut heidän todelliset tavoitteensa kauppasodan suhteen (Chen ym., 2020). Heidän tavoitteensa on hidastaa Kiinan kasvavaa teknologiakehitystä, ja säilyttää Yhdysvaltojen teknologisen sektorin hallitseva asema (Chen ym., 2020). Sanktioiden kohteina olevat tuotteet eivät olekaan enää halpatuotantoa, vaan ne keskittyvät tiukemmin korkean teknologian tuotteisiin (Chen ym., 2023). Sanktioiden keskiössä on Made in China 2025 -suunnitelman keskeisimmät sektorit, kuten lentoliikenne, informaatio- ja kommunikaatioteknologiat ja koneet, joilla suoritetaan erityistä tarkkuutta vaativia töitä ja tehtäviä (Chen ym., 2023).

5.2 Yhdysvallat–Kiina kauppasodan vaikutukset

Talousaiheisissa julkaisuissa puhutaan geopoliittisia julkaisuja enemmän kauppasodan seurauksista, eikä niinkään historiasta ja juurisyistä kauppasodan taustalla. Julkaisuissa käsitellään erityisesti Yhdysvaltojen ja Kiinan asettamien sanktioiden vaikutuksista valtioiden yrityksiin ja talouteen.

Benguria ym. (2022) ja Chen ym. (2023) käsittelevät artikkeleissaan kauppasodan vaikutuksia kiinalaisiin yrityksiin. Bengurian ym. (2022) tutkimuksen mukaan kauppapolitiikan tuoma epävarmuus laskee kiinalaisen yrityksen investointeja, tutkimus ja kehitys -rahoitusta, sekä yrityksen tulosta. Investoinnit tutkimukseen ja kehitykseen huomattiin toimitusketjuja käsittelevässä luvussa olevan koko teknologiasektorin tärkein kasvun tekijä. Toimitusketjuluovassa löydettiin myös, että tutkimus ja kehitys luo perustan mahdollisuudelle löytää uusia, tehokkaampia teknologiaratkaisuja laskentatehon kehittämiseksi. Vaikka

Bengurian ym. (2022) tutkimuksessa kaikki yritykset eivät olleetkaan teknologiayrityksiä, on muissa tutkimuksissa havaittu samanlaisia tuloksia. Esimerkiksi Chen ym. (2023) tutki 331 listattua yritystä Kiinan ICT-sektorilla, ja löysi selvän yhteyden kauppasodalla ICT-yritysten teknologisen innovaation vaimentumiseen. Tutkimuksessa tutkittiin kolmen eri osa-alueen patenttihakemuksia, joista keksintöpatentilla on valtava vaikutus teknologiseen kehitykseen, ja kahdella muulla ei niinkään. Tutkimuksen mukaan kauppasota vaikuttaa juuri uusien keksintöpatenttihakemusten määrään, joka näyttää ohjaavan tulevaisuuden kiinalaisen ICT-alan innovaatioita korkealaatuisesta matalalaatuisiin. Korkealaatuisen innovaation väheneminen on yhteydessä teknologisen johtoaseman kehitykseen hidastavalla vaikutuksella (Chen ym., 2023). On todettakin, että Yhdysvallat yrittävät hidastaa nimenomaan Kiinan korkean teknologian kehitystä. Yhdysvallat näyttäisi siis osuneen sanktioillaan oikeaan kohtaan muokatessaan Kiinan innovaatiokehitystä korkealaatuisesta matalalaatuisiin. Kiina vaikuttaisi olevan varsin riippuvainen Yhdysvalloista korkean teknologian kehityksessä, joten kiinalaisten yritysten liiketoiminnan jatkuvuuden näkökulmasta olisi elintärkeää löytää muita kauppakumppaneita toimittamaan tarvittavia korkean teknologian valmistusvälineitä.

Allen (2021) käsittelee artikkelissaan kauppasodan vaikutuksia Yhdysvaltoihin. Tutkimuksessa nousee esiin, että vaikka tiettyihin sektoreihin kohdistetut tullit ja sanktiot ovat kustannustehokas keino viestiä valtion päättäväisyydestä häiritä toisen valtion toimia, niistä usein koituu haittaa myös omalle valtiolle. Yhdysvaltojen kohdistamat kauppasanktiot tiettyihin kiinalaisiin yrityksiin vaikutti negatiivisesti näiden yhdysvaltalaisien kauppakumppaneiden markkina-arvoon. Tämän lisäksi todettiin, että mitä riippuvaisempi yhdysvaltalaisyritys on sanktioidusta kiinalaisyrityksestä, sitä rajummin negatiivinen vaikutus näkyy yhdysvaltalaisyrityksellä. Tämän lisäksi artikkelissa huomautetaan, että yhdysvaltalaisitoimittajat saattavat kärsiä tietyn tasoisesta mainehaitasta kauppasanktioiden vaikuttaessa tuotteiden hintoihin heidän kiinalaisille asiakkailleen (Allen, 2021).

Kwan (2020) ja Su (2024) vetävät yhteen aikaisempien artikkelien sanomaa, ja toteavat artikkeleissaan, ettei kauppasodalla ole todellista voittajaa. Su (2024) toteaa, että niin Yhdysvaltojen kuin Kiinanakin talous kärsii kauppasodasta. Allen (2021) korosti Yhdysvaltojen asettamien sanktioiden vaikutuksia oman valtion yrityksiin, mutta Su (2024) muistuttaa myös Kiinan asettaneen sanktioita, negatiivisin vaikutuksin yhdysvaltalaisyrityksiin. Artikkelissa kerrotaan kuitenkin, että itäinen Aasia on osakseen hyötynyt kauppasodasta. Yhdysvallat on löytänyt Kiinan sijasta muualta halpaa työvoimaa ja tarvittavia raaka-aineita puolijohteiden valmistukseen (Su, 2024). Vaikka Allen (2021) korosti yhdysvaltalaisyritysten riippuvuutta kiinalaisista tuottajista, on yhdysvaltalaisyritykset ottaneet riskittömämmän näkökulman ja nyt suojanneet liiketoimintojensa jatkuvuutta. Yritysten pyrkimykset vähentää riippuvuutta Kiinasta muuttaa puolijohteiden toimitusketjujen dynamiikkaa ja kilpailua.

Vaikka moni artikkeli toteaa kauppasodan vaikuttavan maailman talouteen negatiivisesti, ennustaa Chong ja Li (2019) vaikutusten olevan maltillisia.

Heidän artikkelissaan tarkastellaan Yhdysvaltojen ja Japanin historian saatossa käymiä kauppasotia, ja ennustetaan nykyisen kauppasodan vaikutuksia Kiinan talouteen hakemalla vertailukohteita historiasta. Edes huonoimmassa mahdollisessa skenaariossa vaikutukset Kiinaan eivät ole katastrofaaliset (Chong & Li, 2019).

On syytä muistaa, että moni yritys myös Yhdysvaltojen ja Kiinan ulkopuolella on välittömästi tai välillisesti haavoittuvainen kauppasodalle. Mao ja Görg (2020) tutkii artikkelissaan kauppasodan vaikutuksista globaaleihin arvoketjuihin. Kirjoittajat muistuttavat, että vaikka sanktiot kohdistuisivat suoraan vain yhdysvaltalais- ja kiinalaisyrityksiin, vaikuttavat ne Kiinassa tuotettujen yhdysvaltalaisuotteiden hinnoitteluun ja myyntiin muihin maihin. Kauppasodan ulkopuolellakin oleville maille ikään kuin langetetaan sanktioita (Mao & Görg, 2020). Tästä syystä yritysten on syytä tutkia liiketoimintojaan tarkasti, tutkimaan lopputuotteidensa toimitusketjun kaarta. Tällä pystyy mahdollisesti ehkäisemään jatkuvuuteen liittyviä riskejä. Toinen samanlainen esimerkki kolmansien osapuolien osallisuudesta löytyy siitä, miten Yhdysvallat pystyvät hyödyntämään suhteitaan kauppavirran muuttamiseksi. Esimerkiksi Australia, Japani ja Uusi-Seelanti ovat lopettaneet Yhdysvaltojen toiveesta kiinalaisten telekommunikaatiovälineiden käytön omissa 5G verkoissaan (Chen ym., 2020). Globaalit arvoketjut muuttuvat ja maiden yritysten on tutkittava omia liiketoimintoja turvatakseen jatkuvuuden.

Yritysten liiketoiminnan jatkuvuuden kannalta näyttäisi olevan elintärkeää tunnistaa raaka-aineiden, laitteiden ja niihin tarvittavien komponenttien toimitusketjuja, jotta yritys pystyy tiedostamaan mahdolliset riskikohdat kustannuksien nousulle.

5.3 Puolijohdekatkoksiin varautuminen

Puolijohteiden toimitusongelmia ja -riskejä on nyt käsitelty kahdesta eri näkökulmasta, puolijohteiden toimitusketjujen monimutkaisuudesta, sekä geopolitiittista jännitteistä. Tutkielmassa käsitellyt riskit on koottu taulukkoon 1 havainnollistamisen vuoksi. Tietojärjestelmien näkökulmasta puolijohteiden toimituskatkoksiin varautuminen on elintärkeää. Kuten on todettu, nykypäivän tietojärjestelmät ovat riippuvaisia IT-infrastruktuurista, joka rakentuu puolijohteiden varaan. Puolijohteiden toimitusketjujen turvaaminen on siis perusedellytys tietojärjestelmien toiminnan kannalta. Tässä luvussa käsitelläänkin, miten valtiot ja organisaatiot varautuvat puolijohteiden toimitusketjujen riskeihin.

TAULUKKO 1 Puolijohdeiden toimitusketjujen suurimmat riskit ja niiden vaikutus jatkuvuuteen

Puolijohdeiden toimitusketjujen suurimmat riskit	Vaikutus jatkuvuuteen
Globaalisuus	Tyypillinen puolijohdeiden valmistusprosessi kulkee usean mantereiden läpi. Esim. logistiikkahäiriöt vaikeuttavat toimitusketjun toimintaa.
Monivaiheisuus	Valmistusvaiheita on yleensä satoja. Useat vaiheet ja niiden hajautuneisuus globaalisti lisää riskiä toimitusketjun virheille.
Keskittyneisyys	Valmistusvaiheessa tarvittava laite tai sen komponentti voi olla tilattavissa vain ja ainoastaan yhdeltä yritykseltä. Esim. luonnonkatastrofi voi pysäyttää toimitusketjun kannalta kriittisen laitoksen toiminnan.
USA–Kiina kauppasota	Tullimaksujen ja sanktioiden vuoksi puolijohdeiden hinnat nousevat ja niiden kauppaa rajoitetaan. Myös muut valtiot kärsivät kahden suurvallan keskinäisestä kauppasodasta.
Taiwanin keskeinen rooli	USA käyttää hyväkseen liittoutumaansa Taiwanin kanssa rajoittamalla sen puolijohdekauppaa Kiinan kanssa. Kiinan sotilaallinen hyökkäys Taiwanin vaikuttaisi suuresti koko puolijohdesektoriin ja sen toimitusketjuihin.

Kuten on todettu, puolijohdeiden toimitusketjujen globaalisuus on suuri riski jatkuvuudelle. Hallitukset ja päättäjät ovatkin alkaneet tukemaan valtioita ja alueitansa puolijohdemarkkinalla toimivien yritysten kehittämiseksi. Tuilla on tarkoitus kehittää valtion tai alueen puolijohdetuotantoa riippumattomaksi muista alueista (SIA, 2016). Tarkoitus on, että alue pystyisi rakentamaan oma-varaisen puolijohdetuotannon, jolloin globaalien verkoston riskit pystyttäisiin minimoimaan (Mohammad ym., 2021; SIA, 2016). Näitä toimia ovat esimerkiksi jo aikaisemmin mainittu Kiinan ”Made in China 2025” -suunnitelma, jossa tuetaan kiinalaisia puolijohdesektorin yrityksiä. Euroopassa on laitettu käyttöön ”Chips Act”, joka tukee rahallisesti Euroopan puolijohdetuotantoa (Hancké & Garcia Calvo, 2022). Tällä pyritään vähentämään Euroopan riippuvuutta kolmansista osapuolista peräisin oleviin tuontirajoituksiin ja geopolitiisiin jännitteisiin (mister chips). Samalla tuetaan eurooppalaisia yrityksiä, jotka voivat toimia turvallisemmin ja toimittaa IT-infrastruktuuria ja siihen tarvittavia komponentteja luotettavammin Eurooppaan (Hancké & Garcia Calvo, 2022). IT-infrastruktuurin luotettava toimitus edesauttaa tietojärjestelmien jatkuvaa toimintaa ja tietojärjestelmiin tarvittavien laitteiden ja ohjelmistojen rakentamista. Samanlaisia valtion toimia alueellisen puolijohdesektorin kehittämiseksi on

nähty esimerkiksi Etelä-Koreassa, Japanissa, Intiassa ja Yhdysvalloissa (Wasser ym., 2022).

(Varas ym., 2021) kuitenkin arvioi, että yksittäisen valtion tai alueen haaveet toteuttaa täydellinen puolijohdeiden toimitusketju hiipuisi viimeistään ymmärrettyään sen vaatiman pääoman. Heidän mukaansa investointeja täytyisi tehdä noin biljoonan dollarin edestä, ja vuotuiset käyttökustannukset olisivat sadan miljardin dollarin luokkaa. Eikä täydellinen omavaraisuus edes poistaisi kaikkia riskejä, se vain vähentäisi niitä (Varas ym., 2021).

Ylipäätänsä yritysten varautuminen sirukatkoksiin toimii hyvin samalla tavalla kuin muissakin toimitusketjuissa. Organisaation varautumiselle keskeistä on tunnistaa kriisin varhaiset signaalit (Ortiz-de-Mandojana & Bansal, 2016). Edellisen alaluvun päätteeksi huomattiinkin jo, että puolijohdekatkoksiin varautumista edesauttaa toimitusketjujen tunnistaminen. Näin yritys voi löytää mahdollisia haavoittuvuuksia oman liiketoiminnan kannalta tärkeiden komponenttien toimitusketjusta, ja luoda toimia varautuakseen niihin. Puolijohdemarkkinalla toimiva yritys voi esimerkiksi huomata omaavan riskejä Yhdysvaltojen ja Kiinan väliselle kauppasodalle suoraan tai välillisesti esimerkiksi sanktioiden aiheuttamien kustannusten vuoksi, kuten aikaisemmin on huomattu. Yritys voi myös huomata kohtaavansa ongelmia kansainvälisen logistiikan kanssa, koska puolijohdemarkkinan on huomattu olevan varsin globaali. Varautumiseen liittyvä riskien aikainen tunnistaminen auttaa yritystä reagoimaan ennen kuin on liian myöhäistä (Duchek, 2020). Varautumiseen voisi todeta kuuluvan myös tarpeeksi suuren varaston ylläpidon, jotta katkokset toimitusketjussa eivät olisi este yhtiön jatkuvuudelle. Ylipäätänsä IT-infrastruktuurin toimitamiseen liittyvät riskit on huomattu olevan tietojärjestelmille kriittisiä. Jotta tietojärjestelmien toimintaa mahdollistavat laitteet ja ohjelmistot toimivat luotettavasti, on organisaatioiden varautuminen kriiseihin tärkeää.

Organisaatioille on myös tärkeää luoda kriisien kohdatessa tarpeen vaatimia palautumissuunnitelmia (Randeree ym., 2012). Tietojärjestelmien on huomattu olevan riippuvaisia pilvipalveluista, jotka perustuvat datakeskuksiin. Datakeskusten ylläpidon voidaan täten olettaa olevan elintärkeää tietojärjestelmien saatavuudelle. Datakeskuksen kohdatessa ylläpito-ongelmia, on sillä tärkeää olla toimiva palautussuunnitelma.

Kuten on todettu, luonnonkatastrofit ja sotilaalliset konfliktit luovat epävarmuutta yksittäisten yritysten toiminnalle puolijohdesektorilla. Samalla kun on tiedostettu, että yksittäisten yritysten keskeisyys puolijohdeiden toimitusketjuissa on niin suuri, tämä luo suuria riskejä sektorille. Yritykset ovat alkaneet minimoimaan näitä riskejä, ja esimerkiksi TSMC on rakennuttanut Yhdysvaltojen toiveesta uuden valmistuslaitoksen riskittömämmälle alueelle Yhdysvaltojen Arizonaan (Shattuck, 2021). Yksittäinen yritys voi siis varautua sirukatkoksiin pohtimalla yrityksen sijaintia maantieteellisesti.

Edellä pohdituilla keinoilla yritys voi varautua toimitusketjun katkoksiin. Tietojärjestelmien näkökulmasta on erityisen tärkeää, että IT-infrastruktuurin ylläpito on suojattu ja siihen on varauduttu.

6 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli tutkia puolijohteiden toimitusketjujen riskien vaikutuksia puolijohdesektoriin ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuteen. Tutkielman aiheeksi valikoitui puolijohteet, koska ne ovat kaiken modernin teknologian, kuten myös nykypäivän tietojärjestelmien mahdollistaja. Puolijohteet ovat hyvin merkityksellisiä koko modernin yhteiskunnan kehityksessä. Tutkielman tarkoituksena oli ymmärtää puolijohteiden vaikutuksia teknologian kehitykseen, sekä puolijohteiden tärkeyttä tietojärjestelmissä. Tarkoituksena oli myös syventää ymmärrystä puolijohteiden toimitusketjujen riskeistä, erityisesti syventyen toimitusketjujen geopolitiisiin ongelmiin. Toimitusketjujen riskejä tarkasteltiin puolijohdesektorin ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuden näkökulmasta. Tutkielman tavoitteena oli vastata tutkimuskysymyksiin:

1. Mitä ovat puolijohteiden toimitusketjujen riskit ja miten ne muodostuvat?
2. Miten puolijohteiden toimitusketjujen riskit vaikuttavat puolijohdesektorin ja siinä toimivien yritysten jatkuvuuteen?

Ensimmäisenä tutkielmassa luotiin taustatiedon avulla pohjaa aiheelle, jotta tutkimuskysymyksiä vastauksia olisi helpompi ymmärtää. Aluksi luotiin ymmärrystä, miten laskentateho on kehittynyt historian saatossa puolijohdemateriaalien ja niiden avulla rakennettujen mikrosirujen ansiosta. Puolijohteilla on ollut ja on edelleen merkittävä rooli laskentatehon kasvussa. Tutkielman alussa syvennyttiin myös siihen, miten puolijohteet ovat edesauttaneet teknologista kehitystä. Alussa kerrattiin lyhyesti mitä tietojärjestelmät ovat, ja nostettiin esiin puolijohteiden merkitystä niihin. Nykyajan tietojärjestelmät ovat hyvin riippuvaisia teknologiasta, kuten laitteista ja ohjelmistoista, jotka kaikki rakennetaan puolijohteiden varaan.

Seuraavana tutkielmassa käsiteltiin puolijohteiden toimitusketjuja. Tässä luvussa päästiin jo vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Ensin pohdittiin, miten toimitusketjut ovat päätyneet sellaiseksi kuin ne ovat päätyneet. Puolijohteiden toimitusketjujen luonnetta tarkasteltiin toisen tutkimuskysymyksen mukaisesti

jatkuvuuden näkökulmasta. Puolijohteiden toimitusketjut ovat hyvin globaalit, mutta samalla yksittäisille yrityksille keskittyneet. Evoluutio tällaiseksi on tapahtunut perimmiltä pohjilta liiketoiminnallisista syistä. Eri valtioilla ja mantereilla on omat vahvuutensa, ja alueellinen erikoistuminen toimitusketjun eri vaiheissa on mahdollistanut, että siitä on saatu globaalisti paras mahdollinen liiketoiminnallinen hyöty irti. Alueellinen erikoistuminen on johtanut toimitusketjun tiettyjen vaiheiden keskittymiseen yksittäisille toimijoille. Tämä johtaa siihen, että yksittäisen yrityksen jonkin valmistuslaitoksen toiminta saattaa olla kriittinen kokonaisen toimitusketjun toiminnalle. Esimerkiksi sähkökatkokset tai luonnonkatastrofien vaikutukset laitoksessa voivat luoda katkoksen koko toimitusketjuun.

Tämän jälkeen tarkasteltiin tarkemmin nykypäivän toimitusketjuja ensin neljästä päävaiheesta, ja sen jälkeen päävaiheiden aputoimista. Puolijohteiden toimitusketjujen päävaiheita ja aputoimia tarkasteltiin toisen tutkimuskysymyksen mukaisesti jatkuvuuden näkökulmasta. Toimitusketjun eri vaiheet ovat hyvin keskittyneitä tietyille alueille, joissain tapauksissa yksittäisten yritysten harteille. Toimitusketjun globaali luonne korostaa kansainvälisen ja kansallisen logistiikan tärkeyttä. Erilaiset katkokset logistiikassa voivat johtaa merkittäviin puolijohdekatkoksiin, joka luo merkittävän riskin yritysten ja koko puolijohdemarkkinan jatkuvuudelle.

Koska toimitusketjut ovat niin globaalit ja keskittyneet harvoille yrityksille, korostaa se puolijohdeyritysten riippuvuutta toisiinsa. Toimitushäiriöt yhden yrityksen toimesta vaikeuttaa tästä yrityksestä riippuvaisen yrityksen toimintaa, joka taas kumulatiivisesti näkyy muiden riippuvaisten yritysten toiminnassa. Ulkoiset häiriötekijät, kuten vientirajoitukset tai luonnonkatastrofit, voivat lamauttaa yhden yrityksen ja sitä kautta koko toimitusketjun. Valmistuksen ja testauksen vaiheet toteutetaankin suurilta osin Itä-Aasian alueilla, joissa esimerkiksi maanjäristykset luovat suuren riskin.

Neljännessä ja viidennessä kappaleessa tutkittiin tarkemmin toimitusketjujen toista suurta riskitekijää, geopolittisia jännitteitä. Tarkastelun kohteena oli erityisesti Yhdysvaltojen ja Kiinan jännitteet ja kauppasota. Aluksi aihealuetta tutkittiin historian kautta ja syvennyttiin suurvaltojen välisten jännitteiden taustoihin. Juurisyynä kauppasodalle on maiden välinen teknologisen ylivallan tavoittelu. Teknologinen ylivalta mahdollistaa nykypäivänä myös taloudellisen, sekä sotilaallisen ylivallan. Kauppasodan ytimessä on puolijohteet, koska ne mahdollistavat kaiken modernin teknologian.

Kauppasodan vaikutukset puolijohteiden toimitusketjuihin perustuvat vienti- ja tuontirajoituksiin ja tullimaksuihin. Yhdysvallat ja Kiina ovat asettaneet näitä sanktioita toisilleen, rajoittaakseen toistensa edistyneen teknologian kehitystä. Sanktiot kohdistuvat suoraan valtioissa oleviin puolijohdemarkkinalla toimiviin yrityksiin, jota kautta näiden yritysten jatkuvuus heikkenee. Sanktiot kohdistuvat myös useassa tapauksessa kolmansien osapuolten jatkuvuuteen puolijohteiden toimitusketjun globaalisuuden vuoksi. Sanktiot heikentävät siis niin yritysten, kuin myös koko puolijohdesektorin jatkuvuutta.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, koskien toimitusketjujen riskien muodostumista, vastattiin siis kolmannessa, neljännessä ja viidennessä kappaleessa. Havainnollistamisen tueksi viidennen kappaleen loppupuolelle on myöskin koottu taulukko 1, jossa puolijohdeiden toimitusketjujen riskit ja niiden vaikutukset jatkuvuuteen ovat helposti ymmärrettävässä muodossa.

Yritysten ja valtioiden varautuminen puolijohdekatkoksiin on tärkeää jatkuvuuden kannalta. Näitä keinoja ovat valtioiden jo käynnistämät tukipaketit kansallisen puolijohdeteollisuuden edistämiseksi. Näillä tukipaketeilla pyritään vastaamaan toimitusketjujen globaalisuuden tuomiin ongelmiin. Täydellistä toimitusketjua on kuitenkin mahdoton rakentaa, eikä pelkkä kansallisen toimitusketjun vahvistaminen poista kaikkia riskejä, se vain vähentää niitä.

Yritysten keinot varautua puolijohdekatkoksiin ovat hyvin samanlaisia kuin muissakin toimitusketjuissa. Organisaatioilla täytyy olla tunnistettuina toimitusketjun riskikohdat, joihin voidaan vaikuttaa tekemällä ennaltaehkäiseviä toimia. Riskien realisoituessa yrityksellä täytyy olla palautumissuunnitelma, jotta toiminnot saadaan takaisin toimintaan.

On syytä nostaa esiin, että tämä tutkielma on vain pintapuolinen katsaus puolijohdeiden toimitusketjuihin ja niiden riskeihin. Vaikka tutkielmaan valittu kirjallisuus on valittu tarkkaan ja harkitusti, ei kaikkia näkökulmia pystytä ottaa huomioon. Tutkielmassa ei syvennytä esimerkiksi kaikkiin puolijohdeiden toimitusketjujen riskeihin, vaan vain ainoastaan tämän tutkielman näkökulman mukaisesti valikoituneisiin. Tutkielman kirjallisuus, varsinkin toimitusketjujen riskejä käsittelevissä luvuissa, on pääosin varsin tuoretta aiheen ajankohtaisuuden vuoksi. Tästä syystä tietyissä aihealueissa on ollut verrattain vähän relevantteja tutkimuspapereita valittavana.

Mielenkiintoisia tulevaisuuden tutkimusaiheita on monia, mutta yksi kiinnostava ja tärkeä aihe olisi tutkia minkälaiset tekijät altistavat erilaisia yrityksiä puolijohdeiden toimitusketjujen riskeille. Aihetta voisi tutkia sisäisten, sekä ulkoisten tekijöiden näkökulmista. Sisäisiä tekijöitä voisi olla esimerkiksi yrityksen omat liiketoimintaprosessit ja käytänteet, kun taas ulkoisia tekijöitä voisi olla esimerkiksi luonnonkatastrofit ja geopoliittiset jännitteet. Tällaisella tutkimuksella voitaisiin saada arvokasta dataa erilaisten yritysten toiminnasta ja riskeistä. Toinen tulevaisuuden tutkimusaihe voisi olla tutkia puolijohde-markkinalla toimivien yritysten verkostojen merkitystä niiden altistumiselle toimitusketjujen riskeihin. Tutkimuksessa voisi tutkia erilaisten verkostojen ja yritysten välisen yhteistyön vaikutusta yrityksen jatkuvuuteen ja resilienssiin puolijohdeiden toimitusketjuissa. Tällaisella tutkimuksella voitaisiin saada tärkeää tutkimustietoa yritysten välisen yhteistyön merkityksestä jatkuvuuden turvaamiseksi.

LÄHTEET

- Allen, J.S. (2021) Do Targeted Trade Sanctions Against Chinese Technology Companies Affect US Firms ? Evidence from an Event Study. *Business and Politics*, 23(3), 330-343. <https://doi.org/10.1017/bap.2020.21>
- Alter, S. (2008). Defining information systems as work systems: implications for the IS field. *European Journal of Information Systems*, 17(5), 448–469. <https://doi.org/10.1057/ejis.2008.37>
- Benatti, A., Ferraz de Arruda, H., Nascimento Silva, F. & da Fontoura Costa, L. (2021). Enriching and analyzing small citation networks: A case study on transistor's history. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 573, artikkeli 125901. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.125901>
- Benguria, F., Choi, J., Swenson, D. L. & Xu, M. (2022). Anxiety or pain? The impact of tariffs and uncertainty on Chinese firms in the trade war. *Journal of International Economics*, 137, artikkeli 103608. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2022.103608>
- Boell, S. K., & Cecez-Kecmanovic, D. (2015). What is an Information System? 2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences, 4959–4968. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.587>
- Ceruzzi, P. (2012). *Computing: A Concise History*. MIT Press.
- Chen, A. W., Chen, J. & Dondeti, V. R. (2020). The US-China trade war: dominance of trade or technology? *Applied Economics Letters*, 27(11), 904-909. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/13504851.2019.1646860>
- Chen, L. S. & Evers, M. M. (2023). “Wars without Gun Smoke”: Global Supply Chains, Power Transitions, and Economic Statecraft. *International Security*, 48(2), 164-204. https://doi.org/10.1162/isec_a_00473
- Chen, Y., Zhang, S. & Miao, J. (2023). The negative effects of the US-China trade war on innovation: Evidence from the Chinese ICT industry. *Technovation*, 123, artikkeli 102734. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102734>
- Chong, T. T. L. & Li, X. (2019). Understanding the China-US trade war: causes, economic impact, and the worst-case scenario. *Economic and Political Studies*, 7(2), 185-202. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/20954816.2019.1595328>
- Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research*, 13(1), 215–246. <https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7>
- Ferdinand, P. (2016). Westward Ho-the China Dream and ‘One Belt, One Road’: Chinese Foreign Policy under Xi Jinping. *International Affairs (Royal Institute of International Affairs 1944-)*, 92(4), 941-957. <http://www.jstor.org/stable/24757683>

- Friedman, E. (2013). Chinas's Ambitions, America's Interests, Taiwan's Destiny, and Asia's future. *Asian Survey*, 53(2), 225-244.
<https://doi.org/10.1525/as.2013.53.2.225>
- Hancké, B., & Garcia Calvo, A. (2022). Mister Chips goes to Brussels: On the Pros and Cons of a Semiconductor Policy in the EU. *Global Policy*, 13(4), 585-593.
<https://doi.org/10.1111/1758-5899.13096>
- Jiang, J., Li, Z., Tian, Y. & Al-Nabhan, N. (2020). A Review of Techniques and Methods for IoT Applications in Collaborative Cloud-Fog Environment. *Security and Communication Networks*, 2020.
<https://doi.org/10.1155/2020/8849181>
- Khan, S. M., Mann, A. & Peterson, D. (2021). *The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness*. CSET Issue Brief.
<https://cset.georgetown.edu/publication/the-semiconductor-supply-chain/>
- Kwan, C. H. (2020). The China-US Trade War: Deep-Rooted Causes, Shifting Focus and Uncertain Prospects. *Asian Economic Policy Review*, 15(1), 55-72.
<https://doi.org/10.1111/aepr.12284>
- Malkin, A. & He, T. (2024). The geoeconomics of global semiconductor value chains: extraterritoriality and the US-China technology rivalry. *Review of International Political Economy*, 31(2), 674-699. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/09692290.2023.2245404>
- Mao, H., & Görg, H. (2020). Friends like this: The impact of the US-China trade war on global value chains. *The World Economy*, 43(7), 1776-1791.
<https://doi.org/10.1111/twec.12967>
- Miller, C. (2022). *Chip War: The Fight for the World's Most Critical Technology*. Scribner.
- Mohammad, W., Elomri, A. & Kerbache, L. (2022) The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 476-483. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.439>
- Moore, G. E. (1998). Cramming More Components Onto Integrated Circuits. *Proceedings of the IEEE*, 86(1), 82-85.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.1998.658762>
- Mönch, L., Uzsov, R. & Fowler, J. W. (2018) A survey of semiconductor supply chain models part I: Semiconductor supply chains, strategic network design, and supply chain simulation. *International Journal of Production Research*, 56(13), 4524-4545.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1401233>
- Ortiz-de-Mandojana, N. & Bansal, P. (2016). The long-term benefits of organizational resilience through sustainable business practices. *Strategic Management Journal*, 37(8), 1615-1631. <https://doi.org/10.1002/smj.2410>

- O'Regan, G. (2016). *Introduction to the History of Computing: A Computing History Primer*. Springer International Publishing.
- Randeree, K., Mahal, A. & Narwani, A. (2012). A business continuity management maturity model for the UAE banking sector. *Business Process Management Journal*, 18, 472-492.
<https://doi.org/10.1108/14637151211232650>
- Rasmus, J. (2018). Trump's Deja vu China Trade War. *World Review of Political Economy*, 9(3), 346-363. <https://doi.org/10.13169/worlrevipoliecon.9.3.0346>
- Schindler, S., Alami, I., DiCarlo, J., Jepson, N., Rolf, S., Bayirbag, M. K., ... Zhao, Y. (2023) The Second Cold War: US-China Competition for Centrality in Infrastructure, Digital, Production and Finance Networks. *Geopolitics*, 1-38.
<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/14650045.2023.2253432>
- Semiconductor Industry Association "SIA" (2016). *Beyond Borders: The Global Semiconductor Value Chain*.
<https://www.semiconductors.org/resources/beyond-borders-the-global-semiconductor-value-chain/>
- Shattuck, T. J. (2021). Stuck in the Middle: Taiwan's Semiconductor Industry, the U.S.-China Tech Fight, and Cross-Strait Stability. *Orbis*, 65(1), 101-117.
<https://doi.org/10.1016/j.orbis.2020.11.005>
- Song, J. (2023). The history and trends of semiconductor materials' development. *Journal of Physics: Conference Series*, 2608(1), artikkeli 012019.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2608/1/012019>
- State Council of China (2015). *Notice of the State Council on Issuing "Made in China 2025"*. https://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm
- Su, Q. (2024). To what extent did US-China trade war affect the global economy. *SHS Web of Conferences*, 181, artikkeli 03017.
<https://doi.org/10.1051/shsconf/202418103017>
- Thadani, A. & Allen, G. C. (2023). *Mapping the Semiconductor Supply Chain: The Critical Role of the Indo-Pacific Region*. CSIS Briefs.
<https://www.csis.org/analysis/mapping-semiconductor-supply-chain-critical-role-indo-pacific-region>
- Triolo, P. (2023). Technology crossroads: innovation in China's telecommunications and high-performance computer sectors threatened by US stranglehold on semiconductors. *Asian Security*, 19(2), 143-158.
<https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/14799855.2023.2241376>
- U.S. Geological Survey (2020). *Mineral commodity summaries 2020*.
<https://doi.org/10.3133/mcs2020>

- Varas, A., Varadarajan, R., Goodrich, J. & Yinug, F. (2021). *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era*. Semiconductor Industry Association / Boston Consulting Group.
<https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>
- Wasser, B., Rasser, M. & Kelley, H. (2022). *When the Chips Are Down: Gaming the Global Semiconductor Competition*. Center for a New American Security.
<https://www.cnas.org/publications/reports/when-the-chips-are-down>
- White, L. T. (2001). Regional Perspectives and Domestic Imperatives: The effects of American interests on the China-Taiwan dispute. *Cambridge Review of International Affairs*, 14(2), 139-155. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1080/09557570108400363>
- Yang, Z. (18.8.2022). Inside the software that will become the next battle front in US-China chip war. *MIT Technology Review*.
<https://www.technologyreview.com/2022/08/18/1058116/eda-software-us-china-chip-war/>