



**SIRUPULA 2020-202X**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

Jesse Andersson

Tarkastaja: DI Mikko Nykyri

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Jesse Andersson

## SIRUPULA 2020-202X

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

24 sivua, 3 kuvaa, 0 taulukkoa ja 0 liitettä

Tarkastaja: DI Mikko Nykyri

Avainsanat: sirupula, puolijohdepula, siru, puolijohde, pula

Puolijohteiden tärkeys ja käyttö on lisääntynyt runsaasti lähivuosien aikana. Älylaitteiden, suoratoistopalveluiden ja pilvipalveluiden noustessa myös laitteissa tarvittavien sirujen määrä on räjähtänyt. Vuonna 2020 alkoi merkittävä pula siruista, eli puolijohdekomponenteista, mitä ei ollut ennen nähty.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kartoittaa tämänhetkinen elinkaari sirupulalle. Tarkoituksena on selvittää, miten pula sai alkunsa ja on vaikuttanut tuotantoon, saatavuuteen ja hintaan, sekä arvioida tilanteen tulevaisuutta. Tavoitteena on myös muodostaa yleiskuva sirupulasta kokonaisuudessaan ja arvioida mihin teollisuudenaloihin pulalla on ollut suurin vaikutus. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, joka pohjautuu tieteellisiin artikkeleihin aiheesta.

Yleisesti voidaan sanoa, että sirupula sai alkunsa odottamattomasta kysynnän noususta, johon ei osattu varautua. Tähän johtivat yhdessä digitalisaation nousu, koronapandemia, yritysten käyttäytymismallit ja rajut sääilmiöt ympäri maailmaa. Pula on vaikuttanut yli 169 teollisuudenalaan, joista varsinkin auto- ja tietokonekomponenttiteollisuudet ovat kärsineet. Yritykset ovat joutuneet kilpailemaan keskenään siruista, ja tuotanto on monilla sektoreilla keskeytynyt tai viivästynyt pulan takia. Puolijohteita sisältäviä tuotteita ei ole laajasti saatavilla tuotanto-ongelmien takia ja hinnat ovat nousseet reilusti huonon saatavuuden seurauksena. Pulan kestosta ei ole yksimielistä arviota alan asiantuntijoiden keskuudessa, mutta voidaan sanoa, että tulee menemään vähintään muutama vuosi toimitusketjun jälleenrakentamisen kannalta. Tilannetta yritetään elvyttää valtakunnallisilla sijoituksilla puolijohdeteollisuuden, monipuolistamalla tuotantoa ja muuttamalla yritysten ostotapoja.

## ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Jesse Andersson

## **CHIP SHORTAGE 2020-202X**

Bachelor's thesis

2022

24 pages, 3 figures, 0 tables and 0 appendices

Examiner: M.Sc. Mikko Nykyri

Keywords: chip shortage, semiconductor shortage, chip, semiconductor, shortage

The importance and use of semiconductors has increased radically over recent years. As smart devices, streaming services and cloud computing have risen, the amount of chips needed has exploded. In 2020 began a massive shortage of chips, also known as semiconductor components, which had not been seen before.

The objective of this bachelor's thesis is to go through the current life cycle of the global chip shortage. The purpose is to ascertain how the shortage came to be and has affected production, availability and price, as well as assess the future of the situation. The secondary objective is to form an overview on chip shortage in its entirety and appraise which industries have been the most affected by the shortage. This thesis is carried out as a literature review, which is based on scientific articles on the subject.

In general, the chip shortage was triggered by an unexpected increase in demand that could not be anticipated. This was due together to the rise of digitalisation, the corona pandemic, corporate behaviour patterns and severe weather phenomena around the world. The shortage has affected more than 169 industries, particularly the automotive and computer components industries. Companies have had to compete for chips and production has been disrupted or delayed in many sectors due to shortages. Products containing semiconductors are not widely available due to production problems and prices have risen sharply as a result of poor availability. There is no consensus on the duration of the shortage among experts in the field, but it can be said that it will take at least a few years to rebuild the supply chain. Attempts are being made to revitalize the situation through nationwide investment in the semiconductor industry, diversifying production and changing the way companies buy.

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
2	Sirupulan synty.....	7
2.1	Kysynnän nousu.....	7
2.2	COVID-19-pandemia.....	8
2.2.1	Valmistajat.....	8
2.2.2	Kuluttajat.....	9
2.2.3	Rahtipalvelut.....	9
2.3	”Vessapaperi-ilmiö”.....	9
2.4	Epäsuorat vaikutukset.....	10
3	Pulan vaikutukset ja nykytilanne.....	11
3.1	Tuotanto.....	11
3.1.1	Autoteollisuus.....	12
3.2	Saatavuus.....	12
3.3	Hinta.....	13
4	Tilanteen tulevaisuus.....	17
4.1	Tuotannon kehittäminen.....	17
4.2	Tuotannon monipuolistaminen.....	18
5	Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	20
	Lähteet.....	22

# 1 Johdanto

Vuonna 2020 alkanut pula puolijohteista, eli sirupula, on vaikuttanut maailmanlaajuisesti tuottajien ja kuluttajien elämään. Pula on varsinkin painostanut auto- ja tietokonekomponenttiteollisuuksia näiden suosion ja tuotannon monimutkaisuuden vuoksi. Kuluttajat ovat joutuneet odottamaan pitkiä aikoja saadakseen elektroniikkaa sisältäviä tuotteita ja maksamaan näistä tavallista korkeampia hintoja huonon saatavuuden takia. Vastaavanlaista pitkäaikaista pulaa komponenteista ei ole ennen nähty, eikä odotettu näin ison ongelman ilmes-tyvän niin nopeasti.

Sirupula korostaa puolijohdekomponenttien tärkeyden yhteiskunnassamme tällä hetkellä ja tulevaisuudessa. Mikropiirejä ja muita puolijohteita käytetään yhä enemmän elektronisissa laitteissa ja kuluttajaelektronikassa. Teknologian kehittyessä ihmiset odottavat elektroniik- kansa olevan yhä tehokkaampaa ja nopeampaa, mutta samalla myös esteettistä ja sileää. Tämä sekä myös älylaitteiden kehitys ja Esineiden internet -ajattelumalli ovat tehneet mik- ropiireistä välttämättömiä nykyisessä teknologiassa ja elektroniikassa. Mikrosiruja käyte- tään pienien laitteiden, kuten älypuhelimien, ohjaamisesta tuotannon tehtäviin ja melkein kaikkeen tältä väliltä. Siruja tarvitaan jopa valmistamaan uusia siruja.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kartoittaa koko tämänhetkinen sirupulan elinkaari ja arvioida miten tilanne tulee muuttumaan tulevaisuudessa. Työ toteutetaan kirjallisuuskat- sauksena, joka pohjautuu tieteellisiin artikkeleihin aiheesta. Sirupulasta ei ole paljon aiempia tutkimuksia sen uutuuden takia ja tieto aiheesta on hyvin hajanaista. Työn toisena tavoitteena on siten esittää yleiskuva sirupulasta kokonaisuudessaan yhdessä tutkimuksessa lukijaa var- ten.

Työtä tukevat tutkimuskysymykset ovat:

- Mistä sirupula on saanut alkunsa?
- Miten pula on vaikuttanut tuotantoon, hintaan ja saatavuuteen? Millä teollisuudenaloilla pulalla on ollut suurin vaikutus?
- Miltä tulevaisuus näyttää puolijohdepulan kannalta ja miten tilannetta yritetään elvyttää?

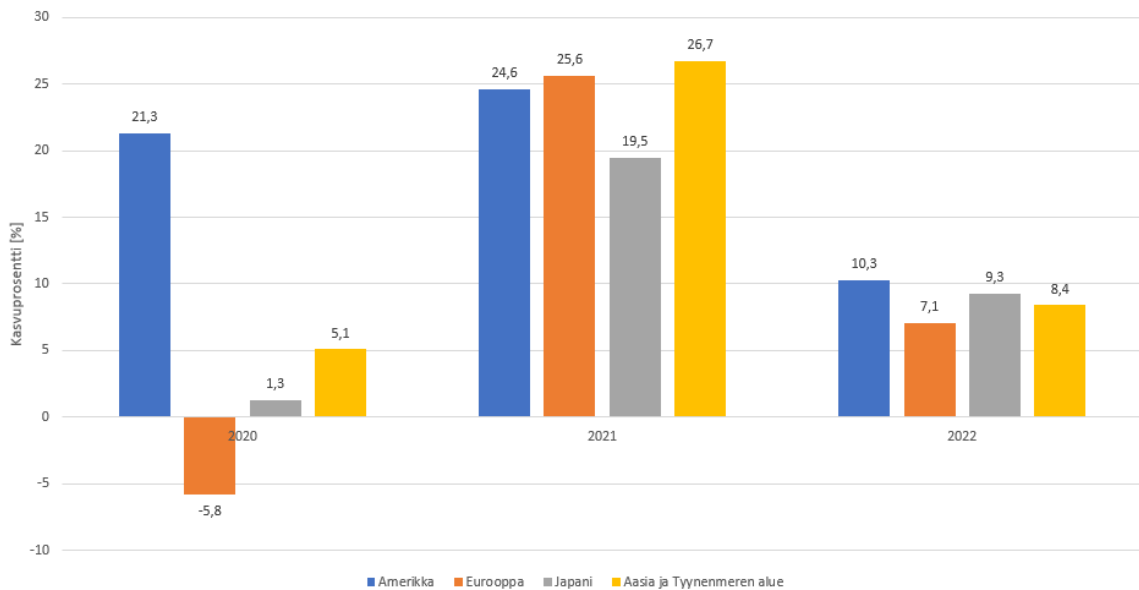
## 2 Sirupulan synty

Yleisesti voidaan sanoa, että ei ole yhtä ainoaa syytä sirupulan syntyyn. Monet asiat ja uskomukset ovat yhdessä saaneet aikaan nykyisen puutteen näytönohjaimista, pelikonsoleista, autoista ja muista elektroniikkaa sisältävistä tuotteista, joita aiemmin pystyttiin tarjoamaan kohtaamaan tai jopa ylittämään kysyntä.

### 2.1 Kysynnän nousu

Suurin ongelma, joka johti maailmanlaajuiseen pulaan puolijohteista, on kysynnän rajua nousu vuosien aikana. Kysyntä on niin suuri, että nykyinen tuotantokyky ei pysy perässä. Tähän nousuun on vaikuttanut nopea kehitys digitalisaatiossa ja teknologiassa lähivuosien aikana. IoT-järjestelmien yleistymisen myötä kodinkoneita, autoja ja jopa kaupunkeja yritetään yhdistää ja automatisoida. Pilvipalvelujen ja suoratoiston noustessa palvelinkeskuksien tarve on noussut räjähdysmäisesti ja suorituskykyä tarvitaan yhä enemmän. Kuluttajat myös ostavat yhä enemmän viihde-elektroniikkaa, kuten tietokoneita, pelikonsoleita ja televisioita. (Patrizio 2021.)

World Semiconductor Trade Statistics:n (2021) marraskuussa julkaiseman markkinaennusteen mukaan maailmanlaajuisen puolijohdemarkkinoiden odotettiin kasvavan 25,6 prosenttia vuoden 2021 aikana. Tämä vastaa noin 553 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Tämä on suurin hyppy vuoden 2010 jälkeen, jolloin nähtiin 31,8 prosentin nousu. Markkinahinnan odotetaan nousevan ennestään vielä 8,8 prosentilla vuoden 2022 aikana, mikä vastaisi noin 601 miljardia Yhdysvaltain dollarin markkina-arvoa. Nähdään, että mikrosirujen myynti on siis ollut vahvassa noususuunnassa maailmanlaajuisesti vuosien aikana, eikä tämän odoteta muuttuvan lähitulevaisuudessa. Suurimmat myötävaikuttajat kasvuun ovat muisti 34,6 prosentilla, analogiatekniikka 30,9 prosentilla ja logiikka 27,3 prosentilla vuoden 2021 aikana. Kaikkien maantieteellisten alueiden kasvuprosenttiltaan odotettiin olevan kaksinumeroisia kyseisen vuoden aikana.



Kuva 2.1 Puolijohteiden markkinoiden alueellinen kasvu kolmelta vuodelta (WSTS 2021)

Kuvasta 2.1 nähdään, että vuonna 2021 kaikilla maantieteellisillä alueilla nähtiin todella suuri kasvu puolijohteiden kannalta. Varsinkin Euroopassa tapahtui valtava kasvu vuodesta 2020, jolloin nähtiin lasku, vuoteen 2021. Vuoden 2020 lasku on arvioitu johtuneen koronapandemian alussa tapahtuneista häiriötekijöistä, erityisesti autoteollisuudessa. Jokaisen maantieteellisen alueen odotetaan kasvavan entuudestaan vuonna 2022, mutta vastaavanlaista kasvua kuin vuonna 2021 ei odoteta näkevän tulevina lähivuosina.

## 2.2 COVID-19-pandemia

Koronapandemia on vaikuttanut lähes jokaiseen osa-alueeseen sirupulassa ja on suuri syy äkilliselle puutteelle puolijohteista. Pandemia kiihdytti huomattavasti kehitystä digitalisatiossa ja tietotekniikassa eri sektoreissa sekä kotitalouksissa. Asiantuntijoiden mukaan sirupula olisi luultavasti tapahtunut lopulta joka tapauksessa, mutta pandemian seurauksena se tapahtui paljon odotettua nopeammin. (Patrizio 2021.)

### 2.2.1 Valmistajat

Siruja tuottavia tehtaita oli pakko sulkea pandemian seurauksena samalla tavalla kuin muiden teollisuuden osien. Tämä katkaisi tiettyyn asteeseen sirujen tuotannon ja myyjille jäi pitkäksi aikaa vain varastossaan olevat tavarat. Suuren kysynnän vuoksi vähäiset varastot tyhjenivät nopeasti, eikä uusia lähetyksiä saapunut korvaamaan myytyä kauppatavaraa. Tehtaiden



uudelleenkäynnistys ja toimitusketjujen elvyttäminen on pitkä prosessi, joten pandemiaa edeltävän tason saavuttamiseen voi kulua kauan. (Peters 2021.)

### 2.2.2 Kuluttajat

Pandemian vuoksi työpaikkoja, kouluja sekä muita julkisia tiloja jouduttiin sulkemaan ympäri maailmaa ja monet ihmiset siirtyivät työskentelemään etänä kotoa käsin. Tämän seurauksena syntyi epätavallisen suuri kysyntä uusiin elektronisiin laitteisiin, koska monilla ei ollut etätöskentelyyn tarvittavaa laitteistoa. Ihmiset eivät myös pystyneet viettämään vapaa-aikaansa normaalisti sosiaalisen etäännyttämisen vuoksi, joten viihde-elektroniikan kysyntä myös nousi räjähdysmäisesti. Tietokoneita, pelikonsoleita, televisioita ja muuta kotiviihdettä ostettiin niin paljon, että valmistajien ja jälleenmyyjien varastot kuihtuivat hyvin nopeasti. (Cooney 2021.)

### 2.2.3 Rahtipalvelut

Pandemian seurauksena tilauksien määrä verkkokaupoissa näki suuren nousun normaaliin verrattuna. Verkkokaupoista, kuten Amazonista, tilataan niin paljon tuotteita, että rahtaaajat ovat ylikuormittuneet. Esimerkiksi suosittu Yhdysvaltalainen lähetys- ja logistiikkapalvelu UPS käski hetkellisesti kuljettajiaan lopettamaan tilauksien nouto monilta jälleenmyyjiltä. Tästä syystä osa siruista, joita saadaan valmistettua, eivät päädy asiakkaiden luokse aiemalla aikataululla. Rahtaaajat ovat niin kiireisiä, että satamilla on kontteja täynnä osia ympäri maailmaa, mutta ei ketään noutamassa niitä. (Patrizio 2021.)

## 2.3 ”Vessapaperi-ilmiö”

Samalla tavalla kuin ihmiset rohmusivat koronapandemian alussa vessapaperia pelätessään, että tavaraa ei riittäisi, myös valmistajat alkoivat rohmuta siruja pulan ensimerkeillä. Tietyt sektorit teollisuudessa sekä tietyt yritykset saivat käsiinsä enemmän puolijohdekomponentteja kuin toiset, kun ne alkoivat ostaa reilusti enemmän siruja kuin yleensä. Tämän takia joidenkin valmistajien tuotannossa ei ensin havaittu suurta vaikutusta sirupulasta johtuen, kun taas toisilla alkoi näkyä ongelmia hyvinkin nopeasti. Viihde-elektroniikan, autojen ja muiden sektoreiden rohmutessa lisää siruja, sirujen tuotanto ruuhkautui entisestään, eikä tarjonta pystynyt millään vastaamaan kysyntää. (Cherney 2021.)

## 2.4 Epäsuorat vaikutukset

Syyskuussa vuonna 2020 Yhdysvallat tiukensi rajoituksia Kiinan suurimman sirujen valmistajan SMIC:n (Semiconductor Manufacturing International Corporation) kanssa. Tämän seurauksena yrityksellä on vaikeampaa käydä kauppaa Yhdysvaltojen tai valtioiden, joilla on yhteyksiä Yhdysvaltojen kanssa. Näiden rajoitusten myötä monet yhtiöt pakotettiin tilaamaan sirunsa muista lähteistä, kuten Samsung ja TSMC, jotka olivat jo valmiiksi tuottamassa siruja täydellä kapasiteetilla. Yhdysvaltojen rajoitukset pahensivat siis entisestään suurien sirujen valmistajien kysyntää. (China Telecom 2021.)

Odottamattomat sääilmiöt ovat myös vaikuttaneet puolijohdekomponenttien tuotantoon. Taiwanissa valmistetaan yli 50 % kaikista maailman mikropiireistä ja noin 90 % kehittyneemmistä siruista. Taiwanin pitkäaikainen kuivuus vaikutti paikalliseen sirujen tuotantoon ja monet tehtaot joutuivat olemaan suljettuina. Texasissa jouduttiin sulkemaan kaksi puolijohdetta tuottavaa tehdasta rajun lumimyrskyn ja pakkasen vuoksi. Japanissa puolestaan nähtiin suuri tulipalo tehtaassa, jonka seurauksena tuotannon välineistöä vaurioitui ja tilauksia myöhästyi reilusti. (Kurt 2021.)

## 3 Pulan vaikutukset ja nykytilanne

Sirupula on vaikuttanut yli 169 teollisuudenalaan, jotka hyödyntävät puolijohteita tuotannossaan. Puolijohteita käytetään monimutkaisten mikrosirujen valmistamiseen, joita puolestaan käytetään monimutkaisten piirilevyjen valmistamiseen. Piirilevyistä valmistetaan vielä yhä monimutkaisempia tuotteita. Tämän tuotannon monimutkaisuuden seurauksena alan toimitusketju on hyvin taipuvainen äkillisille häiriöille ja muutoksille. (Kurt 2021.)

### 3.1 Tuotanto

Yhä useampi teollisuudenala hyödyntää mikrosiruja tuotannossaan. Sirupulan vaikutuksena nämä teollisuudenalat kilpailevat keskenään rajallisesta määrästä siruja, joita valmistajat tuottavat. Autoteollisuuden ja jättimäisten kuluttajaelektroniikan tuottajien sisäinen kilpailu pahentaa entisestään sirujen puutetta. Yksittäiset yritykset ympäri toimitusketjua taistelevat saadakseen siruja tuotteitaan varten. Jotkin yritykset saavat varmistettua tarpeeksi siruja tuotantaan varten, kun taas toiset joutuvat jopa karsimaan muita tuotelinjojaan, jotta tiettyä tuotelinjaa saadaan jatkettua. (Automotive News 2021.)

Suuri syy, miksi sirujen tarjontaa ei saada vastaamaan kysyntää, on näiden tuotannon monimutkaisuus ja pitkäkestoisuus. Vain yhdessä prosessissa silikonipohjaisen puolijohteen valmistamisessa voi kestää 60–120 päivää. Kokonaisen sirun valmistuksessa kestää yleensä noin 3,5 kuukautta, mutta suuren kysynnän seurauksena tuotannossa voi kulua jopa puoli vuotta. Jos yksikin komponentti puuttuu piirilevystä, tuotetta ei pystytä valmistamaan. Valmistajat joutuvat toivomaan, että kaikki yksittäiset komponentit saadaan varmistettua. (Kurt 2021.)

Varsinkin kuluttajien, jotka useammin suosivat alhaisemmilla hinnoilla saatavia tuotteita, keskuudessa havaitaan tuotantokyvyn riittämättömyys. Kuluttajaelektroniikan valmistajat, kuten Intel ja NVIDIA, priorisoivat kalliimpien tuotelinjojensa tuotantoa näiden suuremman voittomarginaalin vuoksi. Myös sirujen tuottajat priorisoivat tuotantaan samasta syystä palvelinkeskuksiin ja muihin isompiin hankintoihin viihde-elektroniikan sijasta. Prosessoreiden kysyntä on kuitenkin laidasta laitaan, eli sirujen valmistajat joutuvat tuottamaan vanhaa ja uutta teknologiaa samaan aikaan, mikä lisää vaikeuksia ennestään. Kehittyneemmät valmistajat, kuten TSMC ja Samsung, panostavat 7nm ja 5nm teknologiaan siruissaan, joita ei tarvita esimerkiksi autoissa tai jääkaapeissa. Vanhempaa teknologiaa joudutaan vielä

tuottamaan täydellä kapasiteetilla, joten uusien tuotteiden saatavuus kärsii merkittävästi näitä julkaistaessa. (Patrizio 2021.)

### 3.1.1 Autoteollisuus

Autoteollisuuden keskuudessa sirujen käyttö on räjähtänyt lähivuosien aikana elektronisten elementtien lisääntyessä autoissa. Autoteollisuus muodostaa nykyään noin 10 prosenttia koko puolijohdemarkkinoista, arvioltaan noin 530 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Tämän osuuden odotetaan kasvavan reilusti lähitulevaisuudessa. (Sigal 2021.) Autoissa käytetään esimerkiksi näytönohjaimia, virranhallintasiruja, sensoreita ja mikrokontrollereita. Käytettävät prosessorit ovat 40 nanometriä tai vanhempaa teknologiaa, joka oli kärjessä olevaa noin 15 vuotta sitten. Autoissa käytettävät mikrosirut valmistetaan samoissa tuotantolinjoissa kuin muihinkin tuotteisiin, mutta autoteollisuuteen tehdyt sirut joudutaan valmistamaan tarkoilla prosesseilla turvallisuuskriteerien takia. Noin 54 prosenttia nykyisestä sirujen tuotannon kapasiteetista on autojen ja muiden teollisuuden sektoreiden käyttämää vanhempaa teknologiaa, joten autoteollisuudella on todella paljon kilpailua saada käsiinsä tarvitsemiä puolijohteita. (Moore et al. 2021.)

Sirupula on vaikuttanut autoteollisuuteen merkittävästi ja pulan odotettiin maksavan sektorille maailmanlaajuisesti noin 110 miljardin Yhdysvaltain dollarin verran voittoa vuoden 2021 aikana (Cooney 2021). Koronapandemian seurauksena odotettiin, että autojen myynti laskisi reilusti, mutta kysynnän nopea nousu tuli yllätyksenä sirujen valmistajille. Sirujen valmistajat joutuvat monipuolisen kysynnän takia ennakoimaan mihin ja mitä valmistetaan, joten autoteollisuudelle ei jäänyt paljon siruja kohtaamaan nousevaa kysyntää. (John 2021.) Uusia ja kalliita autoja ei olla saatu laitettua myyntiin yksittäisten halpojen komponenttien puutteen takia. Tehtaita on jouduttu sulkemaan kuukausien ajaksi, koska autoja ei ole voitu valmistaa. Autojen valmistajat ovat joutuneet leikkaamaan tiettyjä ominaisuuksia autoistaan, kuten kosketusnäyttöjä ja satelliittinavigointi, jotta autot saadaan myyntiin. Tämä on aiheuttanut paheksuntaa autonostajien suunnalta. (Cherney 2021.)

## 3.2 Saatavuus

Puolijohdepula vaikutti ensin mikrokontrollereiden, näyttöjen ja muiden laitteiden saatavuuteen, joiden tuotanto oli valmiiksi rajoitettua. Pula levisi nopeasti muihin toimitusketjun osa-

alueisiin sirujen valmistamisen lisäksi, kuten materiaaleihin ja kemikaaleihin. (Cooney 2021).

Suosittujen tietokonekomponenttien ja viihde-elektroniikan valmistajilla on ollut paljon ongelmia saatavuuden kanssa. Intelin prosessoreiden sekä B460, H410 ja Z590 piirisarjojen saatavuus on ollut heikkoa tuotanto-ongelmien takia. Samoin myös AMD:n Ryzen prosessoreiden, varsinkin Ryzen 5 -tuotelinjan, kanssa. Vuoden 2021 aikana näiden prosessoreiden ja piirisarjojen saatavuus parantui huomattavasti. Samaa ei kuitenkaan voida sanoa AMD:n Radeon näyttönohjaimista. Varsinkin uusimman Radeon RX 6000 -sarjan näyttönohjaimia ei ole saatavilla edes jälleenmyyjiltä. Nvidian GeForce RTX 3000 -sarjan näyttönohjaimilla on sama pula saatavuudesta kuin AMD:lla. Myös DRAM-muistin tuotannossa ilmeni ongelmia Taiwanin tunnin mittaisen sähkökatkoksen seurauksena. Micron tuottaa noin 10 prosenttia DRAM-muistista maailmanlaajuisesti ja sähkökatkoksen takia kaikki tuotantolinjan tuotteet olivat pilalla. Sonyn ja Microsoftin vuonna 2020 julkaisemia uusia pelikonsoleita ei vielä kukaan saada tarjottua vastaamaan kysyntää ja odotusajat näille pelikonsoleille ovat olleet monia kuukausia. (Patrizio 2021.)

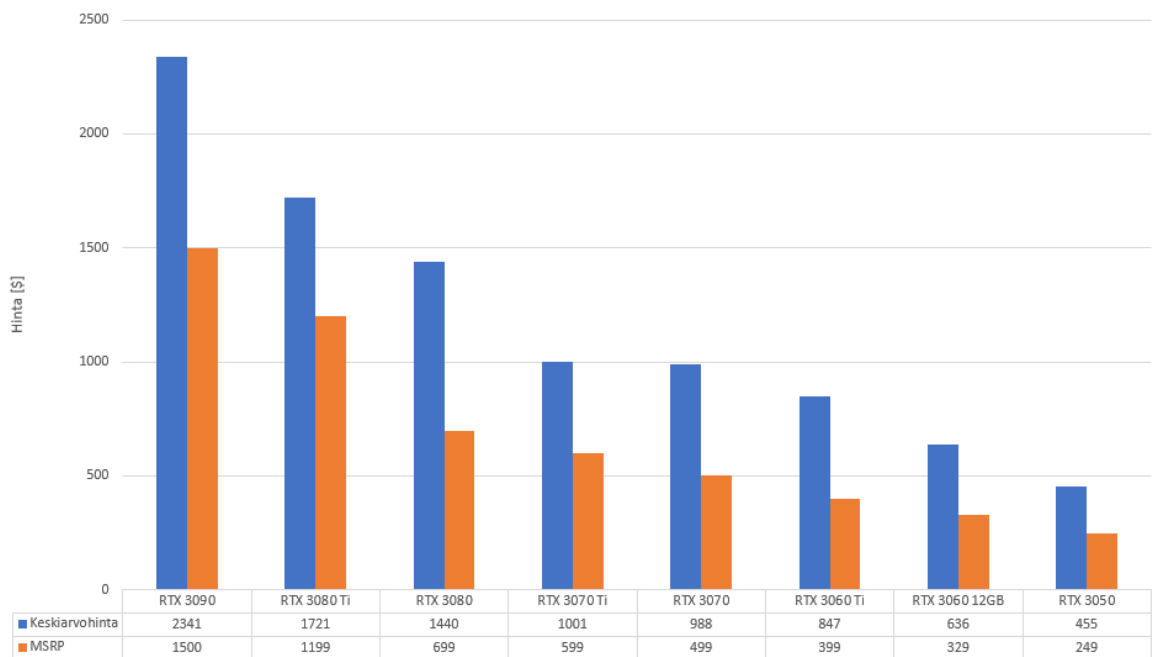
Paljon siruja ja muita elektronisia komponentteja sisältäviä ajoneuvoja ei ole saatavilla kuten ihmiset ovat tottuneet. Tämä on johtanut vähäiseen valinnanvaraan asiakkaille ja on muuttanut autokauppioiden sekä autonostajien ostamistapoja. Käytettyjen autojen markkina on noussut uusien autojen huonon saatavuuden vuoksi. Autokauppiat ja näiden asiakkaat ovat molemmat alkaneet ostamaan käytettyjä autoja enemmän ja varsinkin autonostajien nirsaus on ollut laskussa. Saatavissa olevat ajoneuvot menevät hyvin kaupaksi, eivätkä asiakkaat lähde ilman ostoa. (Charniga 2021.) Sirupula ei ole vaikuttanut tasaisesti kaikkien autovalmistajien saatavuuteen. Esimerkiksi Hondalla on ollut suuria vaikeuksia suosituimpien mallien tuotannossa verrattuna Nissaniin. (Iloff 2021.)

### 3.3 Hinta

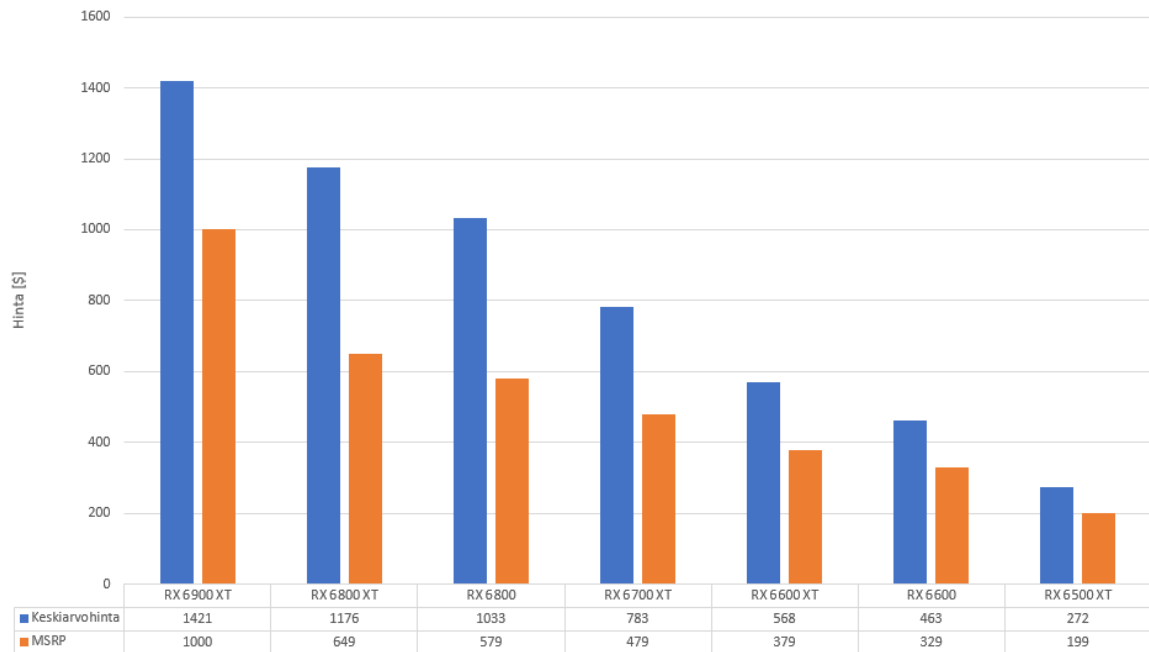
Luonnollisesti kysynnän ollessa suuri ja tarjonnan ollessa heikolla tasolla, sirujen hinnat ovat nousseet runsaasti. Raakamateriaaleista, kuten teräksestä ja kuparista, on ollut pulaa, mikä on nostanut sirujen hintaa vielä enemmän. Sirujen hinnan ennustettiin nousevan jopa yli 30 prosenttia vuoden 2021 aikana. Esimerkiksi tietokoneiden emolevyjen BIOS-asetusten talentamiseen käytettävien CMOS-sirujen hinnat ovat nousseet melkein 40 prosenttia. (Electro

Manufacturing 2021.) Sirujen hintojen noustessa myös näitä hyödyntävät valmistajat ovat joutuneet nostamaan tuotteidensa hintoja.

Nvidian Ampere- ja AMD:n RDNA2-arkkitehtuurin näytönohjaimien hinnat ovat olleet reilusti yli, mitä kuluttajat ovat tottuneet näytönohjaimista maksamaan. Tom's Hardware -verkkosivu (Walton 2022) on koonnut näiden näytönohjaimien eBay-sivustolta helmikuussa 2022 löytyvät hinnat keskiarvohinnoiksi. Verrataan näitä hintoja MSRP-hintaan, eli valmistajien viralliseen suositushintaan.



Kuva 3.1 Nvidian Ampere -näytönohjaimien hintavertailu (Walton 2022)



Kuva 3.2 AMD:n RDNA2 -näytönohjaimien hintavertailu (Walton 2022)

Sirupulan aikana varsinkin uusien näytönohjaimien hinnat ovat olleet nousussa, kuten kuvista 3.1 ja 3.2 nähdään. Keskiarvo eBay:stä löytyvien hintojen keskiarvon ja valmistajien virallisen suositushinnan erolle on noin 40 prosenttia. Suurin ero löytyy Nvidia:n GeForce RTX 3060 Ti -näytönohjaimella noin 52,9 prosentilla. Kyseinen näytönohjain maksaa siis yli kaksinkertaisesti valmistajan antamaan hintaan verrattuna. Pienin ero puolestaan on AMD:n Radeon RX 6500 XT -näytönohjaimella noin 26,8 prosentilla. Tämä näytönohjain on myös kyseisen joukon halvin.

Näytönohjaimien hinnat ovat kuitenkin laskeneet lähikuukausina. Maaliskuussa 2022 nähtiin keskimääräinen 12 prosentin lasku hinnoissa edelliseen kuukauteen verrattuna. Näytönohjaimien jälleenmyyntihinta vaihtelee jonkin verran kryptovaluuttojen louhinnan kannattavuuden mukaan, joka puolestaan muuttuu nopeasti. Louhinnan kannattavuus on laskenut vuoden 2021 alussa olevasta huipusta, jonka seurauksena myös näytönohjaimien jälleenmyyntihinta on laskenut. Tilanne voi muuttua vielä nopeasti, joten on vaikeaa arvioida miten hinnat tulevat muuttumaan. Hinnat voivat siis laskea ja nousta odottamattomasti vielä pitkään, kunnes tuotantokykyä saadaan parannettua riittävästi. (Walton 2022)

Yhdysvaltain työministeriön mukaan uusien autojen hinnat ovat olleet nousussa kesäkuusta 2020 asti. Elokuussa 2021 uusien autojen hinnat olivat nousseet 7,6 prosenttia 12 kuukauden aikana, mikä on suurin prosentuaalinen kasvu 40 vuoteen. Hinnat ovat nousseet keskimäärin

3,4 prosenttia joka kuukausi joulukuusta 2020 alkaen elokuuhun 2021 asti, eivätkä ole kertaakaan olleet laskussa kesäkuusta 2020 alkaen. (Scheid 2021.) Autokauppioiden ja autoostajien siirtyessä enemmän ja enemmän käytettyjen autojen markkinoihin, myös käytettyjen autojen hinnat ovat nousseet räjähdysmäisesti lyhyessä ajassa. Monet käytetyt autot maksavat sirupulan vaikutuksesta alkuperäisen valmistajan ohjevähittäishinnan verran tai jopa ylittävät tämän reilusti. (Charniga 2021.)



## 4 Tilanteen tulevaisuus

Asiantuntijoiden keskuudesta ei löydy yksimielistä arviota, kuinka kauan sirupula tulee lopulta kestämään. Arvioimista vaikeuttaa osaltaan koronaviruksen aiheuttamat rajut muutokset kansantalouteen. (Cherney 2021.) Intelin toimitusjohtaja Pat Gelsinger on odottanut toukokuussa 2021 pulan kestävän vielä muutaman vuoden ja painottaa, että tilanteeseen ei ole helppoa tai nopeaa ratkaisua. IBM:n presidentti James Whitehurst arvioi samoihin aikoihin, että puolijohdepulan selkiintymiseen kokonaan voi mennä pari vuotta. Hän myös sanoi, että teknologian kehittämisessä ja sirujen tuotannon välillä on suuri viive. Ciscon toimitusjohtaja Chuck Robbins puolestaan uskoo lyhytaikaisen pulan alkavan selviämään vuoden 2022 aikana valmistajien rakentaessa lisää kapasiteettia. Monet alan asiantuntijat uskovat pulan kestävän vielä pidempääkin. (Cooney 2021.)

### 4.1 Tuotannon kehittäminen

Sirujen valmistajilla on lyhytaikainen kykenemättömyys muuttaa nykyistä tuotantokapasiteettiaan. Kapasiteetin kasvattaminen vie kauan ja vaatii suurta rahallista sijoitusta. Valmistajien tuotot ovat myös olleet huipussaan sirupulan aikana. Valmistajilla ei siis ole varsinaista rahallista kannustetta korjata tilannetta. (Greenstein 2021.) Kuluttajien, yritysten ja valtioiden painostuksen kasvaessa sirujen valmistajat ovat kuitenkin alkaneet pikkuhiljaa kehittämään tuotantoaan.

Monet sirujen valmistajat ovat aloittaneet hankkeita tuotantonsa laajentamiseen. Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) aikoo käyttää 100 miljardia Yhdysvaltain dollaria seuraavan kolmen vuoden aikana nostaakseen sirujen tuotannon kapasiteettiaan (Cherney 2021). Intel puolestaan aikoo sijoittaa 20 miljardia Yhdysvaltain dollaria kahteen uuteen tehtaaseen Arizonassa ja lisäksi vielä tehdä 3,5 miljardin Yhdysvaltain dollarin sijoituksen yrityksen New Mexicossa sijaitsevaan sirujen paketointiin erikoistuvaan tehtaaseen (Intel 2021). Samsung Electronics aikoo sijoittaa 116 miljardia Yhdysvaltain dollaria yrityksen sirujen tuotantoon ja suunnitteluun seuraavat kymmenen vuotta (Cherney 2021). Nähdään siis, että yritykset ovat alkaneet ottamaan askelia sirutuotantonsa laajentamiseen ja kehittämiseen. Nämä valtakunnalliset sijoitukset tuotannon kehittämiseen tulevat auttamaan pidemmällä ajanjaksolla, mutta lyhytaikainen pula siruista ei tule ratkeamaan ainoastaan tällä tavalla.

Lyhytaikaiseen pulaan voidaan vaikuttaa tehokkaammin keskittymällä vanhemman teknologian sirutuotantoon ja suhteellisen pieniin piikiekkoihin. Vanhemman teknologian sirut vastaavat noin 54 prosenttia kokonaistuotannosta, joten asennettua kapasiteettia on olemassa valmiiksi enemmän ja kapasiteettia voidaan nostaa tarvittaessa nopeammin verrattuna moderneihin siruihin. SEMI:n Christian Gregor Dieseldorffin mukaan yli 40 yritystä aikoo kasvattaa piikiekkojensa tuotantoa yli 750 000 kappaletta kuukaudessa vuoden 2020 alusta vuoden 2022 loppuun. Pidemmän ajan tavoitteena on nostaa 200 millimetrin teknologian siruja tuottavien tehtaiden kapasiteettia 17 prosenttia vuoden 2024 loppuun mennessä. 200 millimetrin tehtaiden rakentamiselle ei kuitenkaan ole ollut suurta kiirettä. Sijoitetun pääoman tuottoa ei ole tarpeeksi tämän vanhemman teknologian kannalta, mikä on huono uutinen varsinkin autoteollisuuden kannalta, joka hyödyntää näitä siruja tuotannossaan. (Moore et al. 2021.)

#### 4.2 Tuotannon monipuolistaminen

Monipuolisuuden puute teollisuudessa pahensi entisestään toimitusketjujen ongelmia sirupulan aikana. Suuri osa siruja hyödyntävistä yrityksistä tilaa puolijohteensa suurimmilta valmistajilta, kuten TSMC ja Samsung Electronics. Tämän seurauksena nämä valmistajat ruuhkautuvat tilauksien määrästä ja odotusajat ovat olleet todella pitkät. Uusien sirujen valmistajien määrän kasvattaminen saattaa muodostua isoksi tekijäksi heikon toimituspohjan laajentamisessa. (Kurt 2021.) Yritykset, varsinkin autoteollisuudessa, voisivat lievittää toimitus- ja varasto-ongelmiaan muuttamalla tiettyjä ostotapojaan. Sirujen hankinta voitaisiin erottaa muista komponenteista, jolloin puolijohteita voidaan tilata monipuolisemmin eri lähteistä. Sirujen pulaa yrityksiä näkökulmasta voisi lievittää myös sitoutumalla aikaisempiin ostotilauksiin ja rakentamalla puskurivarastoa, jotta ongelmia tuotannossa voitaisiin välttää. (Sigal 2021.) Pulaa yritetään elvyttää tämän lisäksi panostamalla kotimaiseen tuotantoon. Esimerkiksi Yhdysvaltojen maailmanlaajuinen osuus sirutuotannosta on laskenut 37 prosentista vuonna 1990 12 prosenttiin nykypäivänä (Robinson 2021). Yhdysvaltojen tämänhetkinen presidentin Joe Bidenin esittämään infrastruktuuri suunnitelmaan kuuluu 50 miljardin Yhdysvaltain dollarin sijoitus kotimaiseen puolijohdeteollisuuteen (Kurt 2021). Näin saataisiin paikallisesti parannettua saatavuutta sekä toimitusaikoja.

Tuotannossaan siruja hyödyntävät yritykset voisivat myös yrittää sirujen hankinnan ulkoistamisen sijasta kehittää omia sirujaan sisäisesti. Apple on hiljattain alkanut kehittää sisäisesti

omia sirujaan, joita yritys käyttää Macbook-tietokoneissaan ja muissa tuotelinjoissaan. Intel puolestaan on jo pidemmän ajan kehittänyt mikroprosessoreja ja siruja sisäisesti. Sirujen kehittäminen sisäisesti antaa yrityksille enemmän mahdollisuuksia optimoida tuotteidensa suorituskykyä, parantaa ohjelmistojen ja laitteistojen yhteensopivuutta sekä räätälöidä siruja tiettyyn tarkoitukseen. Esimerkiksi Applen ARM-pohjainen M1-siru on kehitetty hyvin tehokkaaksi hyvällä hyötysuhteella ohjelmistojen ja laitteiden synergian ansiosta. Sirujen kehittämisen sisäistämisen avulla Apple on myös pystynyt vähentämään altistumistaan sirupulalle. Puolijohteiden kehittäminen tällä tavalla vaatii kuitenkin paljon resursseja, taitoa ja rahaa, joten sisäinen kehittäminen ei ole mahdollista kaikille yrityksille. On kuitenkin hyvin mahdollista, että suuret teollisuusryhmät voisivat harkita tunkeutumista markkinoille ostamalla tai yhdistämällä siruntuottajia tarjonnan takaamiseksi. (Robinson 2021.)

## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin syitä vuonna 2020 alkaneeseen maailmanlaajuisen sirupulan syntyyn ja miten se sai alkunsa. Lisäksi käytiin läpi pulan vaikutuksia tuotantoon, saatavuuteen ja hintaan sekä arvioitiin millä teollisuudenaloilla on nähty suurin vaikutus pulan seurauksena. Samalla katsottiin myös nykytilannetta kaikilla näillä osa-alueilla. Lopuksi tarkasteltiin vielä tilanteen tulevaisuutta ja arvioitiin, miten kauan puolijohdepula tulee lopulta kestämään sekä miten pulaa yritetään elvyttää maailmanlaajuisesti.

Yleisesti voidaan sanoa, että sirupula syntyi ennen kaikkea kysynnän rajusta noususta lähivuosien aikana. Esineiden internet-ajattelumalli, älylaitteiden nousu ja yritysten digitalisaatio ovat yhdessä nostaneet puolijohdeiden tarvetta nyky-yhteiskunnassa räjähdysmäisesti. Puolijohdeiden myynti on ollut nousussa joka vuosi, eikä tämän trendin odoteta muuttuvan lähivuosien aikana. Vuonna 2021 puolijohdemarkkinoiden odotettiin kasvaneen noin 25,6 prosenttia, mikä on suurin kasvu vuoden 2010 jälkeen. Voidaan siis tehdä johtopäätös, että puolijohdeita tarvitaan ja tullaan tarvitsemaan yhä enemmän tulevaisuudessa. Koronapandemia nopeutti tätä kasvua huomattavasti vuodesta 2020 alkaen. Elektroniikan ja sen seurauksena sirujen tarve nousi ihmisten siirtyessä etätyöskentelyyn odottamattomalla tavalla. Tästä syntyneen suuren kysynnän seurauksena varastot tyhjentyivät hyvin nopeasti ja elektroniikan valmistajat sekä jälleenmyyjät jäivät odottamaan uusia lähetyksiä korvaamaan myytyä kauppatavaraa. Pandemia myös vaikutti verkkokauppojen myynnin suureen nousuun, mikä johti rahtaajien ylikuormitukseen ja lähetysten viivästymiseen. Sirupulan ensimerkeillä valmistajat alkoivat rohmuta tavallista enemmän siruja itselleen näiden loppumisen pelossa. Tämä johti myös sirujen valmistuksen ruuhkautumiseen, joten monet yritykset saivat käsiinsä tarvittavansa sirut, kun taas toisille ei jäänyt käsiinsä mitään. Sirupulan syntyyn vaikutti myös pienemmät epäsuorat tapahtumat maailman ympäri. Yhdysvaltojen kauppasota Kiinan kanssa vaikutti yrityksiin Kiinan kanssa. Kiinan suurin sirujen valmistaja SMIC mustalistettiin, minkä seurauksena yhdysvaltalaiset yritykset joutuivat vaihtamaan sirujen hankintansa muualle, mikä ruuhkautti sirujen valmistajia entuudestaan. Rajut sääilmiöt ovat myös vaikuttaneet sirujen tuotantoon, kuten pidemmät kuivuusjaksot Taiwanissa ja Texasin lumimyrskyt, jotka sulki kaksi tehdasta.

Sirupulan seurauksena elektroniikan valmistajat kilpailevat keskenään vähistä määristä siruja, joita onnistuvat saamaan käsiinsä. Yritykset ovat joutuneet lakkauttamaan tai

vähentämään tiettyjen tuotelinjojensa tuotantoa, jotta toista pystytään jatkamaan. Valmistajat ovat myös alkaneet panostamaan heidän kalliimpien tuotteidensa myyntiin näiden suurien voittomarginaalien vuoksi. Sirupula on vaikuttanut varsinkin autoteollisuuteen merkittävästi. Pulan on odotettu maksaneen sektorille noin 110 miljardia Yhdysvaltain dollaria voittoa vuoden 2021 aikana. Autojen valmistusta on jouduttu lakkauttamaan kokonaan sirujen puutteen takia tai ajoneuvoja on laitettu myyntiin ilman tavanomaisia elektronisia ominaisuuksia, kuten satelliittinavigointia tai kosketusnäyttöjä. Käytettyjen autojen osuus on noussut huomattavasti sirupulan alkaessa. Sirupula on myös vaikuttanut tietokonekomponenttien, kuten näytönohjaimien ja muistin, sekä Microsoftin ja Sonyn uusien pelikonsolien saatavuuteen. Näitä tuotteita ei ole edelleenkään saatavilla kuluttajille ja jos niitä löytyy, niin hinnat voivat olla jopa kaksinkertaisia valmistajien ohjevähittäishintaan verrattuna. Sirujen hinnan on odotettu yleisesti nousseen jopa 30 prosenttia vuoden 2021 aikana.

Sirupulan kestosta ei löydy yhtä mielistä mielipidettä alan asiantuntijoidenkaan keskuudessa. Osa uskoo pulan alkavan pikkuhiljaa helpottavan jo vuoden 2022 aikana, kun taas toiset odottavat merkittävän helpotuksen näkyvän vasta useamman vuoden päästä. Toimitusketjujen sekä tuotannon palauttamisessa ja kehittämisessä tulee menemään vuosia, joten voidaan sanoa, että pulan vaikutukset tullaan näkemään vielä usean vuoden ajan. Tilannetta yritetään elvyttää laajentamalla sekä kehittämällä tuotantoa. Esimerkiksi maailman suurin sirujen tuottaja TSMC aikoo sijoittaa seuraavan kolmen vuoden aikana 100 miljardia Yhdysvaltain dollaria tuotantokapasiteettinsa nostamiseen. Myös Intel on rakentamassa Arizonaan kaksi uutta tehdasta sirujen tuotantoa varten ja sijoittamassa 3,5 miljardia Yhdysvaltain dollaria sirujen paketointiin erikoistuvaan tehtaaseen New Mexicossa. Yritykset ovat alkaneet pikkuhiljaa monipuolistamaan tuotantoaan ja sirujen hankintaa. Siruja tilataan eri yrityksiltä monipuolisemmin, jolloin sirujen valmistajien ei odoteta ruuhkautuvan yhtä pahasti. Osa suuremmista yrityksistä ovat alkaneet jopa valmistamaan omia sirujaan, kuten Apple. Tämän ansiosta näiden yritysten tuotannossa ei olla nähty yhtä suuria ongelmia sirupulan seurauksena.

## Lähteet

Automotive News. 2021. Chip shortage shows need for new thinking. Automotive News. Vol. 95, nro. 6974, s. 12. [Viitattu 19.1.2022].

Charniga, J. 2021. Dealers go with their gut amid price surge: Valuation guides can't keep up with impact of demand, chip shortage. Automotive News. Vol. 95, nro. 6990, s. 22. [Viitattu 28.1.2022].

Cherney, M.A. 2021. FINDING OPPORTUNITIES IN THE CHIP SHORTAGE. Barron's. Vol. 101, nro. 22, s. 24. [Viitattu 4.1.2022].

China Telecom. 2020. US government adds Chinese chipmaker SMIC to Entity List. China Telecom. Vol. 27, nro 12, s. 2–3. [Viitattu 12.1.2022].

Cooney, M. 2021. Chip shortage will hit IT-hardware buyers for months to years: Tech executives and analysts say the current processor-chip shortage and disruption of supply chains thanks to COVID-19 could have a long-term impact on price and availability. Network World [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.1.2022]. Saatavissa <https://www.networkworld.com/article/3619210/chip-shortage-will-hit-it-hardware-buyers-for-months-to-years.html>

Electro Manufacturing. 2021. RAW MATERIAL PRICES SOAR WITH CHIPS SHORTAGE. Electro Manufacturing. Vol. 34, nro 4. [Viitattu 4.2.2022].

Greenstein, S. 2021. Economic Dependencies in Integrated Circuits. IEEE Micro. Vol. 41, nro. 5, s. 130–132. [Viitattu 8.2.2022].

Iloff, L. 2021. CRUNCH TIME: Strained dealer inventories tightening as chip shortage lingers. Automotive News. Vol. 95, nro. 6980, s. 3. [Viitattu 28.1.2022].

Intel. 2021. Intel Breaks Ground on Two New Leading-Edge Chip Factories in Arizona. Intel [Verkkodokumentti]. [Viitattu 20.2.2022]. Saatavissa <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/intel-breaks-ground-two-new-leading-edge-chip-factories-arizona.html#gs.hnb2lv>

John, A. S. 2021. Chip shortage could have lasting impact on auto industry recovery. Rubber & Plastics News, Vol. 50, nro. 16, s. 5. [Viitattu 20.1.2022].

Kurt, C. 2021. When the chips are down. Indianapolis Business Journal. Vol. 42, nro. 14, s. 30A, 31A. [Viitattu 5.1.2022].

Moore, S. K, Johnson, D., Harris, M., Waltz, E., Patel, P. & Hampson, M. 2021. The Latest Developments in Technology, Engineering, and Science: News. IEEE Spectrum. Vol. 58, nro. 8, s. 5–12. [Viitattu 20.2.2022].

Patrizio, A. 2021. The chip shortage is real, but driven by more than COVID: Demand for lower-end processors and a belief that the supply chain would never fail have fueled shortages. Network World [Verkkodokumentti]. [Viitattu 3.1.2022]. Saatavissa <https://www.networkworld.com/article/3623753/the-chip-shortage-is-real-but-driven-by-more-than-covid.html>

Patrizio, A. 2021. You're not imagining things, there is a serious chip shortage: CPUs, GPUs, and memory are all in tight supply due to manufacturing issues and high demand. Network World [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.1.2022]. Saatavissa <https://www.networkworld.com/article/3602456/youre-not-imagining-things-there-is-a-serious-chip-shortage.html>

Peters, T. 2021. The Global Chip Shortage's Impact on You. Umbrella Managed Systems [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.1.2022]. Saatavissa <https://www.umbrella-ms.com/blog/the-global-chip-shortages-impact-on-you/>

Robinson, M. 2021. Have Apple and Intel found the way around the global chip shortage? Investors Chronicle, s. 10. [Viitattu 23.2.2022]. Saatavissa <https://www.investorchronicle.co.uk/news/2021/04/23/have-apple-and-intel-found-the-way-around-the-global-chip-shortage/>

Scheid, B. 2021. US new vehicle prices surge amid global chip shortage with no end in sight. The SNL Insurance Daily. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 8.2.2022]. Saatavissa <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/us-new-vehicle-prices-surge-amid-global-chip-shortage-with-no-end-in-sight-66596252>

Sigal, P. 2021. Chip shortage could stretch for years: New sourcing needed as hopes for quick fix fade. Automotive News. Vol. 95, nro. 6981, s. 8. [Viitattu 28.1.2022].

Walton, J. 2022. GPU Prices, March 2022: Another 12% Drop Over the Past Month. Tom's Hardware. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.3.2022]. Saatavissa <https://www.tomshardware.com/news/gpu-pricing-index>

WSTS. 2021. WSTS Semiconductor Market Forecast Fall 2021. World Semiconductor Trade Statistics [Verkkodokumentti]. [Viitattu 7.1.2022]. Saatavissa [https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5263/WSTS\\_nr-2021\\_11.pdf](https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5263/WSTS_nr-2021_11.pdf)