



**TOIMITUSKETJUN RISKIENHALLINTA JA MAAILMANLAAJUINEN PULA
PUOLIJOHDEKOMPONENTEISTA: CASE AUTOTEOLLISUUS**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

Juho Kettunen

Tarkastaja(t): Professori Timo Pirttilä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Juho Kettunen

Toimitusketjujen riskienhallinta ja maailmanlaajuinen pula puolijohdekomponenteista: Case autoteollisuus

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2022

25 sivua, 5 kuvaa ja 4 taulukkoa

Tarkastaja(t): Professori Timo Pirttilä

Avainsanat: sirupula, puolijohde, komponenttipula, autoteollisuus

Puolijohdeteollisuus ja sen toimitusketjut ovat erittäin monimutkaisia ja siksi ne ovat poikkeuksellisen alttiita erilaisille riskeille. Tämä tekee toimitusketjujen riskienhallinnasta erityisen tärkeän konseptin yrityksille, joiden tuotteet ovat riippuvaisia puolijohdeista. Parin viime vuoden aikana olemme saaneet huomata, mitä tapahtuu, kun toimitusketjut pettävät jonkin kriittisen komponentin osalta. Maailmanlaajuinen sirupula on vaivannut monia teollisuudenaloja, jotka ovat riippuvaisia puolijohdekomponenttien saannista, kärjessä teknologia- ja autoteollisuus.

Tämän työn tavoitteena on perehtyä syihin maailmanlaajuisen komponenttipulan taustalla. Työssä syvennytään myös siihen, mitä vaikutuksia pulalla on ollut erityisesti autoteollisuuteen. Tarkoitus on myös pohtia, millaisia riskienhallinnollisia toimia on olemassa tämänkaltaisen tilanteen ehkäisemiseksi ja hallitsemiseksi.

Tärkeimpinä havaintoina komponenttipulan syiksi havaittiin puolijohdekomponenttien kysynnän äkillinen nousu koronaviruspandemian alkamisen jälkeen ja pandemian sekä luonnonilmiöiden aiheuttamat ongelmat toimitusketjuihin. Puolijohdekomponenttien tuottaminen on monimutkainen ja kallis prosessi, jonka vuoksi valmistuskapasiteetin nostaminen on hidasta. Tärkeimmiksi toimitusketjujen riskienhallinnollisiksi toimenpiteiksi esiin nousi toimitusketjun sisäisen kommunikoinnin tärkeys, hyvät toimittajasuhteet sekä tulevaisuuteen varautuminen.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

TSMC Taiwan Semiconductor Manufacturing Company

JOT Juuri oikeaan tarpeeseen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

(Symboli- ja lyhenneluettelo)

1	Johdanto.....	5
2	Toimitusketjujen riskienhallinta.....	6
2.1	Toimitusketjun riskit.....	8
2.2	Toimitusketjun riskienhallintaprosessi.....	9
2.2.1	Riskien tunnistaminen.....	9
2.2.2	Riskien arviointi.....	10
2.2.3	Riskien kontrollointi.....	12
2.2.4	Riskien seuranta.....	12
3	Case maailmanlaajuinen komponenttipula autoteollisuudessa.....	13
3.1	Mitä puolijohdekomponentit ovat.....	13
3.2	Puolijohdeteollisuus lyhyesti.....	13
3.3	Pula puolijohdekomponenteista.....	14
3.4	Komponenttipula ja autoteollisuus.....	16
4	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	21
	Lähteet.....	24

1 Johdanto

Toimitusketjun riskienhallinta on vielä suhteellisen tuore asia ja tietoisuus siitä on lisääntynyt yrityksissä kunnolla vasta tällä vuosituhannella. Siitä on tullut koko ajan merkittävämpi tekijä toimitusketjujen kasvaessa ja monimutkaistuessa, joka näkyy erityisesti puolijohde-teollisuudessa.

Työssä tehdään case-analyysi, jossa tutustutaan maailmanlaajuiseen pulaan puolijohdekomponenteista ja siihen millaisia vaikutuksia sillä on ollut autoteollisuuteen. Työn aihepiirin mukaisesti case-analyysissä syvennytään tutkimaan, millaisilla riskienhallintakeinoilla tähän ongelmaan on pyritty vastaamaan, hyödyntäen myös aiemmin käsiteltyä teoriaa toimitusketjujen riskienhallinnasta.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja tarkoituksena oli löytää laadukkaita tieteellisiä lähteitä, joista löytyisi teorian tietoa toimitusketjujen riskienhallinnasta. Teoriatiedon pohjalta yritettiin myös löytää riskienhallinnollisia toimenpiteitä toimitusketjujen hallitsemiseksi, jotka olisivat hyödyllisiä yrityksille, jotka tarvitsevat tuotteilleensa puolijohdekomponenttien kaltaisia kriittisiä komponentteja. Sirupulasta tietoa etsiessä hyödynnettiin myös aiheen ajankohtaisuuden vuoksi aiheesta kertovia uutisia.

Työn rakenne on seuraavanlainen. Ensin tutustutaan teoriaan toimitusketjujen riskienhallinnassa. Sitten tutkitaan komponentti pulaa ja sen vaikutuksia autoteollisuuteen, sekä millaisin riskienhallinnollisin toimenpitein tilannetta voitaisiin kenties hallita. Työn lopuksi on johtopäätökset, jossa esitellään tärkeimmät työssä löytyneet havainnot.

2 Toimitusketjujen riskienhallinta

Tässä luvussa on tarkoitus perehtyä teoriaan toimitusketjujen riskienhallinnassa. Luvussa käsitellään muun muassa sitä, millaisia riskejä toimitusketjuissa esiintyy ja millaisia metodeja toimitusketjujen riskienhallinnassa on käytössä.

Nykypäivän monimutkaiset toimitusketjut ovat alttiita erilaisille häiriöille, joilla voi olla merkittäviä vaikutuksia yritysten toimintaan. Toimitusketjujen riskienhallinnan tavoitteena on tunnistaa mahdollisia riskejä toimitusketjuissa ja tehdä sopivia toimenpiteitä näiden häiriöiden hallitsemiseksi. (Khojasteh 2018)

Riskienhallinnasta on tällä vuosikymmenellä tullut merkittävä haaste toimitusketjun johtajille kansainvälisen kilpailun, kustannuspaineiden, asiakkaiden odotusten ja toimitusketjujen monimutkaisuuden kasvaessa (Daultani, Kumar, Vaidya, Tiwari 2015). Kiihtyneen globalisaation myötä, suuri osa yrityksistä siirtää toimintojaan ulkomaille, jolloin toimitusketjut pitelevät ja monimutkaistuvat. Tämä lisää riskejä toimitusketjuissa ja siten myös häiriöiden mahdollisuus toimitusketjuissa kasvaa (Behnezhad, Connett, Nair 2013).

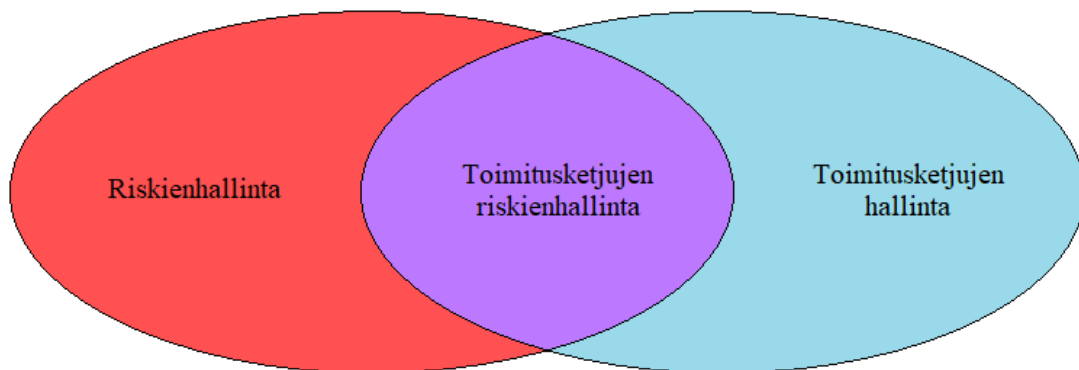
Kumar et al. (2010) määrittelee toimitusketjun riskin poikkeamaksi toimitusketjun tarkoituksenmukaisesta toiminnasta, joka aiheuttaa lisäarvoa tuottavien asioiden vähenemistä. Tämä taas aiheuttaa kannattavuuden laskua. Hänen mukaansa nämä lisäarvoa tuottavat asiat voivat tarkoittaa esimerkiksi tuotteiden määrää tai laatua. Hän lisää, että häiriöt jollain toimitusketjun tasolla voivat myös aiheuttaa häiriöitä muissa paikoissa toimitusketjua.

Nykypäivänä riskienhallinnalla on keskeinen rooli toimitusketjun toiminnan tehokkuuden, ennustettavuuden ja johdonmukaisuuden varmistamisessa. Jokaiseen toimitusketjun osana olevaan sidosryhmään liittyy riskejä. Esimerkiksi häiriö jonkin yrityksen toiminnassa voi vaikuttaa myös muiden yritysten toimintaan samassa toimitusketjussa. Tämän vuoksi

riskienhallinta on oltava osana koko toimitusketjun hallintaa, toimitusketjun alusta aivan sen loppuun, toimitusketjun toimivuuden takaamiseksi. (Daultani et al. 2015)

Yritysten väliset yhteistyöverkostot ovat lisääntyneet jatkuvasti globalisaation myötä. Lisääntynyt yhteistyö voi tuoda yritykselle kilpailuetuja, mutta kun riippuvuudet muihin yrityksiin lisääntyvät, niin oma yritys tulee alttiiksi myös muiden yritysten mahdollisille riskeille. Toimitusketjun riskit vaikuttavat toimitusketjun yrityksiin eri tavoin riippuen yrityksen roolista toimitusketjussa. Tämän vuoksi jokaisen yrityksen olisikin tarkasteltava riskejä omasta näkökulmastaan. (Hallikas, Karvonen, Pulkkinen, Virolainen, Tuominen 2004).

Toimitusketjujen riskienhallinta on vielä kohtuullisen uusi asia ja kiinnostus sitä kohtaan on kasvanut viime aikoina (Blos, Quaddus, Wee, Watanabe 2009). Tämä näkyy kuitenkin siinä, että tutkimusten joukossa on pientä vaihtelua siitä, kuinka toimitusketjujen riskienhallinta nähdään (Sodhi, Son, Tang 2012). Yleistäen voidaan kuitenkin sanoa, että toimitusketjujen riskienhallinta on kokonaisuus toimitusketjujen hallintaa ja riskienhallintaa yhdistettynä (Khojasteh 2018).



Kuva 1. Havainnekuva toimitusketjujen riskienhallinnasta.

2.1 Toimitusketjun riskit

Kirjallisuudessa esiintyy monia eri näkemyksiä siitä, kuinka toimitusketjun riskejä tulisi luokitella. Tämä voi johtua esimerkiksi eri henkilöiden erilaisista näkökulmista tarkastella toimitusketjun riskienhallintaa. Riskejä luokiteltaessa onkin pyrittävä luokittelemaan riskit yrityksen tilanne ja tavoitteet huomioon ottaen. Seuraavaksi esitellään muutamia esimerkkejä, kuinka toimitusketjujen riskejä voidaan jakaa.

Khojasteh (2018) jakaa kirjassaan toimitusketjun riskit kolmeen kategoriaan: Toimitusriskeihin, kysyntäriskeihin ja prosessiriskeihin. Toimitusriskit koostuvat kaikista riskeistä, jotka liittyvät materiaalivirtojen kulkuun, kuten häiriöt tai viivästykset toimituksissa, varastoinnissa, aikatauluissa tai saapuvassa logistiikassa. Kysyntäriskejä ovat asiakkaasta johtuvat riskit, kuten kysynnän vaihtelu. Prosessiriskit liittyvät valmistukseen ja varastointiin. Esimerkkejä prosessiriskeistä ovat tuotantolaitteen hajoaminen, ihmisen aiheuttama virhe tuotannossa ja talousvaikeudet. Makroriskejä voi olla esimerkiksi luonnonkatastrofit, terroristihyökkäykset tai vastaavat tapahtumat, joilla on hyvin vakavia seurauksia. Tämän mallin mukaisesti makroriskit sijoitetaan joko toimitus- kysyntä- tai prosessiriskeihin riippuen siitä mihin ne vaikuttavat.

Kumar et al. (2010) jakaa artikkelissaan toimitusketjun riskit, sisäisiin ja ulkoihin riskeihin. Esimerkkejä sisäisistä riskeistä ovat kysyntäriski, tuotantoriski ja toimitusriski. Sisäiset riskit aiheutuvat yleensä huonosta koordinoinnista toimitusketjun sisällä. Kysyntäriskit esiteltiin jo aiemmassa kappaleessa. Tuotantoriski tarkoittaa epäonnistumista tuottaa tarvittavaa tuotetta tarvittavaa määrää oikeaan aikaan oikean laatusena. Toimitusriski tarkoittaa häiriöitä materiaalien kulussa toimitusketjun sisällä, joka voi johtaa toimittamattomiin tilauksiin. Ulkoiset riskit ovat ulkoisen ympäristön aiheuttamia riskejä toimitusketjuun. Ulkoisia riskejä voi aiheutua esimerkiksi luonnon tai ihmisen aiheuttamista katastrofeista tai talouden kriiseistä.

2.2 Toimitusketjun riskienhallintaprosessi

Toimitusketjun riskienhallintaprosessi pitää sisällään samat vaiheet kuin, riskienhallinta yleensäkin. Jokainen yritys on vastuussa omista riskeistään ja niiden tulisi hoitaa omat riskinsä. Toimitusketjussa olevat yritykset ovat usein kuitenkin riippuvaisia toisistaan, joten on kaikkien etujen mukaista, että riskienhallintaa osittain myös jaetaan ja kehitetään yhteisiä keinoja riskien hallitsemiseksi. (Hallikas et al. 2004)

Riskienhallinnan prosessi koostuu neljästä vaiheesta:

1. Riskien tunnistus
2. Riskien arviointi
3. Riskien kontrollointi
4. Riskien seuranta

2.2.1 Riskien tunnistaminen

Riskien tunnistaminen on hyvin olennainen osa riskienhallintaa. Riskien tunnistamisella tullaan tietoiseksi siitä, mitkä riskit mahdollisesti uhkaavat toimintaa ja näin riskeihin voidaan varautua.

Keskeytykset, laatuvirheet ja toimitusten viivästymiset ovat esimerkkejä selvistä riskeistä toimitusketjuissa. Kaikkia riskejä ei kuitenkaan ole helppo tunnistaa. Koska jokainen yritys on vastuussa omista riskeistään, sen on tunnistettava riskit omasta näkökulmastaan katsottuna. Kuitenkin ympäristössä, jossa tehdään tiivistä yhteistyötä monien eri organisaatioiden kanssa, tehokas tiedon jakaminen on avainasemassa riskien tunnistamisen kannalta. (Hallikas et al. 2004)

2.2.2 Riskien arviointi

Riskien tunnistamisen jälkeen riskejä täytyy arvioida, jotta osataan määritellä niille tarvittavat toimenpiteet. Riskejä arvioitaessa arvioidaan riskien toteutumisen todennäköisyyttä, sekä sitä kuinka vakavia seurauksia riski aiheuttaa toteutuessaan. Todennäköisyyksiä arvioitaessa, käytetään apuna yrityksen omia kokemuksia ja on otettava huomioon myös verkoston vaikutus riskin toteutumisen todennäköisyyteen. Riskin toteutumisen aiheuttamat mahdolliset vaikutukset arvioidaan yrityksen omasta näkökulmasta. (Hallikas et al. 2004)

Yleensä yritykselle aiheutunut vahinko riskeistä on jokin taloudellinen haitta, kuten ylimääräiset kustannukset. Muita huomioonotettavia seurauksia voi olla luottamuksen heikkeneminen, mainehaitta tai tietotaidon väheneminen, joille on hankala määrittää rahallista arvoa, mutta joilla on merkittäviä vaikutuksia yrityksen menestymiseen. Eri-tyyppispiirre riskin vaikutuksesta toimitusketjussa on se että, yritys voi menettää paikansa yritysten verkostossa. (Hallikas et al. 2004)

Riskin todennäköisyys ja sen aiheuttamat seuraukset määritellään itsenäisinä tekijöinä. Todennäköisyyden ja vakavuuden voi määritellä esimerkiksi asteikolla 1–5, siten että 1 kuvaa kaikkein epätodennäköisintä/mitättömintä riskiä ja 5 kaikkein todennäköisintä/seurauksiltaan vakavinta riskiä. Alla on esitelty taulukot, jossa on määritelty asteikot 1–5 ja joita voi käyttää apuna riskien arviointiin.

Taulukko 1. Riskien vaikutusten arviointiasteikko (Hallikas et al. 2004)

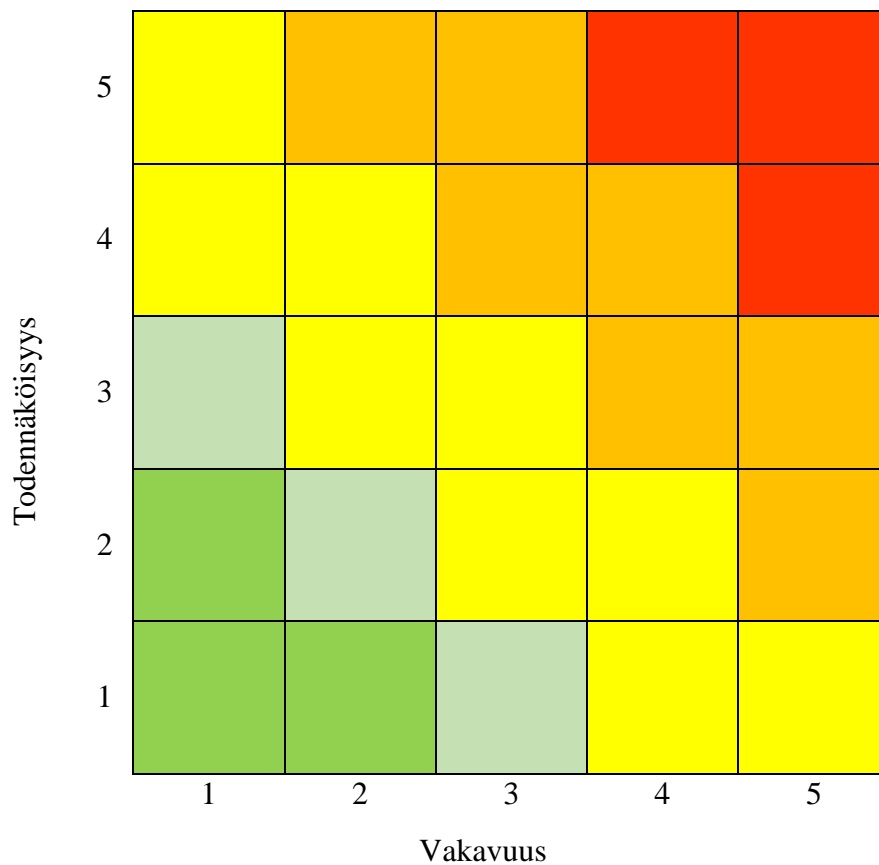
Aste	Subjektiivinen arvio	Kuvaus
1	Ei vaikutusta	Mitätön yrityksen mittakaavassa
2	Pieni vaikutus	Pieniä yksittäisiä tappioita
3	Keskisuuri vaikutus	Lyhytaikaisia vaikeuksia
4	Vakava vaikutus	Pitkäaikaisia vaikeuksia
5	Kriittinen vaikutus	Toimintaa ei voida jatkaa

Taulukko 2. Riskien todennäköisyyden arviointiasteikko (Hallikas et al. 2004)

Aste	Subjekttiivinen arvio	Kuvaus
1	Hyvin epätodennäköinen	Hyvin harvinainen tapahtuma
2	Epätodennäköinen	Tapahtumasta epäsuoraa näyttöä
3	Kohtalaisen todennäköinen	Tapahtumasta suoraa näyttöä
4	Todennäköinen	Tapahtumasta vahvaa näyttöä
5	Hyvin todennäköinen	Tapahtuma toistuu säännöllisesti

Kun riskien todennäköisyydelle ja vakavuudelle on määritetty arvot, riskit kannattaa sijoittaa riskimatriisiin. Riskimatriisi antaa hyvän kokonaiskuvan riskeistä ja siitä näkee nopeasti mitkä ovat kaikkein vakavimpia riskejä. Riskimatriisia voi käyttää myös informaation jakamisen välineenä yritysten välillä, sekä niiden sisällä. (Hallikas et al. 2004)

Taulukko 3. Riskimatriisi



2.2.3 Riskien kontrollointi

Yritysten verkostossa yleisiä keinoja riskien käsittelyyn on kehittää yhteisiä strategioita, parhaita toimintamalleja ja laatia sopimuksia. Riskien arviointi antaa kuvan siitä, mihin riskeihin toimenpiteitä täytyy erityisesti kohdentaa ja kuinka riskien kanssa kannattaa toimia. Osa riskeistä on sellaisia, että niitä voidaan pienentää verkoston yhteistyöllä ja osasta riskejä yrityksen täytyy huolehtia itse. (Hallikas et al. 2004)

Hallikas et al. (2004) on listannut riskien kontrolloimiseksi seuraavia keinoja:

- Riskin siirtäminen
- Riskin hyväksyminen
- Riskin poistaminen
- Riskin pienentäminen
- Yksittäisen riskin syvempi analysointi

2.2.4 Riskien seuranta

Yrityksen ja sen toimintaympäristön muutoksesta johtuen myös riskit voivat muuttua. On myös mahdollista, että ilmaantuu uusia riskejä. Tämän vuoksi riskienhallinnan täytyy olla jatkuvaa ja myös vanhoja riskejä täytyy seurata ja arvioida uudestaan. Olen- naista on kiinnittää huomiota muutoksiin toimitusketjussa, asiakastarpeissa, teknolo- giassa, kumppaneiden strategioissa ja kilpailijoissa. (Hallikas et al. 2004)

3 Case maailmanlaajuinen komponenttipula autoteollisuudessa

Tässä kappaleessa syvennytään tarkastelemaan vallitsevaa maailmanlaajuista pulaa puolijohdekomponenteista. Kuinka tilanteeseen on päädytty ja millaisia vaikutuksia sillä on ollut autoteollisuuteen. Siinä tutkitaan myös sitä, kuinka komponenttipulaan on pyritty vastaamaan. Analyysin pohjana hyödynnetään myös aiemmin läpikäytyä teoriatietoa toimitusketjujen riskienhallinnasta ja tarkastellaan, kuinka näitä teoreettisia riskienhallintamenetelmiä on pystytty hyödyntämään tositalanteessa.

3.1 Mitä puolijohdekomponentit ovat

Nykyisestä komponenttipulasta puhuttaessa tarkoitetaan pulaa elektronisissa laitteissa käytettävistä mikropiireistä eli puhekielellä siruista (Herttua 2021). Yleisestikin esimerkiksi mediassa puhutaankin sirupulasta. Myös tässä työssä käytetään puolijohdekomponenteista jatkossa nimitystä siru. Näiden sirujen valmistukseen tarvitaan jotain puolijohdemateriaalia, yleisimmin piitä, josta johtuu nimitys puolijohdekomponentti (Hitachi 2022).

Siruja tarvitaan nykyään lähes kaikkialla elektroniikan valtavan lisääntymisen seurauksena. Suurimmat sirujen tarvitsijat ovat älypuhelimet, tietokoneet, datakeskukset, teollisuuselektroniikka, autoteollisuus, kulutus elektroniikka ja langaton tiedonsiirto (Yliselektroniikka 2022).

3.2 Puolijohdeteollisuus lyhyesti

Sirujen valmistus on äärimmäisen monimutkainen ja pitkä prosessi. Siruja kuvaillaan jopa monimutkaisimmiksi koskaan valmistetuiksi tuotteiksi (Blank 2022). Sirujen tuottamiseen tarvitaan erittäin edistynyttä teknologiaa sekä taitoa, jota löytyy vain muutamalta yritykseltä maailmasta (Herttua 2021). Monimutkaisesta valmistusprosessista johtuen, sirun valmistus kestää noin kolme kuukautta (Klayman, Nellis 2021). Myös siruja valmistavat tehtaot ovat

hyvin kalliita ja niiden rakentaminen on hidasta pitkälle edistyneen tekniikan vuoksi (Blank 2022).

Sirujen valmistus on pitkälle erikoistunutta. Niiden toimitusketjut ovat pitkiä ja lähes joka vaiheessa on oma toimijansa (Blank 2022). Sirujen valmistamiseen vaadittava edistynyt teknologia on aiheuttanut sen, että sirujen valmistus on hyvin ulkoistettua. Tällä hetkellä maailmasta löytyy vain kaksi yritystä, joilla on kyky valmistaa kaikista edistyneimpiä siruja: Samsung sekä Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). TSMC on maailman johtava sirujen valmistaja. Se pitää hallussaan yli puolia sirumarkkinoista ja edistyneimpien sirujen osalta sen markkinaosuus olisi joidenkin arvioiden mukaan jopa yli 90%. (Campbell 2021)

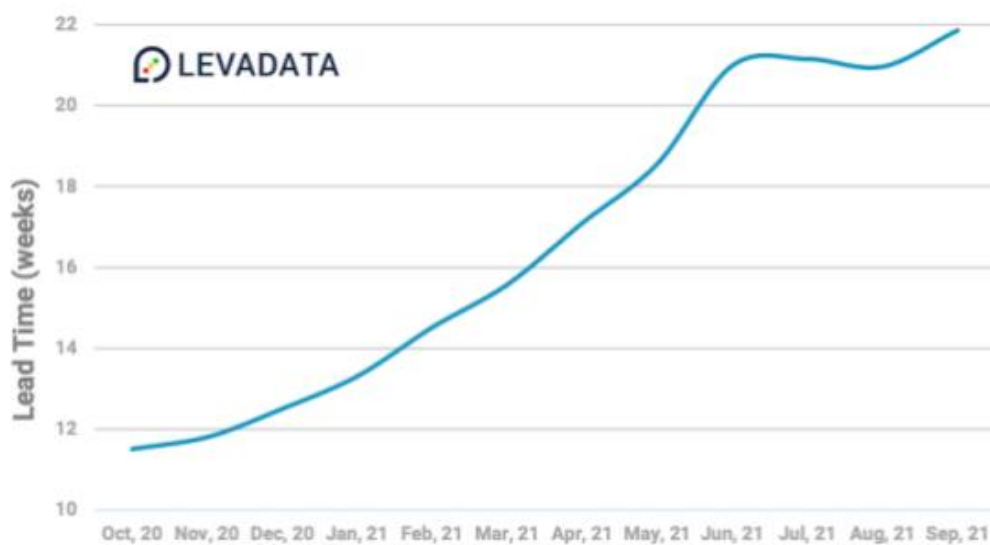
TSMC:n hallituksen puheenjohtaja Mark Liu on kutsunut autovalmistajia heidän ”asiakkaiden asiakkaiden asiakkaiseen” (Campbell 2021). Tämänkaltaiset lausunnot kertovat oman osansa sirujen pitkistä ja monimutkaisista toimitusketjuista.

3.3 Pula puolijohdekomponenteista

Sirupulaan ei voida löytää yksittäistä selkeää syytä vaan se on ollut monien tekijöiden summa. Tiivistettynä se on aiheutunut kysynnän massiivisesta kasvamisesta tuotantokapasiteettiin verrattuna. Koronapandemian alkaessa 2020 ihmiset siirtyivät etätöihin ja viettivät paljon aikaa kotona, kun matkustelu ei ollut enää mahdollista. Tämä aiheutti sen, että ennen esimerkiksi juuri matkustamiseen käytetty raha käytettiin nyt uuteen viihde-elektroniikkaan ja etätyövälineisiin, joihin tarvitaan paljon siruja. Sirujen valmistajat eivät myöskään olleet osanneet varautua kysynnän räjähtämiseen vaan sen odotettiin laskevan pandemian seurauksena. Sirujen tuotantokapasiteetti pieneni senkin vuoksi, kun osassa tehtaista tuotanto jouduttiin keskeyttämään koronan vuoksi. Korona vaikutti myös sirujen toimitusketjujen logistiikkaan. Koronan alettua lentoliikenne väheni, sekä laivaliikennettä vaivasi konttipula, jonka vuoksi kuljetuskapasiteettia oli rajallisesti saatavilla. Myös luonnonilmiöt kuten

kuivuus, tulipalot ja pakkaset ovat aiheuttaneet häiriöitä sirujen toimitusketjuun. (Mäntylä 2021)

Kuvasta kaksi nähdään sirujen toimitusaikojen kehitys vuoden 2020 lopusta, vuoden 2021 loppupuolelle. Kasvaneen kysynnän seurauksena sirujen toimitusajat ovat kasvaneet keskimäärin yli viiteen kuukauteen. Näin pitkät toimitusajat jonkin komponentin osalta aiheuttavat merkittäviä haasteita esimerkiksi tuotannonsuunnittelussa. (Pelé 2022)



Kuva 2. Sirujen toimitusajat (Pelé 2022)

Sirupulaan vaikuttavia tekijöitä oli näkyvissä myös jo ennen koronapandemian alkua. Tähän vaikutti Yhdysvaltojen ja Kiinan välinen kauppasota. Yhdysvaltojen asettamat pakotteet kielsivät esimerkiksi kiinalaista matkapuhelinvalmistajia hankkimasta Yhdysvalloissa suunniteltua teknologiaa sisältäviä siruja, ja tämä sai puhelinvalmistajat tilaamaan siruja suuren määrän varastoon. Kilpailevat puhelinvalmistajat näkivät tässä tilaisuuden kaapata markkinaosuutta, ja tämä sai myös heidät lisäämään sirujen tilauksia. (Vakil, Linton 2021)

Puolijohdeteollisuuden ja sen toimitusketjujen monimutkaisuudesta johtuen sirujen tuotantokapasiteetin kasvattaminen kysyntää vastaamaan ei käy hetkessä ja investoinnit ovat erittäin kalliita. Puolijohdeteollisuuden korkeat kiinteät kustannukset aiheuttavat myös sen, että

sirujen tuottajat eivät halua joutua tilanteeseen, jossa sirujen tarjonta ylittäisi kysynnän ja tästä johtuen ne voivat olla varovaisia tekemään hyvin radikaaleja investointeja kapasiteettiin. Esimerkiksi TSMC on kuitenkin kertonut sijoittavansa kapasiteetin kasvattamiseen yli 100 miljardia dollaria seuraavan kolmen vuoden aikana. Sirujen kysynnän historia näyttää myös sen, että niiden kysyntä voi vaihdella suuresti ja kysynnän ennustaminen on haastavaa. Sirujen kysyntä näyttäisi olevan kuitenkin vahvasti sidoksissa makrotalouden suhdanteiden vaihteluun. (Young 2021)

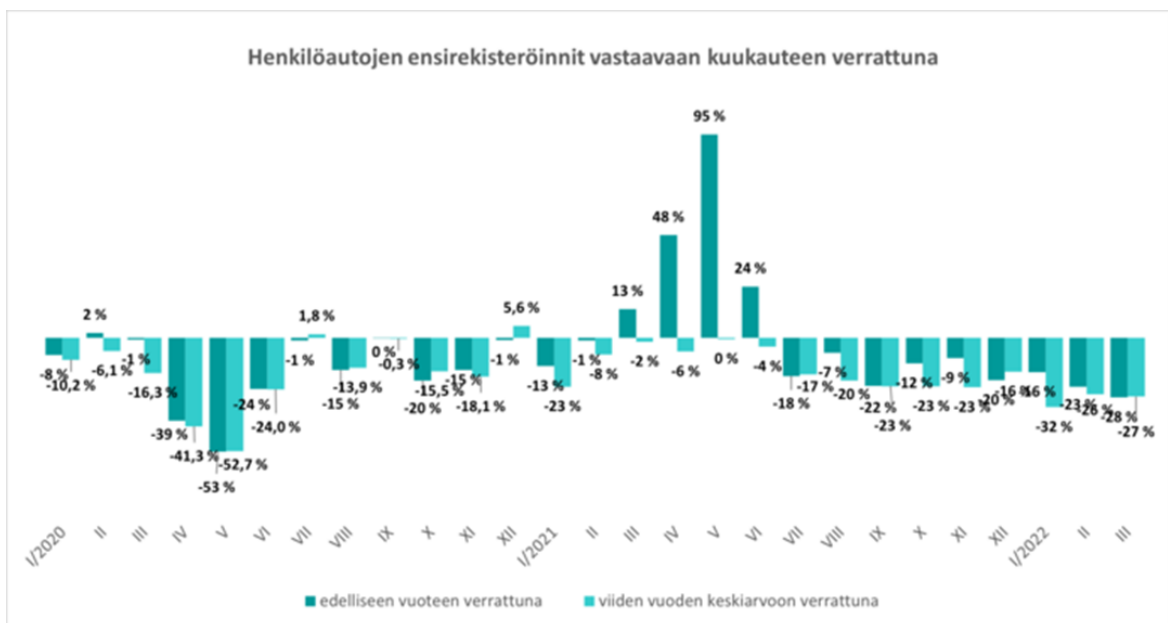
3.4 Komponenttipula ja autoteollisuus

Elektroniikkaosien käyttö autoissa on lisääntynyt valtavasti viime vuosikymmeninä ja nykyaikaiset autot ovatkin täynnä sähkötekniikkaa. Siruja autoihin tarvitaan ohjaamaan eri auton toimintoja, kuten valoja, polttomoottorin päästöjä, ABS-jarrujärjestelmää ja sähköautoissa sähkönkulutusta. (ŠKODA 2022)

Nykyaikaisten autojen valmistaminen on mahdotonta ilman siruja, ja sirupula on saanut autovalmistajat vaikeuksiin ympäri maailmaa. Autojen tuotantoa on jouduttu vähentämään ja jotkin valmistajat ovat jopa keskeyttäneet tuotantonsa (Klayman, Nellis 2021). Tästä johtuen uusien autojen toimitusajat ovat kasvaneet jopa kuukausilla ja ovat tällä hetkellä noin 6–12 kuukautta (Wacker 2022). Tilanne aiheuttaa autoteollisuuden valmistajille miljardien tulonmenetykset (Wood 2021).

Kun koronaviruspandemia alkoi vuonna 2020, autojen kysyntä laski. Tästä johtuen autovalmistajat vähensivät tuotantaan ja täten myös sirujen tilauksia. Tämä sai sirujen toimittajat priorisoimaan esimerkiksi tietokonevalmistajia ihmisten siirryttyä etätöihin. Autojen kysyntä kuitenkin toipui arvioitua nopeammin ja tämä sai autonvalmistajat erittäin hankalaan tilanteeseen. Kysyntää autoille oli, mutta uusia autoja ei saatu tuotettua tarvittavaa tahtia, koska niiden tarvitsemien sirujen riittävyys aiheutti tuotantoon pullonkaulan. (Young 2021)

Autoteollisuuden vaikeudet näkyvät myös rekisteröityjen ajoneuvojen määrässä. Kuvassa kolme kuvataan henkilöautojen ensirekisteröintejä Suomessa kuukausittain edellisen vuoden vastaavaan kysyntään verrattuna. Kuvasta nähdään kysynnän lasku koronapandemian alkua vuodelta 2020 alusta, sekä kysynnän voimakas toipuminen alkuvuodesta 2021. Sen jälkeen rekisteröintien määrä on kuitenkin taas painunut alaspäin edellisvuoden tasoon nähden. Helmikuussa 2022 rekisteröitiin 23 % vähemmän uusia autoja, kuin vuotta aiemmin. Vähentynyt rekisteröintien määrä johtuukin juuri komponenttipulan aiheuttamista autoteollisuuden tuotanto-ongelmista. (Wacker 2022)

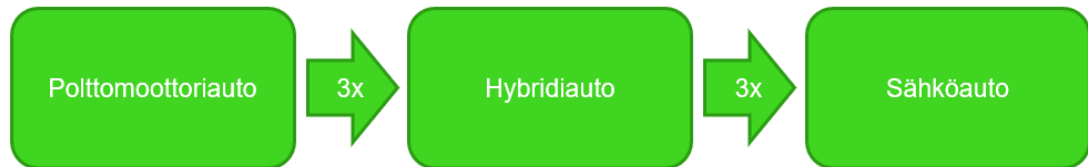


Kuva 3. Henkilöautojen ensirekisteröinnit Suomessa (Autoalan Tiedostuskeskus 2022)

Sirupula näkyy myös autojen varustelussa. Digitaalisia mittareita on korvattu viisarimittareilla ja kosketusnäyttöllisen kojelaudan tilalle on tullut tavallinen kojelauta. Myös vara-avaimet on saatettu toimittaa asiakkaalle vasta jälkikäteen, että hän on saanut autonsa nopeammin. (Wacker 2022)

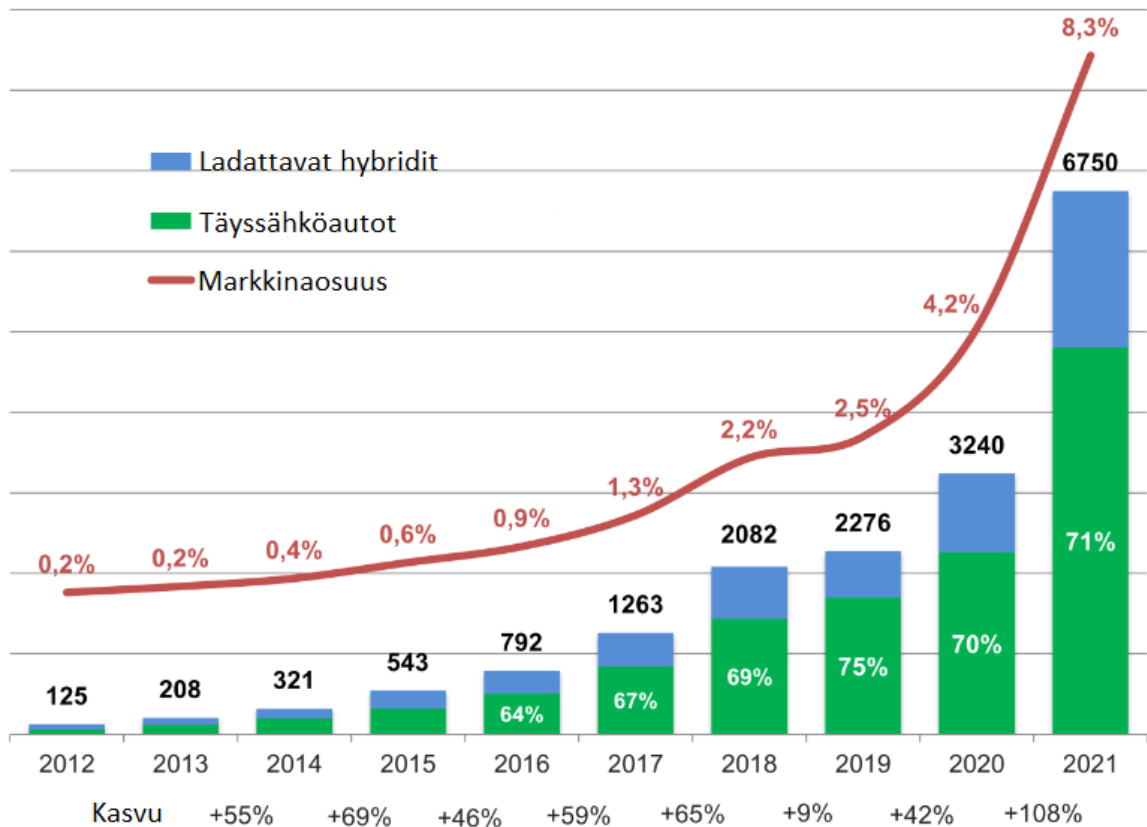
Myös auton tyyppi vaikuttaa siihen tarvittavien sirujen määrään. Hybridiautot vaativat kolminkertaisen määrän siruja polttomoottoriautoihin verrattuna. Koko ajan suosiotaan

kasvattavat sähköautot taas tarvitsevat kolminkertaisen määrän siruja hybridautoon verrattuna (Kuva 4). (Yleiselektroniikka 2022)



Kuva 4. Sirujen tarve autotyypeittäin

Kuva viisi kuvaa pistokkeella ladattavien sähköautojen, joihin kuuluu täyssähköautot ja ladattavat hybridit, maailmanlaajuista myyntiä viime vuosien ajalta. Kuvasta nähdään, että sähköautojen myynti on ollut viimeisinä vuosina voimakkaassa kasvussa. Vuonna 2021 sähköautojen myynti tuplaantui vuodesta 2020 ja niitä myytiin 6,75 miljoonaa kappaletta. Myös niiden markkinaosuus ylsi jo 8,3 prosenttiin kaikkien autojen myynnistä. (Irle 2021) Sähköautojen lisääntyneen kysynnän vuoksi autoteollisuuden puolijohdekomponenttien tarve tulee tulevana vuosina vain lisääntymään entisestään.



Kuva 5. Sähköautojen ja ladattavien hybridi-autojen maailmanlaajuinen myynti, määrät tuhansia (mukaanlaskien Irla 2021)

Autoissa käytettävät sirut eivät tarvitse olla aivan uusinta teknologiaa vaan niihin riittää vanhemman sukupolven sirut. Ongelma on, että samoja siruja käyttävät myös esimerkiksi elektroniikka sisältävät käyttötavarat ja täten myös vanhempien sirujen kysyntä on runsasta ja pula niistä on jopa kovempi kuin uusimman teknologian siruista. Siruvalmistajat priorisoivat tuotannossaan kuitenkin tuoreimman teknologian siruja, koska niistä saa paremman katteen. Autoteollisuutta varten valmistettavat sirut täytyy myös valmistaa erityisiä turvallisuuskriteereitä noudattaen. (Moore, Johnson, Harris, Waltz, Patel, Hampson 2021)

Omalta osaltaan tilannetta pahensi autovalmistajien hyödyntämään Lean-johtamisfilosofiaan liittyvä JOT-tuotannonohjausstrategia, jossa materiaalia tilataan varastoon juuria oikea määrä oikeaan aikaan. Näin oli myös sirujen osalta ja kun sirupula iski, täytyi tulla toimeen varastossa olevilla siruilla, joita ei sattuneesta syystä juuri ollut. (Wilmot 2021)

Myös luonnonilmiöt ovat omalta osaltaan vaikuttaneet sirupulaan erityisesti autoteollisuuden osalta. Maaliskuussa 2021 Japanilaisen Renesas Electronics puolijohdevalmistajan tehtaasta yksi tuotantolinjoista tuhoutui tulipalossa. Kyseinen valmistaja on erittäin merkittävä sirujen toimittaja erityisesti autoteollisuudelle ja tuhoutuneella linjastolla valmistettiin juuri autoteollisuuden käyttämiä siruja. (Reuters 2021)

Sirupulan seurauksena on riskienhallintakeinona pyritty kasvattamaan sirujen varmuusvarastoja, mutta tämä on vienyt pulaa jopa pahempaan suuntaan, koska se lisää sirujen kysyntää entisestään, ainakin hetkellisesti. Ilmiö muistuttaa koronapandemian alun tilannetta, kun tavalliset kuluttajat hamstrasivat kaupasta vessapaperia, pelätessään sen loppumista, kuten ilmiön seurauksena kävikin monessa paikassa. (Wilmot 2021)

Suuret autovalmistajat ovat alkaneet luoda suhteita suoraan siruvalmistajiin. Näin he saivat karsittua toimitusketjusta pois välikäsiä ja mahdollisesti turvattua luotettavimmat toimitukset kriittisten sirujen osalta. Tämänkaltainen toimintamalli on jo yleistä joidenkin tärkeiden materiaalien, kuten katalysaattoreissa käytettävien jalometallien, osalta. (Wilmot 2021)

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutustuessa teoriaan toimitusketjujen riskienhallinnasta, aihealue vaikutti hieman hajanaiselta ja sekavalta. Eri julkaisijat puhuivat toimitusketjujen riskienhallinnasta hieman eri tavoin ja konkreettiset toimet toimitusketjujen riskienhallitsemiseksi jäivät hieman vaisuiksi. Toimitusketjujen riskeihin tulee kuitenkin suhtautua samoin kuin muihinkin toimintaa uhkaaviin riskeihin ja riskienhallinta tulisi olla jokaisella yrityksellä osana kokonaisvaltaista toimitusketjunhallintaa.

Maailmanlaajuinen sirupula on ollut monia teollisuudenaloja koetellut kriisi, jolla on ollut laajoja seurauksia. Sirupulalle ei ole yhtä selkeää syytä vaan se on muodostunut useista eri tekijöistä ja sattumuksista. Yleisesti sen kuitenkin voidaan katsoa olevan seurausta pääosin koronapandemian aiheuttamista ilmiöistä. Alla olevaan taulukkoon on koottu tärkeimmät työssä löytyneet, sirupulaan liittyvät, havainnot jaoteltuna kysyntä- ja tarjontatekijöihin. Lisäksi taulukko on jaoteltu yleiseen osioon, jossa on yleisesti siruteollisuuden liittyviä havaintoja, sekä autoteollisuuden osioon, jossa on erityisesti autoteollisuuden liittyviä tekijöitä.

Taulukko 4. Sirupulaan vaikuttaneita kysyntä- ja tarjontatekijöitä

Yleisiä syitä

Kysyntätekijät	Tarjontatekijät
<ul style="list-style-type: none"> • Pandemian seurauksena elektroniikan kysynnän kasvaminen. Johtui mm. etätöihin siirtymisestä ja lisääntyneestä vapaa-ajan vietosta kotona. • Yhdysvaltojen ja Kiinan välinen kauppasota, jonka seurauksena siruja hamstrattiin varastoon 	<ul style="list-style-type: none"> • Kalliit tuotantolaitokset • Pitkät valmistusprosessit • Kapasiteetin lisäys hidasta • Pitkät ja monimutkaiset toimitusketjut • Tuotanto voimakkaasti keskittyneitä muutamiin yrityksiin • Tuotantolaitosten sulkeminen pandemian vuoksi

	<ul style="list-style-type: none"> • Pandemiaa seuranneet logistiikan ongelmat. Esimerkiksi lentoliikenteen vähentyminen ja meriliikenteen konttipula.
--	---

Autoteollisuus

Kysyntätekijät	Tarjontatekijät
<ul style="list-style-type: none"> • Kysynnän ennakoimaton nousu, pandemian alun kysynnän laskun jälkeen • Sähköautojen ja hybridien voimakas kysynnän kasvu • Varustelun karsiminen ja elektroniikan vähentäminen autoista • Varmuusvarastojen kasvattaminen sirupulan seurauksena 	<ul style="list-style-type: none"> • Pandemian alun kysynnän laskun seurauksena tuotantoa ja sirujen tilauksia vähennettiin. Seurauksena siruvalmistajat alkoivat priorisoida muita teollisuudenaloja. • Siruvalmistajien panostus uudemman teknologian siruihin, autoteollisuus hyödyntää vanhempia siruja, samoin kuin esimerkiksi kodinkoneet • Sirujen saatavuuden huonontuminen, joka aiheuttanut pullonkaulan tuotantoon • Autotehtaiden tuotannonkeskeytykset • Autoteollisuudelle kriittisen siruvalmistajan tuotantolinjan tuhoutuminen • Autovalmistajien panostus suorien toimittajasuhteiden luomiseen siruvalmistajien kanssa

Nykyinen sirupula on osoittanut toimitusketjujen riskienhallinnan tärkeyden yritystoiminnan jatkuvuuden kannalta. Jos toimitusketju pettää, voi esimerkiksi auton valmistus jäädä pienestä osasta kiinni.

Tärkeimmiksi tekijöiksi toimitusketjun riskienhallitsemiseksi nousi toimitusketjun sisäinen kommunikointi, hyvät ja luotettavat toimittajasuhteet, sekä tulevaisuuteen varautuminen, joka tosin voi olla hankalaa.

Tulevaisuudessa myös Lean-tuotantoa täytyy pyrkiä sopeuttamaan entistä tarkemmin vallitsevaan tilanteeseen. Toimitusketjua ei voi tehostaa loputtomiin riskienhallinnan kustannuksella, vaan niiden välille on löydettävä sopiva tasapaino. On esimerkiksi kartoitettava, mitkä ovat tuotannon kannalta kriittisiä materiaaleja, ja erityisesti ne, jotka ovat alttiita toimitusketjun häiriöille. Kriittisten materiaalien osalta on huolehdittava tarvittavista varmuusvarastoista ja hyvistä toimittajasuhteista.

Lähteet

- Autoalan Tiedostuskeskus (2022) *Ensirekisteröinnit Kuukausittain 2022*. Viitattu [28.4.] Saatavilla: <https://www.aut.fi/tilastot/ensirekisteroinnit/kuukausittain/2022>.
- Behnezhad A, Connett BI, Nair M (2013) The evolution of supply chain risk management. *Journal of Supply Chain and Operations Management* 11(1): 77-89.
- Blank S (2022) *The Semiconductor Ecosystem – Explained*. Viitattu [15.2.] Saatavilla: <https://steveblank.com/2022/01/25/the-semiconductor-ecosystem/>.
- Blos MF, Quaddus M, Wee HM, Watanabe K (2009) Supply chain risk management (SCRM): a case study on the automotive and electronic industries in Brazil. *Supply Chain Management* 14(4): 247-252.
- Campbell, C. (2021) *Inside the Taiwan Firm that Makes the World's Tech Run*. : Time.
- Daultani Y, Kumar S, Vaidya OS, Tiwari MK (2015) A supply chain network equilibrium model for operational and opportunism risk mitigation. *International Journal of Production Research* 53(18): 5685-5715.
- Hallikas J, Karvonen I, Pulkkinen U, Virolainen V, Tuominen M (2004) Risk management processes in supplier networks. *International Journal of Production Economics* 90(1): 47-58.
- Herttua, I. (2021) *Mikropiireistä Taistellaan Kulissien Takana Nyt Verisesti, Ja Se Näkyy Pian Myös Autojen Tuotantomäärissä*. : Tekniikan Maailma.
- Hitachi (2022) *What are Semiconductors?* Viitattu [5.4.] Saatavilla: <https://www.hitachi-hightech.com/global/products/device/semiconductor/about.html>.
- Irle R (2021) *Global EV Sales for 2021*. Viitattu [28.4.] Saatavilla: <https://www.ev-volumes.com/>.
- Khojasteh Y (2018) *Supply Chain Risk Management Advanced Tools, Models, and Developments*. Singapore: Springer Singapore.
- Klayman, B. and Nellis S, (2021) *Trump's China Tech War Backfires on Automakers as Chips Run Short*. : Reuters.
- Kumar SK, Tiwari MK, Babiceanu RF (2010) Minimisation of supply chain cost with embedded risk using computational intelligence approaches. *International Journal of Production Research* 48(13): 3717-3739.
- Mäntylä J (2021) Autotehtaat sammuttavat jo koneitaan, koska niillä ei ole riittävästi mikrosiruja – Kysyimme Ponselta, Nokialta ja Verkkokauppa.comista, miten sirupula näkyy.
- Moore SK, Johnson D, Harris M, Waltz E, Patel P, Hampson M (2021) The Latest Developments in Technology, Engineering, and Science: News. *IEEE Spectrum* 58(8): 5-12.

Pelé, A. (2022) *CES 2022: CTA's VP Sees Two Fixes to Chip Shortage.* : EE Times Europe.

Reuters (2021) *Japanese Carmakers Assess Impact of Fire at Renesas Chip Plant.* : Reuters.

ŠKODA (2022) *Missä Kaikkiällä Autossa on Mikrosiruja?* : ŠKODA MAGAZINE.

Sodhi MS, Son B, Tang CS (2012) Researchers' Perspectives on Supply Chain Risk Management. *Production and Operations Management* 21(1): 1-13.

Vakil, B. and Linton T, (2021) *Why We're in the Midst of a Global Semiconductor Shortage.* : Harvard Business Review.

Wacker, R. (2022) *Komponenttipula Näkyy Uusien Autojen Rekisteröinneissä – Eikä Muutosta Ole Luvassa Hetkeen.* : moottori.

Wilmot S (2021) The Great Car-Chip Shortage Will Have Lasting Consequences; Semiconductors have become a strategic component for car makers. First they will increase inventories, then some might design their own. *The Wall Street Journal. Eastern Edition.*

Wood, G. (2021) *Semiconductor Supply Chain Shortages.* : IHS Markit.

Yleiselektroniikka (2022) *Komponenttipula Voi Kestää Vielä Vuoden!* Viitattu [1.4.] Saatavilla: <https://www.yeint.fi/uutiset/komponenttipula-voi-kesta-viela-vuoden>.

Young CM (2021) *The Semiconductor Shortage: An Analysis of Potential and Ongoing Remediation Efforts and their Implications on the Industry & Macroeconomy.*