

Patrik Toivonen

# PUOLIJOHTEIDEN SAATAVUUDEN VAIKUTUS TOIMITUSKETJUIHIN

Kandidaatintyö  
Johtamisen ja talouden tiedekunta  
Ilona Ilvonen  
Joulukuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Patrik Toivonen: Puolijohdeiden saatavuuden vaikutus toimitusketjuihin  
The effects of semiconductor availability on supply chains  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tietojohtaminen  
Joulukuu 2021

---

Tutkimuksessa tarkastellaan puolijohdeiden huonontuneen saatavuuden vaikutusta toimitusketjuihin ja millaisia tekijöitä tilanteen taustalla voidaan havaita. Tutkimuksen tavoitteena on pyrkiä vastaamaan kysymyksiin siitä, miten toimitusketjujen toimintaa on muutettu ongelman pohjalta, ja mihin toimitusketjujen alueisiin ongelmat ovat ensisijaisesti vaikuttaneet. Pyritään myös ymmärtämään tilanteen taustalla olevia ilmiöitä, jotka ovat johtaneet tutkimuksen tarkastelemaan saatavuus ongelmaan. Tutkimuksessa tarkastellaan lähemmin autoteollisuuden sekä kuluttaja-elektronikan kohtaamia haasteita ja vaikutuksia liittyen puolijohdeiden saatavuuden huonontumiseen sekä, miten pitkään saatavuuden ongelman voidaan nähdä jatkuvan. Tutkimuksen aihe valikoitui ensisijaisesti aiheen ajankohtaisuuden sekä ongelman globaalin vaikutuksen vuoksi, jolloin sen tarkasteleminen voidaan katsoa merkittäväksi useiden toimijoiden kannalta.

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta, jonka materiaalina pyritään ensisijaisesti käyttämään tieteellisiä julkaisuja sekä vertaisarvioituja artikkeleita. Tutkimuksen toteutuksessa on hyödynnetty myös ei-tieteellisiä lähteitä tutkimusaiheen ajankohtaisuuden vuoksi, mikäli aiheeseen liittyen ei ole löydetty kattavaa sekä relevanttia tieteellistä materiaalia. Ei-tieteellisiä lähteitä on arvioitu julkaisijan perusteella, tarkasteltaessa lähteiden luotettavuutta. Tutkimuksen keskeisiä käsitteitä ovat puolijohdeet sekä toimitusketjut. Puolijohdeet ovat materiaaleja, jotka omaavat ominaisuuksia niin johteilta kuin eristeiltä. Ne kykenevät toimimaan monenlaisilla virroilla sekä jännitteillä, minkä vuoksi niiden tärkein hyödyntämiskohde on mikropiirien valmistuksessa. Toimitusketjut ovat liiketoiminnan sujuvuuden kannalta merkittäviä, sillä niiden avulla pyritään tekemään tuotannosta tehokasta ja taloudellisesti kannattavaa. Toimitusketjujen ja niiden hallinnan avulla pyritään varmistamaan esimerkiksi raaka-aineiden saatavuus oikeaan aikaan sekä toiminnan enustamisen kautta minimoimaan liiketoiminnan riskejä. Toimitusketjuihin kuuluvat myös tuotteiden varastointiin sekä logistiikkaan liittyvät tekijät.

Tutkimuksen perusteella puolijohdeiden saatavuuden ongelmat johtuvat monen asian yhteisvaikutuksesta. Keskeisiä tekijöitä, joita tutkimuksessa nousi esille saatavuuden ongelmaan liittyen, ovat kysynnän suuri ja äkillinen kasvu, puolijohdeiden tuotannon hitaus yhdistettynä COVID-19 pandemian rajoitustoimiin sekä ylimääräiset puolijohde tilaukset. Ongelmaa lähdetään ratkaisemaan suurien investointien avulla tuotantokapasiteetin lisäämiseksi. Puolijohdevalmistajat pyrkivät tasoittamaan eroa tuotantomäärän sekä kysynnän välillä. Investointien vaikutus voidaan kuitenkin huomata vasta, kun lisäkapasiteettia pystytään hyödyntämään. Tutkimuksessa pohdittiin, miten puolijohdevalmistajien olisi hyvä pyrkiä muuttamaan toimintamalliaan enemmän varastoon valmistukseen, jolloin äkillisen kysynnän tuomia ongelmia voitaisiin tulevaisuudessa minimoida. Tutkimuksen perusteella voidaan pohtia puolijohdevalmistajien sekä puolijohdemarkkinan kannalta parempia toimitusketju- ja tuotantomalleja, joiden avulla kyettäisiin rakentamaan ulkoisille vaikutuksille vähemmän alttiita toimitusketjuja. Tämän avulla tulevaisuudessa olisi mahdollista välttää näin laajalta toimitusketjuja koskevalta ongelmalta. Puolijohdealan johtavat toimijat arvioivat ongelmien kestävän vielä pitkälle vuoteen 2022. Tutkimusta olisi mahdollista hyödyntää tarkasteltaessa, miten tilanne on kehittynyt tutkimuksessa mainitun 9 kuukauden ajanjakson jälkeen.

Avainsanat: Puolijohde, Toimitusketju

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuskysymykset .....	1
1.2 Tutkimuksen tausta, käsitteet ja rajaus .....	2
1.3 Työn rakenne .....	4
2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	5
2.1 Tutkimusmenetelmä .....	5
2.2 Tutkimusaineisto .....	7
3. PUOLIJOHTEET .....	8
3.1 Valmistusprosessi .....	8
3.2 Puolijohdealan ominaisuuksia .....	11
4. TOIMITUSKEJUT JA NIIDEN HALLINTA .....	12
4.1 Toimitusketjujen yleiset piirteet ja hallinta .....	12
4.2 Puolijohdeiden toimitusketjut .....	14
5. HAASTEIDEN SYITÄ JA SEURAUKSIA .....	17
5.1 Tilanteen syitä .....	17
5.2 Aiempia saatavuusongelmia .....	18
5.3 Vaikutukset autoalalla .....	19
5.4 Vaikutukset kuluttajaelektronikassa .....	21
6. ONGELMIEN RATKAISEMINEN JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT .....	23
6.1 Toiminnan muuttaminen ongelmien ratkaisemiseksi .....	23
6.2 Tilanteen tulevaisuuden näkymät .....	24
7. YHTEENVETO .....	25
7.1 Johtopäätökset .....	25
7.2 Tutkimuksen arviointi .....	27
7.3 Jatkotutkimusehdotukset .....	28
LÄHTEET .....	29

# 1. JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön aiheena on puolijohteiden saatavuuden vaikutus toimitusketjuihin. Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa käytetyt tutkimuskysymykset ja avataan tutkimuksen taustaa sekä valittuja rajauksia. Selvennetään, miksi puolijohteiden saatavuuden vaikutukset ovat huomattavissa useilla aloilla ja miten vaikutukset näkyvät normaaliikuluttajan arjessa. Työssä tarkastellaan puolijohteiden merkitystä toimialoille sekä alalla valitsevien ongelmien syitä sekä seurauksia. Tutkitaan minkälaiset asiat ovat johtaneet puolijohteiden aiheuttamiin tuotannon ongelmiin sekä miten pitkään ongelmien voidaan olettaa jatkuvan. Yhtenä tarkasteltavana syyseuraussuhteena tutkitaan koronaviruspandemian vaikutusta toimitusketjujen toimintaan.

## 1.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen päätutkimuskysymys on:

- Mitä vaikutuksia puolijohteiden saatavuudella on toimitusketjuihin?

Alatutkimuskysymyksiä tutkimuksessa käytetään:

- Mitä ongelmia saatavuus on aiheuttanut alan toimijoille?
- Miten toimintaa on muutettu ongelmien minimoimiseksi?
- Mitkä asiat ovat johtaneet saatavuuden huonontumiseen?

Tutkimuskysymykset keskittyvät toimitusketjujen muutoksiin ja näiden kautta tarkastellaan yhteyksiä toimitusketjujen kokemuksiin ongelmiin.

Koska puolijohteiden käyttö koskee useaa toimialaa ja on monien tuotteiden valmistuksen kannalta oleellinen osa (Hitachi High-Tech 2021; Voas et al. 2021), ovat monet toimijat joutuneet muuttamaan tuotantomalliaan tai perumaan tilauksia toimitusvaikeuksien vuoksi. Saatavuusongelmiin johtaneet syyt ovat usean asian summa, jossa alan toimijat eivät ole osanneet varautua riittävästi moninaisiin ongelmiin, johtaen näin ongelmiin toimitusketjuissa (Voas et al. 2021). Tutkimuksella pyritään ensinnäkin avaamaan ongelmien syitä ja seurauksia, sekä esittämään toimia havaittujen ongelmien ratkaisemiseksi. Toisena tutkimuksen tavoitteena on tuoda ymmärrystä saatavuuden vaikutuksista toimi-

tusketajien toimintaan sekä miten ennakkoinnin avulla voidaan varautua ongelmatilanteisiin teollisessa tuotannossa. Tutkimus pyrkii siis ennemmin selittämään aiheen ilmiöitä, aiheuttajia sekä seurauksia, eikä niinkään keskittymään vain yhteen näistä alakohdista, jolloin tilanteesta muodostuu selkeä kokonaiskuva.

## 1.2 Tutkimuksen tausta, käsitteet ja rajaus

Yhä enemmän tekoälyyn tai muuten älykkäisiin toimintoihin luottavan kuluttajaelektronikan yleistyessä lähes jokainen elektroninen laite sisältää jonkinlaisen mikrosirun (Voas et al. 2021). Vallitsevan huonon saatavuuden vuoksi kuluttajilla on ollut vaikeuksia hankkia viihde-elektronikkaa, kuten uusia pelikonsoleita sekä tietokoneen näytönohjaimia. Uusien autojen tilaukset ovat viivästyneet ja jopa yksinkertaisempia prosessoreja käytäviä kodinkoneita on ollut vaikeampi hankkia (Voas et al. 2021). Alan suuren vuosittaisen kasvun vuoksi näiden sirujen valmistukseen tarvittavien raaka-aineiden kysyntä on ollut tasaisessa kasvussa, mikä puolestaan yhdistettynä koronaviruspandemian luomiin haasteisiin on aiheuttanut markkinoilla suuria toimitus-, saatavuus- sekä tuotanto-ongelmia, joiden vaikutus on nähtävillä monella mikrosiruihin tuotannossaan luottavalla toimialalla (Flaherty 2021).

Tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan puolijohdeiden huonontuneen saatavuuden vaikutuksia eri teollisuudenaloilla. Erityisesti keskitytään autoteollisuuden kohtaamiin ongelmiin sekä kuluttajaelektronikan aihealueeseen. Työn tarkoituksena on tarkastella globaalin puolijohdepulan vaikutuksia toimitusketjuihin, mitkä tekijät aiheuttivat puolijohdepulan ja minkälaisia toimia olisi tullut hyödyntää, jotta havaitut vaikutukset olisivat jääneet vähäisemmiksi ja suuremmilta ongelmilta olisi vältytty. Tutkittava ilmiö itsessään keskittyy erityisesti puolijohdeiden toimitusketjujen hallintaan sekä niiden kohtaamiin ongelmiin tuotannon supistuessa raaka-aineiden saatavuuden sekä muiden ongelmien myötä.

Tutkittava aihe koskettaa hyvin montaa alaa sekä tuotetta, joiden valmistusta ei yhdistäisi riippuvaiseksi harvojen toimittajien tuottamaan hyödykkeeseen. Tutkimus on tärkeä, jotta ymmärrettäisiin paremmin syitä saatavuudenongelmille sekä toimitusketjujen ongelmakohtia. Erityisesti tämän kaltaisella, tuotannon osalta hyvin keskittyneellä, mutta kuitenkin globaalin markkinan omaavalla alalla toimitusketjujen hallinnan rooli korostuu (Voas et al. 2021). Tilanteen ajankohtaisuuden vuoksi aiheesta löytyy huomattavasti vähemmän kattavaa tutkimusta kuin vanhemmista aiheista. Aiheesta on kuitenkin tehty selvityksiä, miten saatavuus on vaikuttanut eri toimijoiden tuotantoon sekä ongelmalle on pyritty selvittämään syitä. Ongelmat ovat suureksi osaksi useiden asioiden summa, eikä vain yhden tietyn tekijän aiheuttama haaste (Baraniuk 2021).

Rajaukset keskittyvät puolijohteiden toimitusketjuihin ja tuotannon ongelmiin. Rajauksiin on päädytty, koska toimitusketjut ovat laaja osa saatavuuden aiheuttamaa ongelmaa, mutta toimitusketjujen muutoksia on mahdollista soveltaa myös muihin ongelmiin niiden laajan vaikutuksen ansiosta. Autoteollisuuden tilanteesta nostetaan esimerkkejä tilanteen vaikutuksista tuotantoon sekä toimitusketjujen hallintaan. Autoteollisuus kuvastaa hyvin, miten tilanne on vaikuttanut tuotantoon sekä tuotannon muihin osa-alueisiin, sillä autoala on ollut yksi teollisuudenaloista, johon puolijohteiden saatavuus on vaikuttanut merkittävimmin (Krolkowski & Naggert 2021) ja sen aiheuttamia ongelmia on tutkittu jo valitun lähdemateriaalin mukaan. Tutkimuksen pääsääntöisenä näkökulmana on tarkastella tilanteen taustalla olevia syitä ja pyrkiä näitä ymmärtämällä tuomaan näkökulmaa sille, miten tilanteessa olisi voitu toimia, jotta vaikutukset erityisesti toimitusketjuissa olisivat jääneet mahdollisimman vähäisiksi saatavuusongelmista huolimatta.

Puolijohteilla tarkoitetaan materiaaleja, jotka ovat sähkönjohtokyvyltään johteiden ja eristeiden väliltä. Puolijohteita käytetään erityisesti diodien sekä transistorien valmistuksessa. Puolijohteet kykenevät käsittelemään monenlaisia virtoja ja jännitteitä, minkä vuoksi niitä voidaan hyödyntää mikrosirujen valmistuksessa. Tämä puolestaan kytkee puolijohteet moneen eri teollisuuden alaan, sillä yhä enemmän teollisuuden tuotteet, niin teollisuuden omaan käyttöön tuotetut kuin kuluttajille suunnatut hyödykkeet, sisältävät jonkinlaisia mikropiirejä. (Hitachi High- Tech 2021)

Toimitusketjuilla tarkoitetaan yrityksen rakentamaa verkostoa sen tuotteiden tai palveluiden jakeluun ja varastointiin aina tuotantovaiheesta loppukäyttäjille. Tuotantoketjujen tarkoituksena on minimoida tuotteiden siirtämiseen ja jakeluun käytettävä pääoma ja maksimoida tuotannon kierto uusien ja vanhempien tuotteiden välillä. (Kenton 2021)

Tässä työssä pyritään löytämään ja avaamaan ongelmien syitä, tarkastelemaan vaikutuksia ongelmia kohdanneilla toimialoilla ja pohtimaan, miten eri toimijoiden olisi ollut mahdollista minimoida ongelmien vaikutukset omassa toiminnassaan. Tarkastellaan myös miltä mahdolliset tulevaisuudennäkymät tilanteessa näyttäisivät. Esimerkkitoimialoina työssä tarkastellaan autoteollisuuden alaa, johon sirupulan vaikutukset ovat kohdistuneet jo melko varhaisessa vaiheessa, sekä kuluttajaelektroniikan aluetta, johon voidaan liittää lisääntynyt kysyntä kotitoimistojen yleistyttyä koronaviruspandemian aikana.

### 1.3 Työn rakenne

Kandidaatin työn toisessa luvussa avataan suoritettun kirjallisuuskatsauksen toteuttamista tutkimusmenetelmän osalta, sekä esitetään tutkimuksessa hyödynnetyn tutkimusaineiston valintaprosessia, ja millä perusteilla aineistoa työhön valittiin. Esitellään myös saatuja hakutuloksia valituista tietokannoista. Kolmannessa sekä neljännessä luvussa esitellään tutkimuksen kannalta oleellisia aiheita, puolijohteita sekä toimitusketjuja, tarkemmin. Perehdytään myös siihen, millaisia ominaispiirteitä puolijohdealan toiminnalla on verrattuna muihin teollisuuden aloihin.

Viidennessä luvussa tarkastellaan huonontuneeseen saatavuuteen johtaneita syitä sekä näiden aiheuttamia ongelmia. Luvussa avataan myös, mitä vaikutuksia saatavuuden ongelmilla on ollut erityisesti autoteollisuuden sekä kuluttajaelektronikan kannalta. Kuudes luku keskittyy saatavuuden parantamiseen tulevaisuudessa sekä millaisilla toimilla ongelmaa pyritään ratkaisemaan.

Seitsemäs luku on yhteenveto, jossa vastataan tutkimuksen alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin kirjallisuuskatsauksen pohjalta ja tehdään johtopäätöksiä tutkimuksen aiheesta. Tässä luvussa myös tarkastellaan, miten hyvin tutkimus onnistuttiin toteuttamaan, sekä mitä kehityskohteita toteutuksessa vielä olisi. Lopuksi pohditaan vielä jatkotutkimusehdotuksia toteutettun kirjallisuuskatsauksen pohjalta.

## 2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tässä luvussa avataan tutkimuksen toteuttamiseen sekä tutkimuksen aineistoon ja sen valintaan liittyviä asioita. Luvussa kerrotaan, miten tutkimuksessa käytettyä aineistoa on etsitty eri tietokannoista ja miten valittuihin artikkeleihin sekä tieteellisiin julkaisuihin on päädytty.

### 2.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsausta. Aiheen hakuja tehtiin englanniksi ensisijaisesti Andorista, mutta myös Google Scholarista. Artikkeleissa keskitytään vuonna 2018 tai sen jälkeen julkaistuihin aineistoihin aiheen ajankohtaisuuden vuoksi. Ensisijaisesti aiheesta etsitään tieteellisiä artikkeleita, joissa aihetta käsitellään erilaisista näkökulmista mahdollisimman laajan kokonaiskuvan saamiseksi. Aineistona on käytetty myös uutislähteitä sekä ei-vertaisarvioituja artikkeleita. Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisessa käytetään Finkin (2014) seitsemän kohdan mallia:

1. Tutkimuskysymysten asetus
2. Tietokantojen sekä kirjallisuuden valinta
3. Hakusanojen ja -lausekkeiden valinta
4. Hakukriteerien valinta
5. Metodologinen rajaaminen
6. Katsauksen tekeminen
7. Tulosten syntetisointi

Hakukriteereinä käytettiin edellä mainittua vuonna 2018 tai sen jälkeen julkaistua aineistoa, joka on saatavilla verkossa ja vertaisarvioitua. Metodologisena rajauksena päädyttiin rajaamaan tarkastelu hakutulosten 50 ensimmäiseen tulokseen relevanssi järjestyksessä hakutulosten määrän vuoksi. Samoja hakukriteerejä pyrittiin noudattamaan myös ei-tieteellisten julkaisujen hauissa, mikäli se vain oli mahdollista. Tämän jälkeen toteutettiin varsinainen katsaus sekä saatujen tulosten syntetisointi. Hakulausekkeina käytetään esimerkiksi "semiconductor shortage", "puolijohde saatavuus" sekä "semiconductor supply chain". Taulukossa 1 esitellään saatuja hakutuloksia hakulausekkeilla ja niiden rajausta. Viimeisessä taulukon kohdassa Google Scholarin kohdalla ilmeni ongelmia ha-



luttujen rajausten toteuttamiseen samoilla ehdoilla kuin Andorissa, joten viimeisen taulukon Google Scholar hakutulokset vääristävät todellista hakutulosten määrää. Hakutulosten perusteella hakurajauksia olisi voinut olla enemmän suuren julkaisumäärän vuoksi. Haut puolijohteiden tuotantoketjuista tuottivat selkeästi enemmän hakutuloksia verrattuna puolijohteiden saatavuuden ongelmaan (shortage). Tuotantoketjut olivat aineiston määrän nähden tutkitumpi aihe ja siihen kirjallisuuden etsiminen oli helpompaa verrattuna tutkittuun puolijohteiden saatavuuden ongelmaan.

<b>Rajoittamaton haku</b>	<b>Andor</b>	<b>Google Scholar</b>	<b>Yhteensä</b>
"semiconductor" AND "shortage"	91 056	40 200	131 256
"semiconductor" AND "supply chain"	221 257	44 300	265 557
			396 813
<b>Rajoitus 2018-</b>	<b>Andor</b>	<b>Google Scholar</b>	<b>Yhteensä</b>
"semiconductor" AND "shortage"	46 848	13 100	59 948
"semiconductor" AND "supply chain"	125 242	14 100	139 342
			199 290
<b>Rajoitus 2018- ja vertaisarvioitu julkaisu, saatavilla verkossa</b>	<b>Andor</b>	<b>Google Scholar</b>	<b>Yhteensä</b>
"semiconductor" AND "shortage"	2 542	13 100	15 642
"semiconductor" AND "supply chain"	1 879	14 100	15 979
			31 621

Taulukko 1: Hakutulokset hakulausekkeille

Tuloksia oli kaikkien julkaisujen läpikäyntiin liikaa, joten rajataan tarkastelu 50 ensimmäiseen tulokseen järjestettynä Andorin tarjoaman relevanssi järjestyksen mukaisesti. Hae- tuista artikkeleista sekä tieteellisistä teksteistä etsittiin ensiksi otsikoita, joissa esiintyy yhteyksiä puolijohteiden ja toimitusketjujen tai puolijohteiden ja saatavuusongelmien välillä. Tämän jälkeen luettiin tekstin johdanto, pohdittiin voiko aineisto olla relevantti työn aiheen kannalta ja tehtiin päätös varsinaisen aineiston lukemisesta. Ei-tieteellisiä lähteitä valikoitiin kirjallisuuskatsaukseen, mikäli ne olivat aiheeseen sopivia ja niiden julkaisijat

ovat todettu luotettaviksi. Uutisartikkeleita haettiin samoilla hakusanoilla kuin tieteellisiä julkaisuja niin Andorista, kuin yleisistä hakukoneista. Uutisartikkeleista sekä ei-tieteellisistä julkaisuista tarkasteltiin ensin otsikoita sekä julkaisijaa ennen varsinaisen sisällön lukemista. Erityisesti saatavuuden huonontumisen syiden tutkimisessa on käytetty enimmäkseen uutisartikkeleita ajankohtaisen ja laajan näkemyksen saamiseksi.

## 2.2 Tutkimusaineisto

Alla on lueteltu tutkimuksessa ensisijaisesti hyödynnetyt kirjallisuuskatsauksen tieteelliset ja vertaisarvioidut julkaisut. Julkaisuja on määrältään vähän, sillä hakujen avulla löydetty julkaisut ja niiden rajaaminen relevanssin mukaisesti 50 ensimmäiseen antoi tuloksiksi kuitenkin vain harvoja tutkimuksen aiheen kannalta oleellisia tuloksia. Suurin osa rajauksen 50 julkaisusta käsitteli toimitusketjujen ja puolijohteiden tapauksessa (semiconductor and supply chain) ensisijaisesti vain toimitusketjujen kannalta oleellisia asioita ja vain muutamat lähteet keskittyivät näiden yhtenäisyyksiin. Puolijohteet ja saatavuus ongelman hauissa (semiconductor and shortage) samalla metodilla toteutettuna saatiin vielä vähemmän tieteellisiä julkaisuja kuin toimitusketjujen kohdalla. Löydetyt artikkelit käsittelivät enimmäkseen puolijohteiden sekä energiavajeen yhteyksiä. Hyödynnetyjen artikkelien lisäksi löydettiin muutama julkaisu, jotka käsittelivät samaa aihetta, mutta tutkimuksen kannalta liian kapeasta näkökulmasta, kuten toimitusketjun yhden osan tarkastelusta. Tämän kaltaiset julkaisut päätettiin rajata valittujen julkaisujen ulkopuolelle.

- Mönch, L., Uzsoy, R. & Fowler, J.W. (2018a). A survey of semiconductor supply chain models part I: semiconductor supply chains, strategic network design, and supply chain simulation. *International Journal of Production Research*.
- Mönch, L., Uzsoy, R. & Fowler, J.W. (2018b). A survey of semiconductor supply chain models part III: master planning, production planning and demand fulfillment. *International Journal of Production Research*.
- Uzsoy, R., Fowler, J. W. & Mönch, L. (2018). A survey of semiconductor supply chain models Part II: demand planning, inventory management and capacity planning. *International Journal of Production Research*.
- Voas, J., Kshetri, N. & DeFranco, J. F. (2021). Scarcity and Global Insecurity: The Semiconductor Shortage. *LOS ALAMITOS: IEEE. IT professional, Vol.23 (5)*, ss.78–82.

## 3. PUOLIJOHTEET

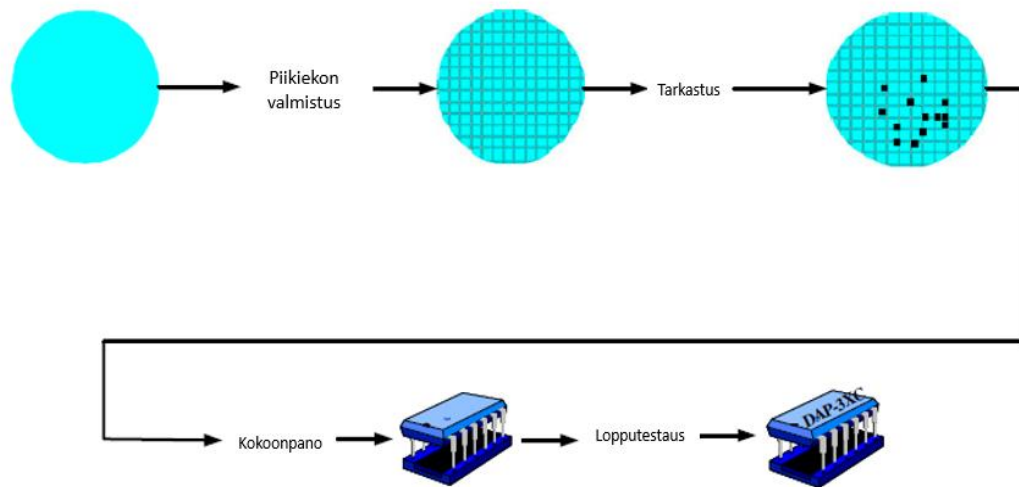
Tässä luvussa avataan mitä puolijohde ovat, miten niitä valmistetaan sekä millaisia piirteitä puolijohdealalla on yleisesti. Luvun ensimmäisessä osassa avataan puolijohdeiden valmistusprosessi sekä valmiiden puolijohde tuotteiden eri suorituskykytasojen määrittely. Luvun jälkimmäisessä osassa kerrotaan millaisia tyypillisiä piirteitä sekä ominaisuuksia voidaan liittää puolijohdealaan.

### 3.1 Valmistusprosessi

Puolijohde ovat elintärkeitä maailman taloudelle laajojen käyttömahdollisuuksiensa vuoksi. Vaikka niiden valmistus kehitettiin Amerikassa, on niiden valmistus siirtynyt pitkälti Etelä-Koreaan, Taiwaniin sekä muihin Aasian maihin. (Thorbecke 2021) Puolijohdeiden avulla valmistetaan erityisesti transistoreja sekä diodeja, joista ensimmäistä hyödynnetään laajasti esimerkiksi mikroprosessorien valmistuksessa. Näitä mikroprosessoria hyödynnetään esimerkiksi tietokoneiden suorittimien (engl. Central Processing Unit, CPU) ja grafiikkasuorittimien (engl. Graphics Processing Unit, GPU) valmistuksessa (Intel 2021). Puolijohdeita hyödynnetään monissa arkipäivän asioissa, joiden ei välttämättä ajattelisi olevan missään tekemisissä puolijohdeiden kanssa. Esimerkiksi ilmastointilaitteet hyödyntävät puolijohdeita säädellössään toimintaansa, laserhoidoissa lääketieteessä hyödynnetään puolijohdeita sekä monien erilaisten systeemien hyötysuhteen parantamisessa säätelämällä energiankulutusta. (Hitachi High-Tech 2021)

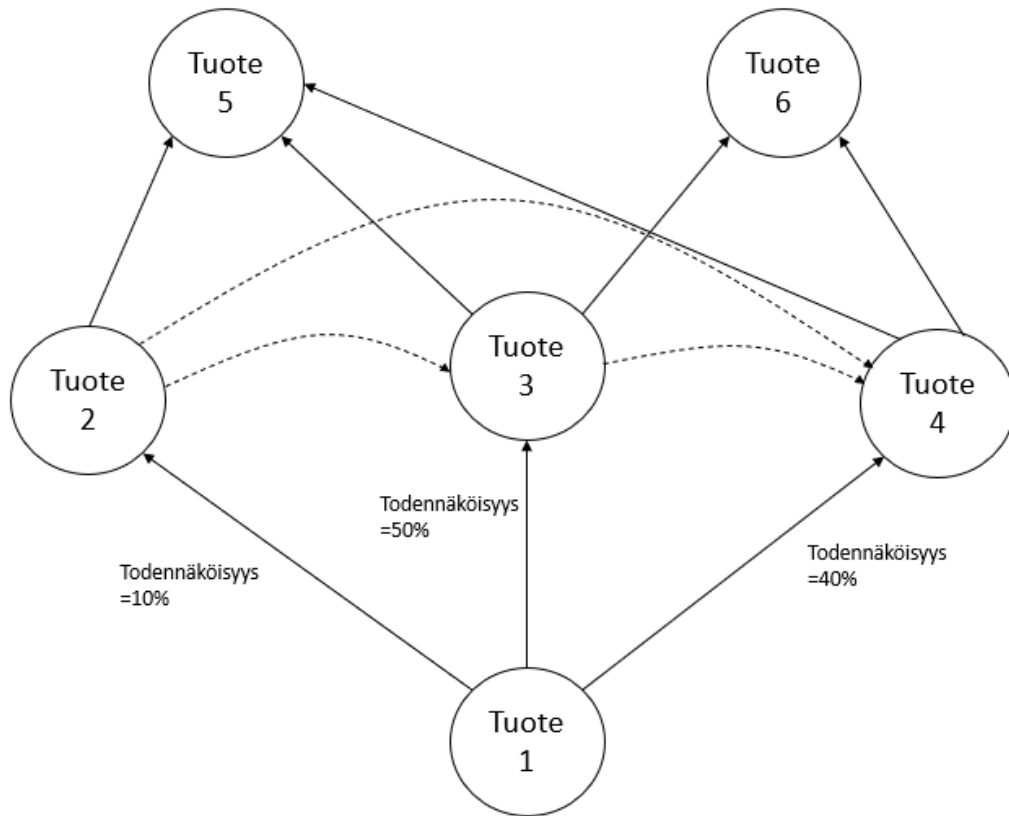
Puolijohde kehitettiin 1900-luvulla ja niiden johdannaisina keksittiin transistorit 1940-luvulla. Yleisimpinä puolijohdemateriaaleina pidetään piitä sekä germaniumia, joista pii on yleisemmin tunnettu puolijohdemateriaali. (Hitachi High-Tech 2021) Monipuolisten sovellusmahdollisuuksiensa sekä laajojen vaikutustensa vuoksi saatavuuden huonontuessa ovat puolijohdeet hyvin mielenkiintoinen aihe, erityisesti nykyisessä tilanteessa, missä koronaviruspandemia on tuonut tilanteeseen omat haasteensa.

Valmistusprosessiin kuuluvat yleisesti neljä valmistusvaihetta (Kuva 2), joista kaksi ensimmäistä, niin kutsuttu piikiekon valmistus (wafer fabrication) sekä tarkastus (probe), ovat usein määritelty alkuoperaatioksi. Näitä seuraavia varsinaista kokoonpanoa sekä lopputestausta puolestaan loppuoperaatioiksi.



Kuva 2: Puolijohdeiden valmistuksen pääkohdat (mukailtu lähteestä Mönch et al. 2018a)

Eri materiaalien muodostamien kerrosten sekä useiden työvaiheiden tuloksena saadaan aikaan halutulla sähkönjohtokyvyllä toimiva laite, joka koostuu useista sadoista tai jopa tuhansista itsenäisistä laiteosista. Tarkastusvaiheessa valmistetulle piikiekolle ja sen jokaiselle osalle määritellään toiminta-aste, joko toimivana, osittain toimivana tai ei-toimivana. Tämä testaus suoritetaan hyödyntämällä sähkövirtaa. (Mönch et al. 2018a) Tarkastuksen jälkeen piikiekot leikataan osiin, jolloin saadaan useita yksittäisiä laitteita. Näihin yksittäisiin laitteisiin lisätään keraamisia tai muovisia suojia ympäristön vaikutuksien varalta sekä johtimia, jolloin ne on mahdollista asentaa piirilevyille (Mönch et al. 2018). Laitteita testataan usein niiden tulevalle toiminta-alueelle ominaisella prosessilla jopa muutamia viikkoja. Lopputestauksen avulla voidaan määrittellä, onko luotu puolijohdekomponentti sopiva sille alun perin määriteltyyn tehtävään ja sille annetaan toiminta-astetta kuvaava tunnus. Tämän seurauksena esimerkiksi mikroprosessorien valmistuksessa hyödynnetään erilaisia toiminta-asteita. Mikäli tuotettu komponentti ei ole toimiva sille tarkoitettuun tehtävään, mutta se toimii alemman tason laitteen määritelmien mukaisesti, voidaan sitä kuitenkin hyödyntää alemmassa tehtävässä. (Mönch et al. 2018a) Tätä valikoivaa valmistusta (engl. binning) avataan alempana. Matalampitasoisten tuotteiden valmistaminen on helpompaa, koska niiden tuottaminen on mahdollista ylempien tasojen tuotteiden avulla (Mönch et al. 2018a). Eri tasoisten puolijohdetuotteiden valmistusta sekä tuotteiden valmistusta muita tuotteita hyödyntäen avataan alla olevassa kuvassa (Kuva 3).



Kuva 3. Semiconductor Bill of Materials (BOM), (mukailtu lähteestä Wang et al. 2008; Mönch et al. 2018a)

Kuva havainnollistaa, miten tuotteesta 1 on mahdollista valmistaa tuotteita 2, 3 sekä 4 eri todennäköisyyksillä sekä miten näistä on jälleen mahdollista valmistaa tuotteita 5 ja 6. Suorat nuolet kuvastavat ensisijaisia valmistusreittejä ja katkoviivat puolestaan kuvastavat vaihtoehtoisia valmistusreittejä. Eri tasoilla tuotteilla tarkoitetaan puolijohdeiden kohdalla, miten tietyn tunnuksen omaavan mikroprosessorin, esimerkiksi tietokoneen näytönohjain, tulisi toimia määritellyllä kellotaajuudella, kuten 4 MHz. Mikäli tämän kaltaisen tuote ei kykenisikään toimimaan halutulla kellotaajuudella, mutta se olisi täysin toimiva 3 MHz kellotaajuudella, voidaan valmistettua tuotetta hyödyntää alempana tuotteena, jonka määritelmä olisi toimia asetetulla 3 MHz kellotaajuudella. (Mönch et al. 2018a) Kuvaajan tarkoituksena on esittää, miten joidenkin puolijohdetuotteiden valmistus on mahdollista vain pienellä osalla lähtömateriaaleista. Korkealaatuisimpien puolijohdetuotteiden valmistukseen sopivat materiaalit puolestaan voidaan helposti muokata alemman tason tuotteiksi, minkä vuoksi niiden valmistus on yleisesti helpompaa sopivien materiaalien laajemman saatavuuden vuoksi. Eri tasoiksi tuotteet voidaan usein luokitella niiden puolijohdemateriaaleihin liitettyjen ominaisuuksien, kuten sähkönjohtokyvyn sekä laskentatehon avulla.

## 3.2 Puolijohdealan ominaisuuksia

Yleisesti puolijohdeiden tuotanto sekä toimitusketjut kuvastavat taloudellisesti vahvoja alueita, niiden kalliiden tuotantoprosessien ja tuotantolaitteistojen vuoksi. Tuotantoa koskevat tiukat lakisääteiset määräykset ympäristövaikutusten sekä valmistuksessa käytettävien materiaalien myrkyllisyyden vuoksi. Tuotteiden sekä prosessien monimutkaisuuden vuoksi myös työntekijöiden osaamisen on oltava riittävällä tasolla, mikä puolestaan myös nostaa toiminnan kustannuksia korkeasti koulutetun työvoiman kautta. (Uzsoy et al. 1992) Puolijohdeiden tuotannossa kriittisimpänä kohtana voidaan pitää varsinaista piikiekon valmistusta, jossa vain pieni osa alkuperäisistä materiaaleista läpäisevät kaikki valmistusprosessin neljä kohtaa ja niistä saadaan valmistettua tavoiteltu tuote, joka toimii juuri sille kaavailtujen määritteiden mukaisesti. Tuotannossa suurin epävarmuus tuotteiden laadussa ilmenee uusien tuotteiden sekä tuotantomenetelmien käyttöönotossa, erityisesti kun uudet menetelmät pyritään integroimaan osaksi massatuotantoa. Uudet menetelmät voivat haitata tuotantoa, mutta tuotannon kehittyminen ja uusien tuotteiden kehittäminen on elintärkeä osa yrityksen kilpailukyvyn säilyttämisessä pitemmällä tähtäimellä. (Mönch et al. 2018a) Uusien menetelmien myötä pystytään luomaan uusia tuotteita, joiden valmistus ei ennen ollut mahdollista. Koska alan yritykset uudistuvat jatkuvasti ja haluavat pysyä kilpailukykyisinä, johtaa tämä usein tuotteiden elinkaaren lyhentymiseen uusien tuotteiden ottaessa tasaisin väliajoin vanhojen tuotteiden markkinatilan (Terwiesch and Bohn 2001; Macher and Mowery 2003; Mönch et al. 2018a).

Yleisesti puolijohdemarkkinaa voidaan pitää globaalina jo sen alkua ajoista asti. Toiminnan vaatiessa suuria määriä työtunteja, matalampien tuotantokustannusten perässä monet eurooppalaiset sekä amerikkalaiset toimijat siirtyivät vähitellen Aasiaan sekä Etelä-Eurooppaan. Monet puolijohdetuotantoon osallistuvat maat näkevät tuotannon suurena osana omaa talouttaan, näistä merkittävimpinä Taiwan, Etelä-Korea sekä Japani. (Morris 1990)

## 4. TOIMITUSKEJUT JA NIIDEN HALLINTA

Tässä luvussa käsitellään toimitusketjujen yleisiä piirteitä, niihin sisältyviä osia ja eri toimijoita. Tarkoituksena on tarkastella, miten yleiset toimitusketjut toimivat ja mitä erityispiirteitä juuri puolijohteiden toimitusketjuilla voidaan havaita. Luvussa tutkitaan lähdemateriaalien avulla miksi toimitusketjut ovat tärkeitä, mitä niiden hyödyntämisellä pyritään saavuttamaan ja minkälaista lisäarvoa niiden onnistuneella strategisella implementoinnilla voidaan liiketoiminnan kannalta saada.

### 4.1 Toimitusketjujen yleiset piirteet ja hallinta

Toimitusketjuilla ja niiden hallinnalla yritysten on mahdollista saavuttaa kilpailuetua ja sen avulla toimijoiden on mahdollista luoda parempi tarjoama kyseiselle markkinalle. Toimitusketjujen hallinnalla pyritään myös madaltamaan tuotteiden siirtelyn ja logistiikan aiheuttamia kuluja sekä parantamaan toiminnan ennustettavuutta. (Perkins et al. 2021) Toimitusketjujen hallinta käsittää siis koko prosessin tuotteiden lähtömateriaalien hankinnasta valmiin tuotteen valmistukseen ja tuotteen toimittamiseen asiakkaalle. Organisaatiot hyödyntävät toimitusketjujen hallintaa eri tavoin, riippuen erilaisista tavoitteista, markkina-alueista sekä valmistettavista tuotteista. (Perkins et al. 2021) Toimitusketjujen hallinta voidaan jakaa Perkins et al. (2021) mukaan viiteen tärkeimpään osa-alueeseen, joiden avulla pyritään parantamaan tuotteiden laatua, toiminnan aikataulutusta ja budjetoinnin pitävyyttä. Nämä nostetut viisi kohtaa ovat seuraavat:

1. Suunnittelu
2. Hankinta
3. Tuotanto
4. Toimitus
5. Palautus/Vaihto

Suunnitteluvaiheella tarkoitetaan tässä yhteydessä varaston riittävyyttä kaikille tuotannon osille. Suunnitteluvaiheeseen kuuluu osana myös mahdollisen kysynnänvaihtelun huomioiminen, jotta tuotanto pysyy ajan tasalla tilauksiin vaadittavasta tuotantomäärästä. Hankintavaiheeseen kuuluvat kaikki tuotannon materiaalien tarjoajien valinnasta varsinaisiin materiaalihankintoihin. Hankinnan tavoitteena on hankkia tarvittavat materiaalit mahdollisimman edullisesti ja osaltaan varmistaa materiaalien saatavuus ajallaan. (Perkins et al. 2021)

Tuotantovaiheeseen kuuluvat itse tuotanto, testaus ja tuotteiden pakkaaminen tai lähetettäväksi valmisteleminen. Tuotantovaiheen osana voi pitää myös asiakaspalautteen mukaista tuotannon muuttamista, mikäli se koetaan järkeväksi tuotteen kannalta. Toimivaiheen osiksi katsotaan listauksen mukaan valmiiden tuotteiden toimittaminen asiakkaille ja toimituksen tehokkuudesta huolehtimisen. Palautusvaiheeseen kuuluu tämän viiden kohdan listauksen mukaan asiakastuki erityisesti tuotteiden palautuksia koskevissa asioissa ja muutenkin asiakassuhteiden ylläpito. Hyvän sekä tehokkaan toiminnan mahdollistaminen ongelmien ilmetessä on tärkeä osa toimitusketjujen toimintaa. Organisaatiot lähestyvät toimitusketjujen hallintaa eri tavalla, johtuen toimijoiden erilaisista tuotantomalleista sekä toiminnantavoitteista. Jokaista vaihetta viiden kohdan mallista voidaan parantaa tai mukauttaa toiminnan mukaisesti riippuen millaisella toimintastrategialla yritys hallinnoi toimitustenhallintaansa. (Perkins et al. 2021)

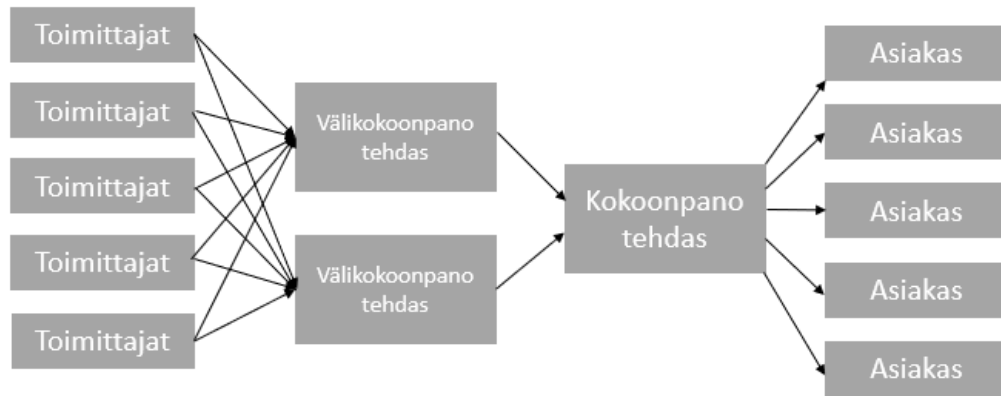
Toimitusketjujen hallinnan työkalujen avulla yritysten on usein mahdollista seurata kysynnän muutoksia, yrityksen omaa tuotannon verkostoa sekä tuotannon suunnittelua. Toimitusketjujen hallinnasta on myös hyötyä aiemmin mainitun mukaisesti hankintojen suunnittelussa, alihankkijoiden valinnassa sekä tuotannon ja toimitusten aikataulutuksessa. Varastohallinta on niin ikään olennainen toimitusketjujen osa, jonka merkitys korostuu aloilla, joilla kysyntä voi vaihdella suuresti. (Perkins et al. 2021)

Sople (2012) nostaa esille toimitusketjujen merkityksen korostumisen vuosien aikana. Kirjoittajan mukaan kilpailu toimijoiden välillä on siirtynyt enemmän kilpailuksi toimitusketjujen välille, minkä vuoksi toimitusketjut ovat tuoneet uuden osa-alueen liiketoimintastrategioille. Toimitusketjut kuitenkin vaativat erittäin hyvää integrointia liiketoiminnan prosesseihin kestäväen kilpailuedun saavuttamiseksi. Sople (2012) korostaa myös toimitusketjujen hallinnan mahdollistavan yhteyden luomiseen asiakkaaseen tuotannon kautta ja miten monet toimijat ovat ymmärtäneet asiakastyytyväisyyden olevan erittäin tärkeä osa mitä tahansa liiketoimintaa.

Perkins et al. (2021) kuvaavat toimitusketjujen hallintaa viiden kohdan mallin avulla, kun Sople (2012) puolestaan kuvaa toimitusketjujen hallintaa yksinkertaisemmin systemaattisena ja strategisena yhteistyönä kaikkien liiketoiminnan osa-alueiden välillä niin yrityksen sisällä kuin toimitusketjuihin osallistuvien toimijoiden kesken paremman suorituskyvyn saavuttamiseksi. Sople (2012) esittelee jaon toimitusketjujen välillä geneerisiin sekä yksilöllisiin toimitusketjuihin. Yksilöidyssä mallissa toimitusketjusta voidaan esimerkiksi poistaa osia, jotka esiintyvät perinteisessä mallissa, jolloin tuotteet voidaan esimerkiksi koota erillisillä tuotantolaitoksilla ja toimittaa suoraan asiakkaille. Tässä tapauksessa varsinainen tuotannon prosessi on poistettu perinteiseen toimitusketjumalliin ver-



rattuna ja puolestaan korvattu kokoonpano tehtailla. Näin pyritään vähentämään välikäsien määrää toimitusketjussa. Sople (2012) tuo esimerkkinä Dell:in käyttämän toimitusketjujen hallinnan mallin, joka on muotoiltu vastaamaan juuri Dell:in liiketoiminnan vaatimuksia. Mainittu Dell-malli on kuvattu alla Kuvassa 4.



Kuva 4: Dell-malli (mukailtu lähteestä Sople 2012)

Dell on suuri tietotekniikkavalmistaja, joka toimii puolijohteiden hyödyntäjänä liiketoiminnassaan (Dell Technologies 2021). Kuvan 4 avulla pyritään antamaan esimerkki, miten puolijohteiden kanssa toimivalla alalla operoivan yrityksen toimitusketju voisi muodostua. Kuvasta nähdään, miten toimitusketju koostuu useista toimittajista ja ennen varsinaista lopputuotteen kokoonpanoa suoritetaan pienempien kokonaisuuksien kokoonpanoja. Tämän jälkeen valmiit tuotteet toimitetaan useille eri asiakkaille. Kuvan tapauksessa puolijohdevalmistajat voidaan nähdä yhtenä toimittajista, jolloin yksittäisen tuotannonkomponentin puutteella voisi olla vaikutusta koko toimitusketjun toiminnalle.

## 4.2 Puolijohteiden toimitusketjut

Viime vuosien aikana jotkin alan toimijat ovat lisänneet erikoistumista johonkin tuotannon vaiheen osaan, siirtyen pois kaikkien tuotannon vaiheiden toteuttamisesta (Macher et al. 2002, Kapoor 2013; Mönch et al. 2018a). Esimerkiksi ulkoistamalla tuotanto ja keskittymällä vain tuotteiden suunnitteluun, on toimijoiden ollut mahdollista ulkoistaa riskit kalliista tuotantolaitteista sekä tuotantoprosesseista muille. Toimitusketjuissa voidaan nähdä monta erilaista toimintamallia. Jotkut toimijoista eivät osallistu varsinaiseen tuotantoon ollenkaan, toiset voivat ulkoistaa puolijohdemateriaalien valmistuksen, mutta tehdä lopullisen kokoonpanon itse ja suorittaa omaa sisäistä testaustaan ennen tätä. Juuri tämän kaltainen toimitusketjumallien muutos verrattuna aiempaan totuttuun malliin,

jossa yritys valmistaa tuotteensa itse ja vastaa lähes kaikista tuotteeseen liittyvistä toimituksista, yhä laajempaan kirjoon erilaisia variaatioita toimitusketjujen muodostamiselle on ollut nouseva trendi puolijohdeteollisuudessa. (Mönch et al. 2018a)

Myös tuotannon muoto vaikuttaa toimijoiden toimitusketjuihin. Riippuen tuotettavista hyödykkeistä, voidaan tuotteita valmistaa varastoon ”make to stock” (MTS) tai valmistaa tilauksiin ”make to order” (MTO). Yleensä suurissa määrissä tuotettavia puolijohdehyödykkeitä kuten mikroprosessoreita sekä DRAM:ia valmistetaan MTS-menetelmällä juuri suurien ja tasaisten määrien vuoksi. Hyödykkeitä, joita valmistetaan useille asiakkaille hyvin vaihtelevissa tuotantomäärissä, tuotetaan useimmin MTO tuotantomallin mukaisesti. (Li et al. 2011) Useimmat alan toimijat toteuttavat näiden kahden mallin välimuotoa, jossa joidenkin asiakkaiden kanssa tehdyt sopimukset tasaisesta toimitusmallista tuovat varmuutta yrityksen toiminnalle, kun taas toisten asiakkaiden tilaukset ja tuotteiden tarve on hyvin epätasaista tai vaikeasti ennustettavaa (Mönch et al. 2018a).

Jotkin alan toimijoista myös pyrkivät minimoimaan riskejä toimittaessa MTO-mallin mukaisesti valmistamalla lähes valmiita tuotteita, joista on puolestaan mahdollista valmistaa useampia eri lopputuotteita, jolloin lähes valmiita tuotteita on mahdollista valmistaa MTS-mallin mukaisesti ja muokata lopputuotteet halutun kaltaisiksi tilausten mukaan (Brown et al. 2000; Mönch et al. 2018a). Molempien mallien toiminnassa on kuitenkin vielä paljon kehitettävää erityisesti käyttämättömän kapasiteetin hyödyntämisessä puhuttaessa puolijohdeiden kysyntään vastaamisesta (Mönch et al. 2018b).

Korkeiden tuotantokustannusten vuoksi molempien toimintamallien mukaisesti toimivat valmistajat kohtaavat erilaisia tuotannon haasteita mallista riippuen. Korkeiden taloudellisten vaatimuksien vuoksi pyritään tuotannon toiminta pitämään suhteellisen korkealla tasolla. Tämä puolestaan tekee nopeiden, markkinoiden liikkeisiin perustuvien muutosten tekemisen hitaaksi sekä hidastaa tuotekannan vaihtuvuutta. Tämä on havaittavissa erityisesti puolijohdekiekkojen (wafer fabrication) valmistuksessa. Toimijoiden on pidettävä varmuusvarastoa, jotta markkinan liikkeisiin olisi mahdollista mukautua ja asiakkaille voidaan taata toimituksia tilanteesta riippumatta. (Mönch et al. 2018a).

MTO-toimintamallia hyödyntävät valmistajat, jotka kilpailevat vielä erityisemmin toimitusten tehokkuudessa, kohtaavat ongelman, jossa korkeiden tuotantokustannuksien vuoksi ylimääräisen varaston pitäminen on vielä haastavampaa. Tässä tilanteessa korostuu erityisesti tuotannonhallinnan rooli, ja monet MTO-mallia hyödyntävät toimijat pyrkivätkin jakamaan tuotantoa useamman tehtaan välillä, jakaen näin toimintaan vaadittua työmäärää sekä tehdaskapasiteettia. (Mönch et al. 2018a)

Tärkein puolijohteiden tuotannon määrittelevä tekijä on kysyntä niin kuluttajille suoraan myytävien puolijohdetuotteiden kuin puolijohteita hyödyntäville teollisuuden aloille. Näistä suoraan kuluttajille myytävät tuotteet ovat lähes merkityksetön osa puolijohteiden kokonaisyntiä verrattuna teollisuuden tuotantoon myytävää määrää. (Gartner 2014; Mönch et al. 2018a) Tästä erosta johtuen on tuotteen kannalta hyvin tärkeää, että tuotteet saadaan markkinoitua tehokkaasti teollisuuden toimijoille, jotka voivat hyödyntää puolijohdetuotetta omassa tuotannossaan. Puolijohdemarkkinalla menestymisessä on siis elintärkeää pystyä kehittämään erityisesti teollisen tuotannon kannalta onnistuneita tuotteita, joiden hyödyntämismahdollisuudet ovat korkeita. Tuotteet joiden toiminta ei miellytä tai tuo lisäarvoa teolliseen tuotantoon, voidaan pitää epäonnistuneena tuotteena markkina-alueen tärkeyden vuoksi. (Mönch et al. 2018a)

Puolijohteiden toimitusketjuille tyypillisiä piirteitä ovat myös epävarmat prosessit sekä kysynnän vaihtelu (Mönch et al. 2018a). Uzsoy et al. (2018) nostavat vielä näiden alan tyypillisten piirteiden vierelle lyhyet tuotteiden elinkaaret sekä Mönch et al. (2018a) mukaisesti epävarmat prosessit, joihin kuuluvat vaihtelevat tuotantoajat sekä vaihtelevan laatuiset tuotteet. Erityisesti kysynnän vaihtelusta johtuen puolijohteiden toimitusketjujen toimijat joutuvat sietämään merkittäviä riskejä sekä epävarmuutta. Esimerkiksi puolijohteiden valmistuksessa käytettäviä laitteita valmistaville toimijoille voi aiheutua suuria tappioita, mikäli puolijohdevalmistajat äkillisesti vähentävätkin tuotantoaan. (Mönch et al. 2018a) Toisaalta toimijat, jotka ulkoistavat suuren osan toimitusketjuista sekä tuotannosta, voivat joutua tilanteeseen, jossa äkilliseen kysynnän nousuun ei voida vastata riittävällä nopeudella. Näistä syistä usein toimitusketjujen toimijat pyrkivät sopimaan erilaisista toimista, joiden avulla mahdollisten ongelmien sattuessa ongelmilta voitaisiin välttyä mahdollisimman tehokkaasti ja taloudelliset vahingot jäisivät rajallisiksi. Esimerkkeinä Knoblich et al. (2011) antavat vähimmäistilausmäärät, vastuun kantaminen tilaustenperuuttamistilanteessa sekä varastojen jakaminen, mikäli yksittäinen toimittaja ei pysty vastaamaan tilauksen määrään.

## 5. HAASTEIDEN SYITÄ JA SEURAUKSIA

Tässä kappaleessa tarkastellaan puolijohteiden saatavuuden huonontumisen syitä sekä niiden vaikutusta erityisesti autoteollisuuden toimintaan ja toimitusketjuihin sekä vaikutuksia kuluttajaelektronikan toimialalla. Tarkoituksena on pyrkiä avaamaan, millaisia tekijöitä saatavuuden huonontumisen taustalla on ja miten nämä tekijät ovat vaikuttaneet eri toimijoihin. Kappaleen tarkoituksena on myös havainnollistaa lukijalle, miten laajoja ja pitkäkestoisia ongelmia hyvin globaalia alaa koskevilla toimitus- sekä valmistusongelmissa voi olla niin valmistajien, kuin kuluttajienkin näkökulmasta. Tutkitaan myös, miten nämä vaikutukset ovat saaneet toimijoita muuttamaan sekä toimintaansa että toimitusketjujaan.

### 5.1 Tilanteen syitä

Puolijohteiden huonon saatavuuden taustalla on monia tekijöitä, joista ensimmäisenä voidaan nostaa ilmiö, jossa yhtäkkinen kysynnän suuri kasvu yhdistettynä rajoitustoimiin COVID-19 pandemian vuoksi on johtanut tilanteeseen, jossa tuotantokapasiteetti ei riitä täyttämään kysyntää. Jo ennen varsinaisen viruspandemian alkua puolijohdemarkkina koki haasteita vuonna 2017, kun presidentti Donald Trump julisti kauppasaarron Kiinaa vastaan (Thorbecke 2021). Tästä johtuen monet amerikkalaiset toimijat, jotka käyttivät kiinalaisia puolijohdevalmistajia puolijohdemateriaalien hankkimiseen omiin tuotteisiinsa, joutuivat hankkimaan komponenttinsa muualta. Esimerkiksi kauppasaarron vaikutuksena suuri internetyhteyksiä valmistava toimija Huawei joutui muuttamaan puolijohteiden toimittajaansa pois amerikkalaisilta toimittajilta ja tästä syystä muut puolijohdevalmistajat saivat suuria tilauksia Huaweiin suunnalta (Baraniuk 2021). Ensimmäisten merkkien ilmaantuessa mahdollisesta saatavuusongelmasta ja viruspandemian alkessa, jotkin toimijat pyrkivät tilaamaan mahdollisimman paljon tuotteita etukäteen ja lisäämään omia varmuusvarastojaan, jolloin muut toimijat saattoivat jäädä kokonaan ilman tilauksiaan. COVID-19 pandemiaa ei voida siis kuitenkaan pitää koko saatavuuden huonontumisen pääsyyinä, vaan ennemminkin viimeisenä tekijänä, joka omalta osaltaan lisäsi ongelmien laajuutta. (Baraniuk 2021)

Baraniuk (2021) nostaa artikkelissaan esille saatavuuden ongelmiksi myös huonon tuurin sattuneiden onnettomuuksien muodossa, jotka ovat vaikeuttaneet puolijohteiden toimitusketjuja ja valmistusta. Texasissa sijaitseva puolijohdetehdas joutui sulkemaan hetkellisesti toimintansa lumimyrskyn vuoksi (Shih 2021) sekä Japanissa sijaitsevassa tehtaassa sattui tulipalo, joka aiheutti samankaltaisia viivästyksiä toimituksissa (Kelion

2021). Toiseksi suureksi ongelmaksi artikkelissa nostetaan logistiset ongelmat ja näistä erityisesti kohonneet toimituskustannukset suurien toimituskonttien lähetyksissä. Aihe ei ole Baraniukin (2021) mukaan aiemmin ollut suuri huolenaihe puolijohdealan toimijoille tuotteiden pienen koon vuoksi, jolloin suurien määrien toimittaminen yhdessä kontissa suhteelliseen halpaan hintaan ei ole ollut ongelma. Suurien toimituskonttien hinnat ovat nousseet suuren kysynnän vuoksi COVID-19 pandemian aikana yhdistettynä lentoliikenteen rajoituksiin sekä konttien kuljetusaluksien ajajien vähyyteen Euroopassa. Hinnanousun esimerkkinä mainitaan noin vuosi sitten yhden ison kontin lähetyksen hinnan olleen noin \$1 500 ja nykyisellään hinnan kohonneen jopa \$17 000.

Koray Köse, Gartnerin analyytikko, kertoo Baraniukin (2021) artikkelissa, miten puolijohdevalmistajat pyrkivät kasvattamaan tuotantoaan vastaamaan kysyntää. Artikkelin mukaan tämä tulee viemään aikaa, sillä puolijohdemateriaalien valmistus on hidasta ja erittäin kallista. Myös South China Morning Post (2021) mainitsee artikkelissaan valmistuksen hinnan sekä hitauden suureksi osasyiksi saatavuuden ongelmaan sekä sen merkittävästä vaikutuksesta toimitusketjuihin. Puolijohdeiden tuotantoa ei voi muuttaa nopealla aikataululla, sillä valmistusprosessi on suunniteltu tarkasti, jotta sen on mahdollista toimia jatkuvasti mahdollisimman hyvällä tuotantoteholla. Tämän suunnitelman muuttaminen itsessään voi viedä viikkoja tai jopa kuukausia ja uusien piikiekkujen (wafer) lisääminen tuotantoon voi viedä jopa vuosia ja olla taloudellisesti hyvin haastavaa. (South China Morning Post 2021)

South China Morning Post (2021) nostaa Baraniukin (2021) tapaan esille yhtenä osana ongelmaa saatavuusongelman alkuvaiheessa ilmenneen toimintatavan, jossa yritykset pyrkivät tilaamaan tuotteita omiin varastoihinsa taatakseen oman valmistuksensa jatkumisen ja tekivät tästä syystä lisätilauksia normaalien tilaustensa lisäksi. Tilanteen taustalla mainitaan aiemman tapaan olleen suurena tekijänä USA:n asettama kauppasaarto Kiinaa vastaan. TSMC:n puheenjohtaja Mark Liu kuitenkin kertoo South China Post (2021) mukaan toimittajien pystyvän jossain määrin erottamaan lisätilaukset normaaleista tilauksista ja miten toimittajat pyrkivät priorisoimaan normaaleita tilauksia, jotta saatavuusongelmat eri aloilla ja toimijoiden välillä eivät lisääntyisi entisestään.

## 5.2 Aiempia saatavuusongelmia

Puolijohdeiden toimiala on kohdannut myös aiemmin samankaltaisia saatavuuden ongelmia, joiden taustalla on ollut myös nopeaa kysynnän kasvua sekä luonnonkatastrofeja tai ihmisten aiheuttamia ongelmia. Ensimmäisenä esimerkkinä South China Morning Post (2021) mainitsee noin kymmenen vuotta taaksepäin aiheutuneen saatavuusongel-

man, joka vaikutti erityisesti autoteollisuuteen, kun maanjäristys Fukushimassa vahingoitti Renesas Electronicsin piikiekkaja valmistavaa tehdasta, Renesas Electronicsin ollessa autoteollisuuden kolmanneksi suurin sirutuottaja.

Toisena vastaavanlaisena esimerkkinä South China Morning Post (2021) nostaa artikkelissaan vuonna 1997 kesällä nousseen trendin Tamagotchi, digitaalinen avaimenperälemmikki, jonka yhtäkkisen ja erittäin suuren kysynnän vuoksi aiheutui samankaltainen puolijohteiden saatavuuden ongelma. Näiden laitteiden valmistuksen vaatiessa mikropiirejä, suuren kysynnän aiheuttamana Taiwanin puolijohdevalmistajien tuotannosta suuri osa kului juuri näiden tuotteiden valmistukseen ja tämän seuraukset olivat nähtävillä myös muilla aloilla.

### 5.3 Vaikutukset autoalalla

Autoteollisuuden tuotanto on laskenut aina koronaviruspandemian alusta alkaen ja tässä on havaittavissa isona osatekijänä autojen valmistuksessa käytettävien puolijohdemateriaalien saatavuuden huonontuminen. Moderneja autoja ei pystytä valmistamaan ilman puolijohteita, sillä niitä tarvitaan autojen viihdejärjestelmissä, ajamista avustavissa järjestelmissä sekä turvallisuusjärjestelmissä (Krolikowski & Naggert 2021). Keskierto henkilöauton valmistuksessa hyödynnetään keskimäarin noin 50–150 puolijohdekomponenttia, kun taas modernien autojen kohdalla puolijohdekomponenttien määrä voi nousta jopa 3000 kappaleeseen (Voas et al. 2021). Krolikowski ja Naggert (2021) mainitsevat tutkimuksessaan johtavien puolijohdemarkkinan toimijoiden, autoteollisuuden toimijoiden sekä analyytikko raporttien perusteella vuoden 2021 toisen neljänneksen olleen hyvin todennäköisesti puolijohdepulan huippu ja pulan voidaan odottaa helpottavan seuraavan kuuden ja yhdeksän kuukauden välillä. Myös yhden suurimman puolijohdevalmistajan Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) kerrotaan odottavan autoteollisuuden sirupulan yltävän aina vuoden 2022 alkuun saakka. Useat autoteollisuuden toimijat ilmoittavat toiminnan ongelmaksi materiaalien saatavuuden, johon sisältyy puolijohteiden saatavuus. Saatavuuden ongelmat ovat ilmaantuneet Krolikowskin ja Naggertin (2021) mukaan samaan aikaan uusien autojen hintojen nousun sekä uusien autojen varastojen pienentymisen kanssa, mitkä molemmat indikoivat toimitusten riittämättömyyttä.

Esimerkkeinä autoteollisuuden toimijoista, jotka ovat joko vähentäneet tuotantoaan tai sulkeneet tehtaita materiaalipulan vuoksi voidaan mainita Volkswagen sekä Toyota, jotka ovat sulkeneet tiettyjä tuotantolinjojansa Kiinassa (Xiling et al. 2021). Toyotan kohdalla ongelmien ilmenemiseen meni huomattavasti muita valmistajia kauemmin aikai-

sempien ongelmien pohjalta luodun strategian vuoksi. Toyota oli kasvattanut valmistuksessaan käytettävien mikroprosessorien varmuusvarastojaan, jolloin toimintaa pystyttiin jatkamaan muita valmistajia pidempään ennen ongelmien ilmenemistä. (Bigg 2021) Myös Nissan sekä Daimler ovat vähentäneet tuotantoaan Japanissa sekä Euroopassa. Fiat Chrysler on lopettanut tuotantonsa Meksikon sekä Kanadan tehtaissaan. (Xiling et al. 2021) Pandemian rajoitustoimet toivat esteitä autoteollisuuden tuotantoon lähinnä työntekijöiden karanteenien ja rajoitusten muodossa. Rajoitustoimet koskivat erityisesti lentoliikennettä sekä satamia. Näistä johtuen tuotanto on laskenut passiivisesti ja toimituksia ei olla saatu pysymään aikataulussa tai niiden toimitus on estynyt kokonaan. Edellä mainitut tekijät puolestaan ovat pakottaneet tuotantolaitoksia laskemaan tuotantoaan. (Xiling et al. 2021) Lisäksi autoteollisuuden vähentäessä tuotantoaan myös puolijohdevalmistajat kohdistivat toimituksiaan yhä enemmän kohti yleistyviä kotitoimistoja ja niiden tuomia vaatimuksia, mikä puolestaan vähensi ennestäään autoteollisuuden käytössä olevia puolijohdemateriaaleja (Voas et al. 2021). Tämä voi aiheuttaa myös tulevaisuudessa saatavuusongelmia autoteollisuudelle. Vaikka autoteollisuuden toimijat nostaisivatkin tilausmääriään, eivät puolijohdevalmistajat ole innokkaita muuttamaan toimitusketjujaan uudelleen. (Xiling et al. 2021) Pitkällä tähtäimellä autoteollisuus on siirtymässä yhä enemmän sähkökäyttöisiin ja yhä enemmän älyominaisuuksia sisältäviin autoihin, joiden valmistukseen tullaan tarvitsemaan yhä enemmän puolijohdeista valmistettavia mikropiirejä. Tästä syystä mahdollinen sirupula voi uusiutua autoalalla tulevaisuudessa, jolloin korostuu toimitusketjujen hallinnointi erityisesti Kiinassa, alueen markkinan suuren merkityksen vuoksi autoteollisuudelle. Tulevaisuuden kysyntä älyautoille on juuri tällä markkinalla maailman suurimpia. (Xiling et al. 2021)

Myös Thorbecke (2021) mainitsee artikkelissaan samoja ongelmia sekä piirteitä, joita Xiling et al. (2021) toivat esille. Thorbecke käsittelee, miten USA:n Kiinaa vastaan asetaneen kauppasaarron myötä puolijohdevalmistajien oli yhä vaikeampaa toimittaa tilauksiaan jo ennen varsinaisen saatavuusongelman alkua, sekä miten tämän jälkeen COVID-19 rajoitusten vuoksi autovalmistajat joutuivat perumaan tilauksiaan puolijohdevalmistajilta laskeneen tuotannon perusteella. Kun autovalmistajat olisivat tarvinneet taas puolijohdevalmisteita tuotantoonsa, eivät puolijohdevalmistajat kyenneet vastaamaan kysyntään keskittäessään toimituksiaan kuluttajaelektronikkaan lisääntyvien kotitoimistojen kysynnän vuoksi.

Autoteollisuudessa voidaan siis huomata tilanteessa olleen monta aiheuttajaa, jossa alkuperäinen ongelma puolijohdeiden saatavuudesta sekä koronaviruspandemian rajoitustoimet aiheuttivat autoteollisuuden tuotannon laskemisen, joka puolestaan vähensi en-

nestään puolijohdevalmistajien mielenkiintoa autoteollisuutta kohtaan epävarmojen tilausmäärien vuoksi. (Voas et al. 2021) Ongelmaksi voitaisiin nostaa mahdollisesti puolijohdevalmistajien just-in-time (JIT) toimintamalli, jossa tuotanto ei ole kyennyt mukautumaan vaihtelevaan kysyntään, eikä valmistajilla ole ollut riittävää varmuusvarastoa tämänkaltaisten tilanteiden varalle. Tätä voidaan selittää Mönch et al. (2018b) määrittelemän toimintamallin avulla, jossa siruvalmistajat pyrkivät maksimoimaan tuotantovaiheessa valmiiden tuotteiden lähetykset asiakkaille sekä toimituksien aikataulussa pysymisen sekä samaan aikaan minimoimaan varastoon päätyvien sirujen määrän. Tämä johtuu pitkälti Mönch et al. (2018b) mukaan siitä, että valmista yksittäistä piikiekkoa pyritään hyödyntämään vain yhden tilauksen täyttämiseen mahdollisen myöhemmän jäljitämisen vuoksi. Tästä ylijääviä siruja pidetään ylimääräisenä tai turhana varastona.

## 5.4 Vaikutukset kuluttajaelektronikassa

Kuluttajaelektronikassa puolijohdeiden saatavuudella on ollut erilaisia vaikutuksia autoalaan verrattuna. Kuluttajaelektronikassa vaikutukset ovat olleet merkittäviä esimerkiksi tietokoneiden, matkapuhelimien, pelikonsolien sekä tablettien valmistuksessa, että niiden toimitusketjuissa. Tuotteiden kysynnän räjähdysmäinen kasvu COVID-19 pandemian alettua aiheutti valmistajille ylimääräistä kysyntää, johon ei osattu valmistautua. Toisaalta myös kuluttajaelektronikassa oman osansa vaikeuksista toi kireä tilanne USA:n ja Kiinan välillä kauppasaarron myötä. Osa alan toimijoista on saatavuusongelman myötä alkanut suunnittelemaan omia sirujaan, esimerkiksi Apple uusien M1 mikropiiriensä kanssa, joita tullaan käyttämään uusissa Mac tietokoneissa sekä iPad tableteissa. Näiden vaikutus ei vielä ole selkeästi nähtävillä, mutta tällä voi olla tulevaisuudessa positiivinen vaikutus puolijohdevalmistajien tuotannon levitessä laajemmalle aikaisemmasta hyvin keskittyneestä valmistuksesta. (Kondepudi 2021) Apple on kuitenkin ilmoittanut huonon saatavuuden maksavan yritykselle huomattavana määrän rahaa sen hidastaessa nykyisiä toimituksia erityisesti Macien ja iPadien tuotannossa. Myös Nvidia, johtava näytönohjainten valmistaja on ilmoittanut kysynnän yhä ylittävän tuotannon kapasiteetin sekä varastoitujen tuotteiden määrän olevan hyvin vähäinen. Nvidia odottaa tuotteidensa saatavuuden ongelman jatkuvan suuren osan tätä vuotta, kertoo Colette Kress, Nvidian talouspäällikkö yrityksen vuosittaisessa sijoittajatilaisuudessa. (South China Morning Post 2021)

Kuluttajaelektronikassa on myös ollut huomattavissa joidenkin puolijohdetuotteiden suuret hinnannousut. Erityisesti tietokonekomponenteissa näytönohjainten hinnannousu on ollut merkittävää. Puolijohdeiden saatavuuden ongelmista johtuen tuotteiden valmistus on ollut liian vähäistä kysyntään verrattuna, mikä puolestaan on aiheuttanut merkittäviä



hinnannousuja niin virallisilla jälleenmyyjillä, kuin vapailla markkinoilla. Toisena tekijänä hintojen nousussa on ollut kryptovaluuttojen yleistyminen sekä niiden kysynnän kasvu, jolloin kuluttajien hankkiessa näytönohjaimia kryptovaluuttojen louhintaan, vaikutti tämä merkittävästi näytönohjainten kysyntään. Joidenkin tuotteiden hinnat ovat lähes kaksinkertaisia alkuperäisiin, tuotteiden julkaisussa ilmoitettuihin hintoihin nähden (Schiesser 2021).

## 6. ONGELMIEN RATKAISEMINEN JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Tässä luvussa pohditaan tutkimuksen tuoman tiedon pohjalta, millaisin keinoin toimitusketjujen ongelmia voitaisiin ratkaista sekä erityisesti, miten puolijohteiden saatavuuden ongelmaa pyritään ratkaisemaan. Luvussa tarkastellaan myös tilanteen tulevaisuuden näkymiä. Luvun viimeisessä osassa kootaan yhteenveto tutkimuksesta ja tuodaan esille omaa pohdintaa tilanteesta sekä sen merkittävyydestä ja tarkastellaan tutkimuksen toteutusta kokonaisuutena.

### 6.1 Toiminnan muuttaminen ongelmien ratkaisemiseksi

Puolijohteiden toimitusketjuja tarkastelevassa luvussa mainittiin, miten puolijohdetuottajien toimiminen just-in-time (JIT) toimintamallilla voidaan pitää suurena tekijänä puolijohdeiden saatavuuden ongelmaan. Luvussa JIT-mallia kuvattiin MTO-mallin (make to order) avulla, jossa tuotanto perustuu erityisesti tilausten täyttämiseen, eikä varaston rakentamiseen. Toimintamallin avulla on erittäin haastavaa pyrkiä mukautumaan suurin kysynnän muutoksiin. Tämä yhdistettynä puolijohteidentuotannon hitauteen sekä hankalaan muokattavuuteen korostaa nopeiden kysynnän muutosten tuomia toimitushaasteita. Mikäli useammat puolijohteiden valmistajat kykenisivät siirtymään pois tilausmallilla toimimisesta tasaiseen tuotantoon, voisi tuotevarastojen lisääminen olla mahdollista. Tällöin valmistajilla olisi käytössään puskuri yllättävälle kysynnälle, antaen lisää aikaa tuotannon lisäämiseen, jotta kysyntään vastaaminen olisi mahdollista. Uzsoy et al. (2018) tuo kuitenkin esille, miten tämän kaltaisen toiminnan saavuttaminen voi olla puolijohdetuotannossa hyvin haastavaa johtuen juuri pitkistä tuotantoajoista, epävarmasta tuotannon laadusta piikiekkujen valmistuksessa, epäjohdonmukaisesta yhteisvalmistuksesta toimijoiden välillä sekä toimitusketjujen globaalista luonteesta.

Myös aiemmin esitelty tilanne USA:n ja Kiinan välisestä kauppasaarrosta ja siitä osittain johtuneesta tilanteesta, jossa Huawei joutui siirtämään tilauksiaan toisaalle aiheuttaen valmistajille liian suuren määrän tilauksia tuotantokapasiteettiin nähden, on aiheuttanut varmuustoimia. South China Morning Post (2021) mainitsee tähän tilanteeseen liittyen, miten USA, Kiina sekä Eurooppa ovat aloittaneet ohjelmia, joiden avulla pyritään muokkaamaan toimitusketjuja kestävämmän paremmin ulkopuolisia vaikutteita sekä geopoliittisia tapahtumia. Toisena mahdollisuutena South China Morning Post (2021) tuo esille, miten Yhdysvaltojen presidentti Joe Biden pyrkii tuomaan puolijohteiden valmistajia takaisin

Yhdysvaltoihin aloittamansa, monien miljardien budjetilla toimivalla, infrastruktuuri kampanjalla.

## 6.2 Tilanteen tulevaisuuden näkymät

Puolijohteiden tuotantoketjujen globaalin luonteen ja laajan vaikutusalueen vuoksi maiden, joiden talouteen puolijohteilla on suuri vaikutus, päättäjät ovat luoneet ohjelmia pyrkimyksenä tukea parhaansa mukaan puolijohteiden tuotantoa. Tästä esimerkkeinä jo edellisen luvun lopussa mainittu Joe Bidenin aloittama infrastruktuuri ohjelma sekä toisena Etelä-Korean hallituksen ilmoitus tukea puolijohdetuotteiden valmistusta \$451 miljardilla (Kondepudi 2021). Maiden hallitusten lisäksi myös suuret puolijohdevalmistajat ovat ilmoittaneet sijoittavansa lisää pääomaa toimintansa kasvattamiseen lisätäkseen tuotannon kapasiteettia. TSMC, joka on vastuussa noin 80 % autoteollisuuden käyttöön tuotettavista mikropiireistä on ilmoittanut sijoittavansa \$2.87 miljardia tuotantokapasiteettinsa lisäämiseen tuotantolaitoksellaan Nanjingissa Kiinassa. Tämä laajennus on osa TSMC:n kolmen vuoden mittaista laajennusohjelmaa, jossa yritys sijoittaa yhteensä \$100 miljardia toimintansa laajentamiseen. Näiden toimien odotetaan nostavan tuotantokapasiteettia vuoden 2022 toiselta puoliskolta alkaen. Myös Yhdysvaltojen suurin puolijohdevalmistaja Intel on ilmoittanut aikovansa siirtää osan tuotantokapasiteetistaan autoteollisuuteen ja investoivansa \$3.5 miljardia New Mexicon piikiekkotehtaansa toiminnan kasvattamiseen. Intel pyrkii suurien investointien avulla kasvattamaan toimintaansa myös Arizonan, Oregonin, Irlannin sekä Israelin toimipisteillään. (South China Morning Post 2021)

Yleisesti tilanteen voidaan mahdollisesti odottaa jatkuvan vielä jopa vuoteen 2023 asti, huolimatta tuotannon kasvattamisesta. Tilanteen voidaan odottaa vielä jopa huonontuvan ennen ongelmien ratkaisemista. (Kondepudi 2021) Thomas (2021) kertoo lisäksi artikkelissaan haastatellun puolijohdevalmistaja Marvell Technology:n toimitusjohtajan Matt Murphyn tuoneen esille tulevaisuudessa korostuvan puolijohdemarkkinoilla toimijoiden keskittyminen omiin tuotantoketjuihinsa. Murphy kertoi, miten jo ennen varsinaista pandemiaa alalla oli havaittavissa tiukentumista. Tulevaisuudessa strategisesta näkökulmasta tulee korostumaan valmistajien toimitusketjujen hallinnointi kapasiteetin sekä toimittajasuhteiden hallinnoinnin osalta (Thomas 2021).

## 7. YHTEENVETO

Tutkimuksen yhteenvedossa esitellään tutkimuksen tuloksia sekä pyritään kirjallisuuskatsauksesta saadun tietämyksen avulla vastaamaan tutkimuksen alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Arvioidaan myös, miten hyvin tutkimuksen toteutus on kokonaisuutena onnistunut, ja miten luotettavina saatuja tuloksia voidaan pitää.

### 7.1 Johtopäätökset

Tutkimuksen johtopäätöksiä lähdetään tarkastelemaan vastaamalla alussa määriteltyihin alatutkimuskysymyksiin, joiden pohjalta tullaan vastaamaan päätutkimuskysymyseen. Ensimmäisenä alatutkimuskysymyksenä määriteltiin ”mitä ongelmia saatavuus on aiheuttanut alan toimijoille?”. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta saatavuuden ongelmien aiheuttaneen haasteita niin puolijohteiden valmistajille kuin yrityksille, jotka käyttävät puolijohteita tuotannossaan. Valmistajien puolella ongelmat ovat tutkimuksen mukaan olleet lähinnä tuotannonkapasiteetin riittämättömyyttä vastata nopeasti kasvaneeseen kysyntään. Toinen tutkimuksessa havaittu ongelma puolijohdevalmistajien kannalta on ollut ylimääräiset tilaukset, joita yritykset ovat tehneet pyrkiäkseen kasvattamaan omaa varastoaan puolijohteiden saatavuuden huonontuessa. Tämä on aiheuttanut lisätyötä valmistajille, näiden joutuessa tarkastelemaan lisätilauksia ja erottelemaan ne normaaleista tilauksista. Valmistajat ovat tutkimuksen perustella pyrkineet priorisoimaan normaaleja tilauksia, jotta saatavuuden ongelmat eivät ennestään kasvaisi eri asiakasyritysten sekä toimialojen välillä. (South China Morning Post 2021)

Yritykset, jotka käyttävät puolijohteita tuotannossaan ovat puolestaan kohdanneet ongelmia, jossa puolijohteiden huonon saatavuuden vuoksi tuotanto ei ole ollut mahdollista toiminnan kannalta tärkeiden osien puuttuessa. Tutkimuksessa esimerkiksi nostettiin autoteollisuus, joka on joutunut ensin COVID-19 rajoitusten vuoksi vähentämään toimintaa tai sulkemaan tehtaitaan, ja tämän jälkeen tuotantoa on hidastanut autojen valmistuksessa vaadittavien mikropiirien huono saatavuus (Krolikowski & Naggert 2021; Xiling et al. 2021). Tässä tapauksessa voidaan kuitenkin todeta, miten ongelmat eivät alkujaan johtuneet puolijohteiden huonosta saatavuudesta, vaan rajoitustoimien vaikeuttaessa tuotantoa, puolijohdevalmistajat siirsivät toimituksiaan pois alalta. Puolijohteiden saatavuus nousi ongelmaksi vasta kun toimituksia olisi ollut mahdollista jatkaa. Koska tutkimuksessa on keskitytty suurimmaksi osaksi autoteollisuuteen sekä kuluttajaelektroniikkaan, eivät havaitut ongelmat luultavimmin ole kattava lista kaikista alalla ilmenneistä ongelmista.

Toisena alatutkimuskysymyksenä määriteltiin ”miten toimintaa on muutettu ongelmien minimoimiseksi?”. Tutkimuksessa havaittiin joidenkin alan toimijoiden pyrkivän kehittämään omia puolijohdetuotteitaan tulevaisuuden ongelmien vähentämiseksi. Esimerkiksi Apple on pyrkinyt vähentämään saatavuuden ongelmia juuri tällä menetelmällä aloittamalla valmistamaan omia M1 mikrosirujaan, joita yritys tulee käyttämään uusissa laitteissaan (Kondepudi 2021). Tapauksissa, jossa puolijohteet ovat tuotteiden valmistuksen kannalta välttämättömiä, eikä korvaavia tuotteita ole ollut mahdollista saada, on tuotantoa yksinkertaisesti jouduttu vähentämään huonon saatavuuden vuoksi. Tutkimuksessa tuotiin esille kuluttajaelektronikassa havaittu tilanne, jossa joidenkin puolijohdetuotteiden hinnat ovat nousseet huomattavasti (Schiesser 2021). Tämä voidaan nähdä tilanteen ongelmien minimoimisena valmistajien pyrkiessä saamaan mahdollisimman korkean katteen valmistetuille tuotteille kompensoidakseen matalampaa tuotantokapasiteettia. Valmistajien kannalta toiminnan muuttaminen pois just-in-time valmistuksesta varmuusvarastojen malliin toimituksien takaamiseksi myös vaikeasti ennakoitavissa tilanteissa olisi suositeltavaa. (Mönch et al. 2018a) Valmistajat ovat pyrkineet lisäämään investointeja ja kasvattamaan tuotantokapasiteettiaan kysyntään vastatakseen. Tuotantokapasiteetin kasvattaminen puolijohdealalla on kuitenkin erittäin hidasta, jolloin investointien vaikutukset eivät ole nähtävissä vielä lähiaikoina. (South China Morning Post 2021)

Kolmanteen alatutkimuskysymykseen ”mitkä asiat ovat johtaneet saatavuuden huonontumiseen?” voidaan toteutetun tutkimuksen mukaan vastata muun muassa kysynnän äkillisellä nousulla, johon valmistajat eivät olleet varautuneet tarpeeksi. Äkilliseen kysynnän nousuun voidaan liittää ihmisten siirtyminen kotitoimistoihin COVID-19 pandemian myötä ja tästä aiheutuneen suurta kysyntää tietotekniikkamarkkinalla. (Kondepudi 2021) Toisena tilanteen syynä saatavuuden huonontumisen merkkien ilmaantuessa, yritykset pyrkivät lisäämään puolijohdetilauksiaan kasvattaakseen omia varmuusvarastojaan. Tilanne aiheutti valmistajille suuren määrän ylimääräisiä tilauksia. (Baraniuk 2021) Vielä yhtenä tilanteen osatekijänä voidaan mainita Yhdysvaltojen presidentti Donald Trumpin julistama kauppasaarto Kiinaa vastaan, joka omalta osaltaan vaikutti puolijohdealan toimijoihin, näiden joutuessa vaihtamaan toimittajiaan (Thorbecke 2021; Baraniuk 2021).

Tutkimuksen päätutkimuskysymykseen ”mitä vaikutuksia puolijohteiden saatavuudella on toimitusketjuihin?” voidaan vastata alatutkimuskysymysten kautta. Saatavuuden huonontuminen hidasti tai joissain tapauksissa esti puolijohdetuotteiden toimituksia, mikä puolestaan aiheutti tuotannon ongelmia yrityksille. Puolijohdeiden valmistuksen ollessa kallista sekä hidasta, voidaan toimitusketjujen ongelmien nähdä kestävän suhteellisen pitkään, ennen kuin suunniteltua tuotannonlisäkapasiteettia kyetään hyödyntämään.

Puolijohteiden laajojen sovellusten vuoksi varsinaisten puolijohdevalmistajien kohdassa valmistusongelmia kaikki toimitusketjuissa ylempänä olevat toimijat saavat osansa näistä ongelmista. Esimerkkinä tutkimuksessa esiteltiin autoteollisuus, jonka lopputuotteet hyödyntävät toiminnassaan puolijohdemateriaaleja. Koska näitä valmistuksessa vaadittavia mikrosiruja toimittavilla yrityksillä oli ongelmia, heijastuivat ne myös autojen tuotantoon hidastaen toimituksia. (Krolikowski & Naggert 2021)

Kuten tutkimuksen alussa todettiin, johtuu saatavuuden huonontuminen monen tekijän yhteisvaikutuksesta sekä ajoituksesta. Tilanteen vaikea ennustettavuus yhdistettynä alan tuotannon hitauteen sekä vähäisiin varmuusvarastoihin, voidaan nähdä merkittävänä tekijänä tilanteen pitkän keston kannalta. Tähän lisätynä COVID-19 pandemian aiheuttamat rajoitustoimet, jotka omilta osiltaan hankaloittivat tuotteiden jakelua sekä valmistusta, loivat globaalin ongelman.

## 7.2 Tutkimuksen arviointi

Tutkimuksessa on esitelty puolijohteiden saatavuuden aiheuttama toimitusketjujen ongelma, jota on pyritty kirjallisuuskatsauksen avulla ymmärtämään sekä avaamaan. Tutkimus itsessään onnistui hyvin, lukuun ottamatta lähdemateriaalin jäämistä toteuttajan mielestä välillä hieman kapeaksi. Tämä voi johtua valitun aiheen ajankohtaisuudesta ja miten siitä ei vielä löydy suuria määriä kattavaa tieteellistä tutkimusmateriaalia, jota työssä olisi voitu hyödyntää laajemman näkökulman saamiseksi. Tieteellistä lähdemateriaalia löytyi enemmän pelkkien toimitusketjujen muutoksista sekä erilaisista toimitusketjujen näkökulmista, mutta tämän ei katsottu täysin kohtaavan tutkimuksen aiheen kanssa, jonka keskiössä olivat erityisesti puolijohteiden toimitusketjut sekä saatavuuden ongelmat. Tästä syystä ei-tieteellisiä lähteitä on käytetty tutkimuksen toteutuksessa laajasti, niiden tuodessa enemmän tietoa ajankohtaisen aiheen eri näkökulmista sekä aiheuttajista.

Tutkimuksen keskittyessä erityisesti autoteollisuuteen sekä kuluttajaelektroniikkaan puolijohteiden toimitusketjujen tarkastelussa, on hyvin mahdollista, että valittujen näkökulmien ulkopuolelle jää muita ongelman kannalta merkittäviä tekijöitä, joiden vaikutus on ollut jollain muulla alalla suurempi. Valittujen näkökulmien ongelmien uskotaan kuitenkin olevan hyvin tyypillisiä, joita puolijohteiden huono saatavuus voi tämänkaltaisilla teollisuuden aloilla aiheuttaa.

### 7.3 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimusehdotuksina tutkimuksen toteuttamisen jälkeen nousivat ensimmäisenä tutkimuksessa esiteltyjen saatavuuden ongelmien ratkaisujen kohdalla uusien investointien merkitys tulevaisuudessa saatavuuden ongelman ratkaisemisessa. Miten suuri vaikutus tehdyillä investoinneilla sekä tuotantokapasiteetin laajentamisella lopulta on? Edesauttavatko investoinnit ongelman purkamiseen ja miten kysynnän palatessa ennalleen tapahtuu kaavaillulle lisätoimintakapasiteetille. Jääkö kysyntä aiempaa korkeammalle tasolle vai johtaako lisääntynyt tuotanto kasvaviin varastoihin puolijohdevalmistajilla.

Toisena ehdotuksena nousi tilanteen tarkasteleminen samanlaisin menetelmin tutkimuksessa mainitun noin 9 kuukauden kuluttua, jolloin suurien puolijohdevalmistajien edustajat olettivat tilanteen olevan suurimmaksi osaksi ohi. Mikä on tilanne silloin, ja onko saatavuuden ongelma todellisuudessa ohitettu. Samaan aiheeseen liittyen kuluttajaelektronikan kannalta mielenkiintoista on, miten tutkimuksessakin esitelty puolijohde-pohjaisten tuotteiden hintojennousu on kehittynyt saman 9 kuukauden ajanjakson aikana. Onko hintataso palautunut ennalleen vai onko nousu ollut pysyvää? Viimeinen jatkotutkimusehdotus on selkeästi vähemmän tieteellinen ja enemmän kirjoittajan omaa mielenkiinnon kohdetta.

Kolmas jatkotutkimusehdotus koskee toimitusketjujen muokkaamista suuntaan, jossa ne olisivat vastustuskykyisempiä ulkoisia tekijöitä sekä geopoliittisia uhkia vastaan. Miten tämä käytännössä voitaisiin toteuttaa sekä miten suuria hyödyt olisivat toiminnan muokkaamisen kustannuksiin nähden. Tutkimuksessa tämän kaltainen toiminta mainittiin olevan tulevaisuuden tavoitteita (South China Morning Post 2021), mutta sen käytännön toteuttamista olisi kirjoittajan mielestä mielenkiintoista tarkastella.

# LÄHTEET

- Baraniuk, C. (2021). Why is there a chip shortage?. BBC NEWS. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.bbc.com/news/business-58230388>](https://www.bbc.com/news/business-58230388) Luettu 18.11.2021.
- Bigg, M. (2021). Toyota's Biggest Problem In Years Is Over. CarBuzz. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://carbuzz.com/news/toyotas-biggest-problem-in-years-is-over>](https://carbuzz.com/news/toyotas-biggest-problem-in-years-is-over) Luettu 14.12.2021.
- Brown, A., Lee, H., & Petrakian, R. (2000). Xilinx Improves its Semiconductor Supply Chain Using Product and Process Postponement. *Interfaces* 30 (4), ss. 65–80.
- Dell Technologies, (2021). Who we are. Saatavilla [www-osoitteessa: < https://corporate.delltechnologies.com/fi-fi/about-us/who-we-are.htm>](https://corporate.delltechnologies.com/fi-fi/about-us/who-we-are.htm) Luettu 13.12.2021.
- Fink, A., (2014). *Conducting research literature reviews: From the Internet to paper*. Thousand Oaks Calif.: Sage.
- Flaherty, N. (2021). Microprocessor market to top \$100bn in 2021. eeNews Europe. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.eenewseurope.com/news/microprocessor-market-top-100bn-2021>](https://www.eenewseurope.com/news/microprocessor-market-top-100bn-2021) Luettu 30.11.2021.
- Gartner. (2014). Market Insight: Semiconductor Demand From OEMs, ODMs and EMS Companies, Worldwide, 2013 (Preliminary). Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.gartner.com/doc/2648915/market-insight-semiconductor-demand-oems>](https://www.gartner.com/doc/2648915/market-insight-semiconductor-demand-oems) Luettu 05.11.2021.
- Hitachi High- Tech Global (2021). What are semiconductors?. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.hitachi-hightech.com/global/products/device/semiconductor/about.html>](https://www.hitachi-hightech.com/global/products/device/semiconductor/about.html) Luettu 15.11.2021.
- Intel, (2021). CPU vs. GPU: Making the Most of Both. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/processors/cpu-vs-gpu.html>](https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/processors/cpu-vs-gpu.html) Luettu 15.11.2021.
- Kapoor, R. (2013). Persistence of Integration in the Face of Specialization: How Firms Navigated the Winds of Disintegration and Shaped the Architecture of the Semiconductor Industry. *Organization Science* 24 (4), ss. 1195–1213.
- Kelion, L. (2021). Factory blaze adds to computer chip supply crisis. BBC NEWS. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.bbc.com/news/technology-56486242>](https://www.bbc.com/news/technology-56486242) Luettu 18.11.2021.
- Kenton, W. (2021). Supply Chain. Investopedia. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.investopedia.com/terms/s/supplychain.asp>](https://www.investopedia.com/terms/s/supplychain.asp) Luettu 15.11.2021.
- Knoblich, K., Ehm, H., Heavey, C. & Williams, P. (2011). Modeling Supply Contracts in Semiconductor Supply Chains. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, Phoenix, AZ, ss. 2113–2123.



- Kondepudi, R. (2021). In-Depth, The Semiconductor Shortage: What caused the supply crunch and how long will it last?. Moneycontrol. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.moneycontrol.com/news/business/in-depth-the-semiconductor-shortage-what-caused-the-supply-crunch-and-how-long-will-it-last-7501241.html>](https://www.moneycontrol.com/news/business/in-depth-the-semiconductor-shortage-what-caused-the-supply-crunch-and-how-long-will-it-last-7501241.html) Luettu 13.11.2021.
- Krolikowski, P. M., Naggert, K. N. (2021). Semiconductor Shortages and Vehicle Production and Prices. Economic Commentary. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.clevelandfed.org/newsroom-and-events/publications/economic-commentary/2021-economic-commentaries/ec-202117-semiconductor-shortages-vehicle-production-prices.aspx?utm\\_source=anysubj.com>](https://www.clevelandfed.org/newsroom-and-events/publications/economic-commentary/2021-economic-commentaries/ec-202117-semiconductor-shortages-vehicle-production-prices.aspx?utm_source=anysubj.com) Luettu 11.11.2021.
- Li, Y. T., Huang, M. H. & Chen, D. Z. (2011). Semiconductor Industry Value Chain: Characters' Technology Evolution. *Industrial Management & Data Systems* 111 (3), ss. 370–390.
- Macher, J., Mowery, D. & Simcoe, T. S. (2002). E-business and Disintegration of the Semiconductor Industry Value Chain. *Industry and Innovation* 9 (3), ss. 155–181.
- Macher, J., and D. Mowery. (2003). "Managing" Learning by Doing: An Empirical Study in Semiconductor Manufacturing. *Journal of Product Innovation Management* 20, ss. 391–410.
- Morris, P. R. (1990). *A History of the World Semiconductor Industry*. London: Peter Peregrinus.
- Mönch, L., Uzsoy, R. & Fowler, J.W. (2018a). A survey of semiconductor supply chain models part I: semiconductor supply chains, strategic network design, and supply chain simulation. *International Journal of Production Research*.
- Mönch, L., Uzsoy, R. & Fowler, J.W. (2018b). A survey of semiconductor supply chain models part III: master planning, production planning and demand fulfilment. *International Journal of Production Research*.
- Perkins, B., Wailgum, T. & White, S. K. (2021). What is supply chain management? Mastering logistics end to end. CIO. Saatavilla [www-osoiteessa: <https://www.cio.com/article/2439493/what-is-supply-chain-management-mastering-logistics-end-to-end.html>](https://www.cio.com/article/2439493/what-is-supply-chain-management-mastering-logistics-end-to-end.html) Luettu 13.12.2021.
- Schiesser, T. (2021). GPU Availability and Pricing Update: July 2021. Techspot. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.techspot.com/article/2294-gpu-pricing-2021-update/>](https://www.techspot.com/article/2294-gpu-pricing-2021-update/) Luettu 13.11.2021.
- Shih, W. (2021). Severe Winter Weather In Texas Will Impact Many Supply Chains Beyond Chips. Forbes. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.forbes.com/sites/willyshih/2021/02/19/severe-winter-weather-in-texas-will-impact-many-supply-chains-beyond-chips/?sh=3dbe5317358a>](https://www.forbes.com/sites/willyshih/2021/02/19/severe-winter-weather-in-texas-will-impact-many-supply-chains-beyond-chips/?sh=3dbe5317358a) Luettu 18.11.2021.
- Sople, V. V. (2012). *Supply chain management*. New Delhi: Dorling Kindersley India.
- South China Morning Post (2021). Why there is a global semiconductor shortage, how it started, who it is hurting, and how long it could last. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.scmp.com/tech/tech-war/article/3133061/why-there-global-semiconductor-shortage-how-it-started-who-it-hurting>](https://www.scmp.com/tech/tech-war/article/3133061/why-there-global-semiconductor-shortage-how-it-started-who-it-hurting) Luettu 20.11.2021.

Terwiesch, C., and R. E. Bohn. (2001). "Learning and Process Improvement during Production Ramp-up." *International Journal of Production Economics* 70, ss. 1–19.

Thomas, I. (2021). Semiconductor chip shortage could extend through 2022, Marvell CEO says. CNBC. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://www.cnbc.com/2021/10/03/semiconductor-chip-shortage-could-extend-through-2022-marvell-ceo.html>](https://www.cnbc.com/2021/10/03/semiconductor-chip-shortage-could-extend-through-2022-marvell-ceo.html) Luettu 24.11.2021.

Thorbecke, W. (2021). The Semiconductor Industry in the Age of Trade Wars, Covid-19, and Strategic Rivalries. Rieti. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://ideas.repec.org/p/eti/dpaper/21064.html>](https://ideas.repec.org/p/eti/dpaper/21064.html) Luettu 15.11.2021.

Uzsoy, R., Fowler, J. W. & Mönch, L. (2018). A survey of semiconductor supply chain models Part II: demand planning, inventory management and capacity planning. *International Journal of Production Research*.

Uzsoy, R., Lee, C. & Martin-Vega, L. (1992). A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry Part I: System Characteristics, Performance Evaluation and Production Planning. *IIE Transactions on Scheduling and Logistics* 24, ss. 47–60.

Voas, J., Kshetri, N. & DeFranco, J. F. (2021). Scarcity and Global Insecurity: The Semiconductor Shortage. *LOS ALAMITOS: IEEE. IT professional*, Vol.23 (5), ss.78–82.

Wang, C., Fordyce, K., Milne, R. & Orzell, R. (2008). The IBM Advanced Planning System for Managing Next Generation Demand-Supply Networks. *International Journal of Integrated Supply Management* 4 (1), ss. 125–140.

Xiling, W., Caihua, Z. & Wei, D. (2021). An Analysis on the Crisis of "Chips shortage" in Automobile Industry—Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction. *Journal of Physics: Conference Series*. Saatavilla [www-osoitteessa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1971/1/012100/meta>](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1971/1/012100/meta) Luettu 15.11.2021.