



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

## **Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen**

master in de handelswetenschappen

### ***Masterthesis***

#### ***Supply chain netwerk modellen***

#### **Cédéric Franssen**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

#### **PROMOTOR :**

dr. Tabitha MAES



**UHASSELT**

KNOWLEDGE IN ACTION

[www.uhasselt.be](http://www.uhasselt.be)

Universiteit Hasselt  
Campus Hasselt:  
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt  
Campus Diepenbeek:  
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

**2020**  
**2021**



# **Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen**

master in de handelswetenschappen

## ***Masterthesis***

### ***Supply chain netwerk modellen***

#### **Céderic Franssen**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

#### **PROMOTOR :**

dr. Tabitha MAES



*Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020-2021. Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op het schrijf- en verwerkingsproces, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten die aan de basis liggen van dit werkstuk.*



## **Voorwoord**

Ik ben Cédéric Franssen, masterstudent Handelswetenschappen met als afstudeerrichting Supply chain management. Ik schreef deze paper in kader van het opleidingsonderdeel 'Masterproef Supply chain management', met als doel het behalen van het diploma master in de Handelswetenschappen. Ik ben het onderzoeksthema 'supply chain netwerk modellen' toegewezen en ik schreef hier een literatuurstudie voor. Ik heb gekozen om me te verdiepen in de factoren die een belangrijke rol spelen binnen supply chain network design met als bijkomend doel enkele wiskundige modellen te bestuderen.

In dit voorwoord wil ik enkele personen bedanken. Allereerst bedank ik Dr. Tabitha Maes voor de begeleiding van deze masterproef. Ze was steeds bereid om mijn vragen te beantwoorden en me verder te helpen met moeilijkheden die ik heb ervaren. Ook wil ik Ann-Sophie Franssen bedanken voor het nalezen van de literatuurstudie.



## **Samenvatting**

### **Context van het onderzoek**

In deze masterproef worden factoren die een belangrijke invloed hebben op supply chain network design (SCND) onderzocht. Een supply chain netwerk is een complex gegeven van organisaties dat een reeks van onderling verbonden activiteiten aan elkaar linkt. Elke activiteit binnen het netwerk speelt een specifieke rol om het volledige proces van de supply chain te voltooien. In de laatste 20 jaar is supply chain management opgekomen als een kritiek onderdeel in de bedrijfswereld. Door goede relaties te ontwikkelen met zowel klanten als leveranciers kan een bedrijf significante competitieve voordelen realiseren. SCND is een deel van het strategisch planningsproces binnen supply chain management en focust op de infrastructuur ervan. Verschillende beslissingen zoals de locatie, grootte en capaciteit van de faciliteiten in het netwerk worden in deze modellen bepaald. Het doel van SCND is om een netwerk te ontwerpen voor nieuwe entiteiten of om bestaande supply chain netwerken te herstructureren om de totale waarde te verhogen. Daarbovenop moet het netwerk zo ontworpen worden dat het flexibel genoeg is om doorheen de jaren efficiënt te blijven. SCND moet rekening houden met verschillende variabelen tijdens het ontwerpen van een netwerk. Veel van deze variabelen bevatten een bepaalde onzekerheid. Echter is het onduidelijk welke factoren de grootste invloed hebben op netwerk. Daarom luidt de centrale onderzoeksvraag als volgt:

“Welke factoren spelen een belangrijke rol binnen SCND?”

Dit wordt onderzocht aan de hand van een literatuurstudie. Deze onderzoekt specifieke onderdelen van supply chain management om te ondervinden hoe een supply chain netwerk model ontworpen wordt. Daarnaast worden enkele wiskundige netwerkmodellen bestudeert die een supply chain netwerk optimaliseren.

### **Resultaten**

Het besluitvormingsproces in een supply chain netwerk kan worden onderverdeeld in drie beslissingsniveaus, namelijk strategisch, tactisch en operationeel. Uit het onderzoek blijkt dat supply chain network design vooral werkt met het strategische aspect van het besluitvormingsproces. Dit omdat het ontwerpen van een netwerk focust op beslissingsvariabelen zoals de locatiebepaling van de nodige faciliteiten, de allocatie van de middelen en de planning van de distributiekkanalen. Doordat deze soort beslissingsvariabelen vragen om grote investeringen is het van groot belang dat de correcte informatie beschikbaar is om de lange termijn plannen op te baseren. Dit is niet altijd vanzelfsprekend, aangezien niet elk type van variabelen constant en gekend is. De vraag, afkomstig van de markt, is een voorbeeld van een zeer volatiel type variabele. Hoewel SCND vooral focust op het strategische aspect is het ook van belang dat er rekening gehouden wordt met het tactische en operationele vlak van een supply chain netwerk. Veranderingen die doorgevoerd wordt op het strategische niveau hebben een grote impact op het volledige netwerk.

Voor een organisatie kan beginnen aan SCND moet eerst een strategie opgesteld worden. Hierin wordt de missie en visie beschreven en dit zal bepalen hoe het supply chain netwerk zal worden opgebouwd. Een “one-size-fits-all” strategie bestaat helaas niet. Elke organisatie is uniek. De strategie van een organisatie wordt bepaald door de eigen doelen en door de markt of sector waarin



ze actief zijn. Zo is een lean supply chain netwerk beter in een organisatie waarin de onzekerheid over vraag en aanbod relatief laag ligt. Indien deze onzekerheden hoger liggen, kan het beter zijn om te kiezen voor een agile supply chain netwerk. Elke strategie focust op een bepaald aspect binnen het ontwerpen van een netwerkmodel. Het lean concept probeert de overbodige kosten te elimineren, agile en responsieve netwerken streven naar een zo hoog mogelijk service level en groene en duurzame supply chain netwerken focussen op het elimineren van afval. Het duurzame concept kan worden uitgebreid door een reverse logistics netwerk toe te voegen aan de forward supply chain.

Vervolgens wordt onderzocht hoe een netwerkmodel wordt ontworpen. Eens de strategie is vastgelegd kunnen de drijvende factoren bepaald worden. Deze factoren worden vertaald in de KPI's die de organisatie wil opvolgen om te controleren of de opgestelde doelen bereikt worden. Hiermee kunnen de behaalde service levels, kosten, opbrengsten en de kwaliteit van de informatiestroom doorheen het netwerk beoordeeld worden. Daarnaast is het ook van belang dat de organisatie bewust is van de mogelijke risico's die aanwezig zijn in het supply chain netwerk. Een voorbereid netwerk zal altijd sneller kunnen reageren op onverwachte storingen. Naast de drijvende factoren worden de beperkingen van een supply chain netwerk bekeken. Deze beperkingen bepalen bijvoorbeeld de maximale capaciteit verdeeld over de faciliteiten. Dit bepaalt de maximale productiehoeveelheid en het beïnvloedt het voorraadbeheer van het volledige netwerk. Een ander soort beperking is het garanderen van service. Bij deze beperking moet het service level op 100% blijven, iedere klant moet en zal bediend worden. Eens de drijvende factoren en beperkingen van het netwerkmodel bepaald zijn kan er worden overgegaan naar de variabelen. Deze geven een vorm aan het netwerkmodel. De verschillende variabelen worden onderverdeeld in twee categorieën. Beslissingsvariabelen zijn variabelen die controleerbaar zijn door de organisatie. De beslissingsvariabelen met de grootste impact op een netwerkmodel zijn de locatie, allocatie, productie- en distributieplanning. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met de variabelen die buiten de controle van de organisatie kunnen vallen. Hier toont het onderzoek dat de variabelen gerelateerd aan het product de grootste impact hebben op SCND.

Als laatste worden enkele facility location modellen bestudeerd. Deze wiskundige modellen worden uitgevoerd door optimalisatietechnieken zoals linear programming, of in een simulatie waar meerdere iteraties van dezelfde case worden vergeleken om het beste resultaat te bekomen. Er bestaan vele verschillende soorten facility location modellen, elk met hun eigen unieke uitwerking. Hoewel deterministische modellen de complexiteit van een netwerkmodel drastisch verlagen, is het toch beter om een stochastisch of hybride model te gebruiken. De invloed van de variabele parameter is te groot om te negeren. Hetzelfde geldt voor de statische en dynamische modellen. Een statisch model is nuttig om een momentopname te optimaliseren. Dynamische modellen houden rekening met de variabele parameters die doorheen de tijd kunnen evolueren. De simpelste vorm van facility location modellen die worden onderzocht in deze literatuurstudie is het location covering model. Dit soort modellen kunnen gebruikt worden om het ruimtegebruik van een bepaalde omgeving te optimaliseren. Hierbij zijn de meeste gegevens beschikbaar, wat zorgt voor een lagere complexiteit. Het meest complexe model dat bestudeerd wordt maakt gebruik van continuous approximation. Dit model simuleert een volledig netwerk doorheen meerdere jaren waarin de variabele parameters drastisch kunnen veranderen.

## **Beperkingen**

Een tekortkoming van dit onderzoek is dat er niet voldoende wetenschappelijke papers beschikbaar zijn die het ontwerpen van een supply chain netwerk toepassen op een werkelijke omgeving. De meeste onderzoekers ontwerpen een model dat ze toepassen in een gesimuleerde omgeving. In de werkelijke wereld is het niet altijd mogelijk om op de perfecte locatie een distributiecentrum of productiehal te bouwen. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de bestaande infrastructuur waar de nieuwe faciliteit gebouwd wordt. Hieruit volgt de eerste aanbeveling voor verder onderzoek, namelijk het ontwerpen van een netwerkmodel dat is gebaseerd op een bestaande omgeving dat rekening houdt met de beperkingen van een bestaande infrastructuur.

Een tweede aanbeveling voor verder onderzoek is de uitwerking van vehicle routing en inventory management problemen. Naast het facility location probleem zijn de productie- en distributieplanning van een supply chain netwerk twee belangrijke aspecten binnen SCND. Eens de locatie en allocatie van de faciliteiten in een netwerk bepaald zijn kunnen deze twee aspecten als volgende geoptimaliseerd worden om een efficiënt supply chain netwerk te ontwerpen. Indien het mogelijk is kunnen alle aspecten gecombineerd worden in één model, in plaats van ze apart te optimaliseren. De dynamische werking zou ook gebruikt kunnen worden om de prestaties van een netwerk op te volgen en het continu te blijven optimaliseren om een zo hoog mogelijke efficiëntie te blijven behouden.



## Inhoudstabel

Voorwoord.....	I
Samenvatting .....	III
Lijst van figuren .....	IX
Lijst van tabellen.....	X
1 Onderzoeksplan.....	1
1.1 Probleemstelling .....	1
1.2 Onderzoeksvragen .....	2
2 Basisconcepten binnen supply chain netwerk design.....	5
2.1 Supply chain vs supply netwerk.....	5
2.2 Beslissingsniveaus en strategieën binnen supply chain netwerken.....	8
2.2.1 Beslissingsniveaus binnen supply chain netwerken .....	8
2.2.2 Strategieën voor supply chain netwerken .....	9
3 Belangrijke elementen binnen supply chain netwerk design.....	21
3.1 Supply chain drivers.....	21
3.1.1 Klantenservice initiatieven .....	21
3.1.2 Monetaire waarde.....	22
3.1.3 Informatie/kennis transacties.....	24
3.1.4 Risico-elementen.....	24
3.2 Supply chain beperkingen .....	26
3.3 Supply chain variabelen.....	27
4 Facility location modellen .....	35
4.1 Begripsverklaring i.v.m. facility location modellen .....	35
4.1.1 Deterministisch - stochastisch – hybride.....	35
4.1.2 Statisch – dynamisch .....	36
4.1.3 Ex-ante - ex-post & single period – multi-period.....	36
4.2 Bespreking facility location modellen .....	37
4.2.1 Location covering modellen.....	37
4.2.2 Capacitated facility location problemen .....	38
4.2.3 Hierarchical facility location problemen.....	39
4.2.4 Herstructurering van bestaande supply chain netwerken .....	41
4.2.5 Ontwerpen van globale netwerken.....	43
4.2.6 Simuleren van facility location modellen op lange termijn .....	45

4.2.7	Ontwerpen van een closed-loop supply chain netwerk.....	48
5	Conclusie.....	51
6	Tekortkomingen en aanbevelingen voor verder onderzoek .....	53
7	Bibliography.....	55

## Lijst van figuren

<b>Figuur 1:</b> Supply chain vs supply chain netwerk. Herdrukt van (Braziotis et al., 2013).....	6
<b>Figuur 2:</b> (a) Goederenstroom (b) Informatiestroom. Herdrukt van (Hearnshaw & Wilson, 2013).	7
<b>Figuur 3:</b> Strategieën gelinkt aan onzekerheid. Herdrukt van (Lee, 2002). .....	10
<b>Figuur 4:</b> Leagile strategie onder invloed van onzekerheden. Aangepast van (Fadaki et al., 2019). .....	16
<b>Figuur 5:</b> Reverse logistics proces. Herdrukt van (Govindan et al., 2015).....	19
<b>Figuur 6:</b> Closed-loop supply chain netwerk. Herdrukt van (Melo et al., 2009). .....	19
<b>Figuur 7:</b> Resultaat onderzoek invloed van eigenschappen. Aangepast van (Song & Sun, 2017)..	33
<b>Figuur 8:</b> Resultaat van SCLM en MCLM. Herdrukt van (Peng et al., 2016). .....	38
<b>Figuur 9:</b> Resultaat hybrid intelligence algoritme. Herdrukt van (Wen et al., 2014). .....	39
<b>Figuur 10:</b> (a) Beschikbare locaties (b) Resultaat. Aangepast van (Shavarani et al., 2018). .....	41
<b>Figuur 11:</b> Zoneverdeling Campania regio Italië. Herdrukt van (Bruno et al., 2016). .....	42
<b>Figuur 12:</b> Beschikbare locaties. Herdrukt van (Boujelben & Boulaksil, 2018). .....	44
<b>Figuur 13:</b> Eerste stap van model met CA. Herdrukt van (Wang et al., 2017). .....	46
<b>Figuur 14:</b> Tweede stap van model met CA, (a) Rechte tunnel (b) Schuine tunnel. Herdrukt van (Wang et al., 2017). .....	46
<b>Figuur 15:</b> Uitwerking derde stap van model met CA. Herdrukt van (Wang et al., 2017). .....	47
<b>Figuur 16:</b> Circulaire benadering van een servicegebied. Herdrukt van (Tsao et al., 2018). .....	48
<b>Figuur 17:</b> Verdeling van RC's. Herdrukt van (Tsao et al., 2018).....	49

## Lijst van tabellen

<b>Tabel 1:</b> Supply chain beslissingsvariabelen. Aangepast van (Min & Zhou, 2002; Govindan et al. 2015; Wang et al., 2016). .....	29
<b>Tabel 2:</b> Supply chain variabelen. Aangepast van (Song & Sun, 2017). .....	30
<b>Tabel 3:</b> Eigenschappen en variabelen. Aangepast van (Song & Sun, 2017).....	31
<b>Tabel 4:</b> Locatie en vraag van klanten bepaald door een genetisch algoritme. Herdrukt van (Wen et al., 2014). .....	39
<b>Tabel 5:</b> (a) Inschrijvingen en capaciteit per faculteiten (b) Bezettingsgraad voor en na het sluiten van faculteiten. Herdrukt van (Bruno et al., 2016).....	43







## **1 Onderzoeksplan**

In dit hoofdstuk wordt het onderzoeksplan van de masterproef besproken. Sectie 1.1 omvat de probleemstelling waarin een beeld wordt geschetst van de huidige visie op supply chain netwerkmodellen. Verder worden enkele uitdagingen in verband met het ontwerpen van een netwerkmodel aangehaald. In sectie 1.2 wordt de centrale onderzoeksvraag van de masterproef onderverdeeld in een aantal deelvragen. Ten slotte wordt de onderzoeksaanpak besproken in sectie 1.3. Hierin worden de opbouw van de verschillende onderdelen van de masterproef beschreven en hoe deze onderdelen onderzocht worden.

### **1.1 Probleemstelling**

Een supply chain netwerk is een complex gegeven van organisaties dat een reeks van onderling verbonden activiteiten aan elkaar linkt. Het netwerk verwerkt ruwe materialen tot afgewerkte producten en voegt nog een bepaalde waarde toe aan deze producten. Na het productieproces wordt gebruik gemaakt van een distributienetwerk om de finale producten bij een klant of een handelaar te bezorgen. Elke activiteit binnen het netwerk speelt een specifieke rol om het volledige proces van de supply chain te voltooien (Govindan, Fattahi, & Keyvanshokoo, 2017).

De klassieke vorm van een supply chain, de forward supply chain, bestaat uit een combinatie van processen met als doel de vraag van de klant te beantwoorden. Hiervoor zijn verschillende entiteiten nodig zoals een leverancier, producent, transporteur, magazijnbeheerder, verkoper en de klant (Govindan et al., 2015). Naast de traditionele forward supply chain bestaat het reverse logistics concept. Een reverse logistics netwerk, ook wel gekend als een recovery netwerk, heeft als doel gebruikte of defecte producten van de klanten te verzamelen om deze te repareren, recyclen of reviseren. In tegenstelling tot de forward supply chain waar downstream gewerkt wordt, zal bij reverse logistics het finaal product upstream gaan om hergebruikt te worden. Indien een forward supply chain en reverse logistics geïntegreerd worden in een netwerk, dan wordt er gesproken van een closed-loop supply chain (Govindan et al., 2017).

In de laatste 20 jaar is supply chain management opgekomen als een kritiek onderdeel in de bedrijfswereld. Door goede relaties te ontwikkelen met zowel klanten als leveranciers kan een bedrijf significante competitieve voordelen realiseren. Deze relaties creëren de mogelijkheid om afspraken te maken over bijvoorbeeld de maandelijkse hoeveelheid producten die een klant zal verwachten. Hierop kan het bedrijf zijn voorraad finale producten aanpassen. Dit heeft een invloed op de productieplanning wat op zijn beurt weer een invloed heeft op de hoeveelheid ruwe materialen die in voorraad zijn en besteld worden bij de leveranciers. Met andere woorden heeft elke factor binnen de supply chain een invloed op het volledige netwerk (Melnik, Narasimhan, & DeCampos, 2014).

Supply chain network design (SCND) is een deel van het strategisch planningsproces binnen supply chain management en focust op de infrastructuur ervan. Verschillende beslissingen zoals de locatie, grootte en capaciteit van de faciliteiten in het netwerk worden in deze modellen bepaald. Doordat SCND werkt met een tijdshorizon van drie tot vijf jaar is het mogelijk dat de voorspelde parameters zoals de totale vraag, de benodigde capaciteit en de kost van het supply chain netwerk sterk kunnen

fluctueren. Deze beslissingen zijn dan ook zeer complex en hebben een grote invloed op de volledige supply chain (Govindan et al., 2017).

Het doel van SCND is om een netwerk te ontwerpen voor nieuwe entiteiten of om bestaande supply chain netwerken te herstructureren om de totale waarde te verhogen. Het is belangrijk om te realiseren dat het netwerk van een organisatie een grote impact heeft op de supply chain efficiëntie en de tevredenheid van de klanten. Een optimaal supply chain netwerk moet ontworpen worden moet het vooruitzicht om op een lang termijn de strategische doelen van een organisatie te behalen (TompkinsSolutions, sd).

Vooraleer aan SCND begonnen kan worden moet de organisatie een strategie opstellen. Deze strategie is afhankelijk van de sector waarin het bedrijf actief is, welke meerwaarde het bedrijf aan de markt biedt, wat de doelmarkt is, wat voor producten verkocht worden en waarom klanten deze producten willen kopen. Eens deze factoren bepaald zijn kan bekeken worden wat de organisatie allemaal nodig heeft om de strategie waar te maken. De meeste organisaties maken een goed strategisch plan maar het probleem ligt bij de uitvoering ervan. Namelijk in de realiteit focussen organisaties zich enkel op de doelmarkt en het soort producten dat ze willen verkopen, niet op de meerwaarde die ze kunnen creëren. De missie en visie van het strategisch plan zijn in theorie zeer belangrijk, echter worden deze niet voldoende opgevolgd (TompkinsSolutions, sd).

SCND moet rekening houden met verschillende variabelen tijdens het ontwerpen van een netwerk. Veel van deze variabelen bevatten een bepaalde onzekerheid. Enkele parameters kunnen voorspelt worden op basis van historische data, maar deze data is niet altijd beschikbaar. De grote hoeveelheid data die verzameld wordt in een supply chain netwerk zorgt ook voor een hoge complexiteit. Bovendien is het doel van SCND niet enkel om een netwerk te ontwerpen dat nu efficiënt kan werken. Het netwerk moet zo ontworpen worden dat het flexibel genoeg is doorheen de jaren efficiënt te blijven (Mierzejewski, 2020).

## **1.2 Onderzoeksvragen**

In deze literatuurstudie wordt er nagegaan of er factoren zijn waarmee rekening gehouden moet worden tijdens het ontwerpen van een netwerkmodel. Zoals eerder vermeld werd, zijn de organisaties van een supply chain netwerk onderling sterk verbonden. Hierdoor kan een kleine verandering in één organisatie een invloed hebben op de andere onderdelen van het netwerk. Echter is het onduidelijk welke factoren de grootste invloed hebben op netwerk. Daarom luidt de centrale onderzoeksvraag als volgt:

“Welke factoren spelen een belangrijke rol binnen SCND?”

Om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden worden enkele deelvragen opgesteld. Er bestaan verschillende soorten strategieën om een supply chain uit te voeren. Deze strategieën focussen elk op een bepaald aspect van de uitwerking van een supply chain netwerk. De strategie zal bepalen hoe de locaties van de actoren ingedeeld wordt, hoe de productie en distributie plannings opgesteld worden en hoe de voorraad beheerd zal worden. Voor deze deelvraag zal onderzocht worden wat de impact van een strategie is op het ontwerpen van een supply chain netwerk. De deelvraag luidt:

“Wat is de impact van een strategie op het ontwerp van een supply chain netwerk?”

Naast de strategie die bepaald hoe een netwerk wordt uitgevoerd zal onderzocht worden welke elementen een invloed hebben op het ontwerp van een netwerkmodel. Hier worden de verschillende drivers, beperkingen en variabelen van een supply chain netwerk bekeken. De deelvraag die hier gesteld wordt is:

“Welke elementen bepalen de structuur van een supply chain netwerkmodel?”

Eens de theoretische aspecten geanalyseerd zijn wordt de focus gelegd op de wiskundige uitwerking netwerkmodellen. Volgens Melo et al. (2009), Farahani et al. (2014), Govindan et al. (2015), Melnyk et al. (2015), Govindan et al. (2017) en Tsao et al. (2018) is de locatietoewijzing het belangrijke aspect van SCND. Een standaard facility location model optimaliseert het aantal faciliteiten binnen het supply chain netwerk. Deze modellen kunnen opgelost worden door optimalisatietechnieken of door simulaties uit te voeren. Het doel van deze deelvraag is om te onderzoeken welke soorten facility location modellen bestaan en wat ze proberen te optimaliseren. De deelvraag luidt:

“Welke verschillende soorten facility location modellen bestaan en hoe wordt een supply chain netwerk geoptimaliseerd?”

### **1.3 Onderzoeksaanpak**

Het doel van deze masterproef is om een literatuurstudie te maken rond het thema supply chain network design. In de literatuurstudie worden specifieke onderdelen van supply chain management onderzocht om de centrale onderzoeksvraag en de deelvragen te kunnen beantwoorden. Hiervoor worden verschillende bronnen geraadpleegd, namelijk de Universiteitsbibliotheek Hasselt, Google Scholar, Scencedirect en Web of Science. De zoektermen worden opgedeeld in twee categorieën, namelijk de basisbegrippen en de specifieke termen. De basisbegrippen worden gebruikt om algemene papers te vinden rond het thema supply chain network design. Deze begrippen zijn: Supply chain network design, supply chain design en supply chain management. Een bijkomende zoekterm kan worden toegevoegd om naar een specifiek onderwerp te zoeken. Dit zijn woorden zoals: Framework, structure, models, strategy, resilience, performance, optimization, sustainability, reliability, uncertainty, cost, competitive, competition, distribution en transport. De specifieke termen zijn gefocust op de verschillende deelvragen, namelijk: reverse logistics, closed-loop supply chain en facility location models.

De resultaten worden gesorteerd op “Relevance” en “Times cited” om de meest relevante en correcte bronnen te vinden. Enkel papers die gepubliceerd zijn na 2005 worden gebruikt voor het onderzoek, maar op deze regel kan een uitzondering gemaakt worden indien een invloedrijke paper gevonden wordt. De wetenschappelijke papers moeten Engelstalig zijn, andere talen worden niet onderzocht. Om te bepalen of een bron geschikt is voor het onderzoek, wordt het abstract, de introductie en de conclusie gelezen.

De opbouw van de masterproef is als volgt: de literatuurstudie wordt uitgewerkt in drie hoofdstukken. Hoofdstuk 2 begint met het onderzoek naar de verschillende strategieën die toepasbaar zijn in een supply chain netwerk. In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op de verschillende elementen die een invloed hebben op de structuur van een netwerk en hoofdstuk 4 bestudeert enkele wiskundige facility location modellen. Ten slotte wordt in het vijfde hoofdstuk de conclusie geschreven om de onderzoeksvragen te beantwoorden.



## **2 Basisconcepten binnen supply chain netwerk design**

In dit hoofdstuk wordt een inleiding gegeven over enkele basisconcepten van supply chain netwerk design. Deze concepten creëren een basis waarop netwerkmodellen verder gebouwd kunnen worden. In sectie 2.1 wordt het verschil uitgelegd tussen een supply chain en een supply chain netwerk. Sectie 2.2 gaat dieper in de beslissingsniveaus en strategieën die van toepassing zijn bij het ontwerpen van een supply chain netwerk.

### **2.1 Supply chain vs supply netwerk**

Om dieper in te gaan op supply chain netwerk design (SCND) is het belangrijk dat de basisconcepten duidelijk zijn. Een supply chain en een supply netwerk zijn twee verschillende concepten, hoewel deze vaak door elkaar gebruikt worden in de literatuur. Een supply chain is een geïntegreerd systeem dat een reeks van onderling verbonden business processen synchroniseert om ruwe materialen om te vormen naar een afgewerkt product. Deze processen kunnen onderverdeeld worden in vijf categorieën: (1) inkopen van ruwe materialen en onderdelen; (2) omvormen van ruwe materialen en onderdelen naar een afgewerkt product; (3) waarde toevoegen aan deze producten; (4) de producten promoten en distribueren naar winkels of klanten; (5) informatie uitwisselen tussen de verschillende bedrijfsentiteiten zoals leveranciers, producenten, distributeurs, third-party logistics providers en handelaars (Min & Zhou, 2002).

Bovenstaande processen kunnen onder twee hoofd bedrijfsprocessen verdeeld worden, namelijk inbound en outbound logistics. Inbound logistics, ook wel materiaalbeheer genoemd, focust op de aankoop en opslag van ruwe materialen, onderdelen en afgewerkte producten. Materiaalbeheer ondersteunt de volledige cyclus van de materiaalstroom. Deze stroom omvat zowel de aankoop en interne controle van de onderdelen die nodig zijn voor de productie, als de planning en controle van work-in-process goederen. Hierna zorgt inbound logistics ook voor de opslag, verzending en distributie van de eindproducten (Min & Zhou, 2002). Outbound logistics, gekend als de fysieke distributie, regelt alle logistieke activiteiten die te maken hebben met de klantenservice zoals orderontvangst en -verwerking, inventory deployment, product opslag en behandeling, uitgaand transport, prijsstelling, promotiebeleid, afhandeling van geretourneerde producten en productlevenscyclus ondersteuning (Min & Zhou, 2002).

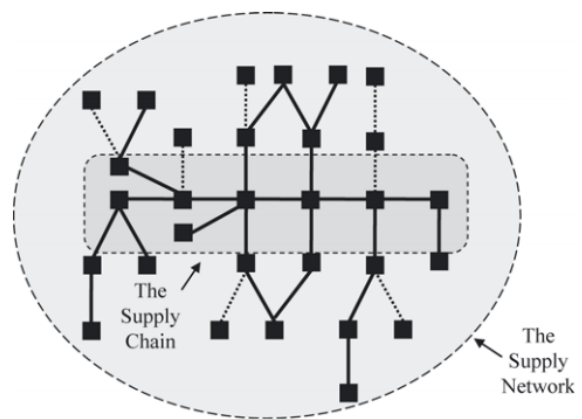
De benodigde capaciteit en de belangrijkste middelen om een supply chain competitief en winstgevend te maken zijn zelden allen aanwezig binnen één bedrijf. De waarde van een supply chain wordt gecreëerd door de samenwerking tussen de verschillende actoren. Het is belangrijk om relaties op te bouwen tussen de partners binnen een supply chain (Braziotis, Bourlakis, Rogers, & Tannock, 2013). De structuur van een supply chain dat één type product produceert kan als linear worden beschouwd namelijk, van de ruwe materialen van de leveranciers tot het eindproduct bij de klant. De complexiteit van dit soort supply chains ligt niet zo hoog, waardoor het management zich kan focussen op het coördineren van de verschillende stromen. Deze stromen zijn de fysieke goederenstroom, de stroom van informatie en de financiële stroom (Braziotis et al., 2013).

Het doel van supply chain management is om de operationele efficiëntie, winstgevendheid en competitiviteit van een bedrijf en zijn supply chain partners te verbeteren (Min & Zhou, 2002). Supply

chains kunnen als competitief gezien worden wanneer hun producten of diensten op dezelfde markt concurreren als hun concurrenten. Dit geldt voor zowel directe als indirecte substituten. Om de competitiviteit van een supply chain te verbeteren is het belangrijk dat alle leden elkaar ondersteunen en overeenkomen over de opgestelde doelen. Door gebruik te maken van coöperatie, collaboratie en coördinatie tussen de verschillende entiteiten binnen een supply chain is het mogelijk om de relaties van de leveranciers tot en met de klanten te verbeteren. Deze wederzijds voordelige relaties zorgen voor een hogere waarde van het eindproduct en de supply chain. Het is dus voor elke actor voordelig dat de uitvoering van de supply chain zo optimaal mogelijk gebeurt (Braziotis et al., 2013).

Wanneer een organisatie verschillende soorten producten of services aanbiedt, dan is het mogelijk dat deze organisatie een onderdeel is van meerdere supply chains. Een supply netwerk wordt gezien als een breder, gedetailleerd overzicht van één of meerdere supply chains. De focus van een supply netwerk ligt op het web van relaties tussen de verschillende actoren. In tegenstelling tot een supply chain, waar enkel de kernleden belangrijk zijn, wordt in een supply netwerk ook rekening gehouden met indirecte relaties, dochterondernemingen en satelliet organisaties (Braziotis et al., 2013).

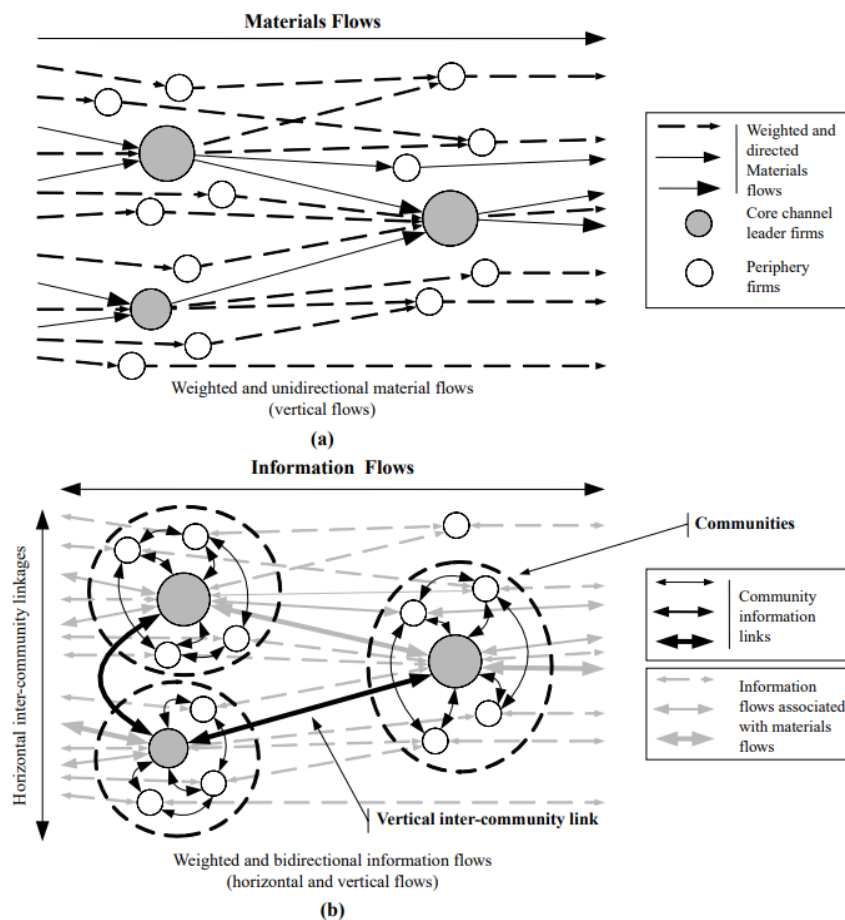
Een supply chain netwerk kan voorgesteld worden door een reeks van knooppunten en verbindingen. Elk knooppunt geeft een onafhankelijke organisatie weer. Een verbinding tussen twee punten toont een relatie tussen twee organisaties (Hearnshaw & Wilson, 2013). Sommige leden in een supply netwerk zijn actief, terwijl andere inactief zijn. In figuur 1 (Braziotis et al., 2013) worden actieve relaties voorgesteld door een volle lijn, en inactieve relaties door een stippellijn. Een voorbeeld van een inactieve relatie is een situatie waarin een supply chain gebruik maakt van dual of multi-sourcing. Een bepaald soort onderdeel wordt bij een specifieke leverancier aangekocht, deze leverancier is actief binnen het netwerk. Indien de actieve leverancier niet voldoende onderdelen kan leveren, dan wordt er aanspraak gedaan op de inactieve leverancier om het tekort aan te vullen. Volgens Braziotis et al. (2013) is het supply netwerk van uiterst belang voor de core supply chain leden, maar het is ook een significant voordeel voor de inactieve leden. Goede relaties met inactieve leden kunnen strategische voordelen creëren wanneer deze leden beschikbaar zijn in geval van nood (Braziotis et al., 2013).



**Figuur 1:** Supply chain vs supply chain netwerk. Herdrukt van (Braziotis et al., 2013).

De soorten relaties tussen supply chain partners kunnen beschouwd worden als één van de drie eerder vermelde stromen, namelijk de fysieke goederenstroom, de stroom van informatie en de financiële stroom. Deze drie stromen spelen een kritieke rol in de werking van een supply netwerk. Op Figuur 2 (Hearnshaw & Wilson, 2013) worden de kern organisaties van het netwerk weergegeven door de grijze cirkels. De witte cirkels zijn de partners die indirect gelinkt zijn aan de supply chain. Figuur 2a (Hearnshaw & Wilson, 2013) toont de fysieke goederenstroom. Deze stroom loopt meestal

in één richting, namelijk van de initiële leveranciers tot de eindklanten. Aan de hand van de overvloed aan pijlen die het netwerk binnen komen wordt het duidelijk weergegeven dat er meerdere leveranciers verbonden zijn met het netwerk. Hetzelfde geldt voor de klanten. De grote hoeveelheid uitgaande pijlen toont de verschillende manieren waarop de consumenten het eindproduct kunnen verkrijgen. De financiële stroom loopt in de tegenovergestelde richting van de fysieke materiaalstroom. De klant betaalt voor het eindproduct en deze inkomsten maken hun weg terug naar de initiële leveranciers om te betalen voor de ruwe materialen of componenten (Hearnshaw & Wilson, 2013).



**Figuur 2:** (a) Goederenstroom (b) Informatiestroom. Herdrukt van (Hearnshaw & Wilson, 2013).

De stroom van informatie loopt in twee richtingen, zowel upstream als downstream. Dit wordt weergegeven in figuur 2b (Hearnshaw & Wilson, 2013). Naast de verticale linken kan in een netwerk ook horizontaal met elkaar gecommuniceerd worden. Hearnshaw en Wilson (2013) maken gebruik van het concept "communities" binnen een supply chain netwerk. Een community of gemeenschap binnen een supply chain is een groep van bedrijven die dezelfde taken uitvoeren. Binnen deze communities wordt veel gebruik gemaakt van horizontale informatiestromen. Het is ook mogelijk dat twee verschillende communities een horizontale connectie met elkaar onderhouden. Een voorbeeld van dit soort verbindingen ontstaat wanneer twee aparte communities elk een onderdeel maken voor het eindproduct. Indien community A zijn component moet aanpassen, dan kan dit een invloed hebben op het component van community B. Door gebruik te maken van een horizontale informatiestroom zal community A deze verandering rechtstreeks kunnen doorgeven aan community



B in plaats van dit indirect via de assemblagefabriek over te brengen. De dubbele verticale informatiestroom wordt met andere woorden vervangen door een enkele horizontale informatiestroom (Hearnshaw & Wilson, 2013).

Een belangrijke opmerking in dit voorbeeld is dat dit supply chain netwerk veel gebruik maakt van indirecte relaties. Naast de kern organisatie binnen een community worden de indirecte partners gebruikt om de flexibiliteit en snelheid van het netwerk te verbeteren. Het is dan ook mogelijk dat een indirecte partner voor een lange tijd inactief is binnen dit supply chain netwerk indien de vraag niet hoog genoeg is (Hearnshaw & Wilson, 2013). De flexibiliteit van de indirecte leden zorgt voor het dynamische aspect van een supply netwerk. Braziotis et al. (2013) noemen een netwerk ook complex, gebaseerd op vertrouwen, niet-lineair en uitgebreid. Door deze kenmerken is een supply netwerk minder voorspelbaar wat nogmaals de nadruk legt op het belang van een efficiënte stroom van informatie.

Kort samengevat omvat een supply chain verschillende ondernemingen die samenwerken om een product of service te ontwerpen, produceren, distribueren en commercialiseren met als doel zoveel mogelijk winst te maken. Een supply netwerk is een web van supply chains en bijbehorende satelliet ondernemingen met een verhoogde complexiteit van relaties tussen de verschillende ondernemingen. Dit vraagt om essentiële uitwisseling van informatie tussen de actoren om het supply netwerk zo efficiënt mogelijk te doen werken (Braziotis et al., 2013).

Meerdere geraadpleegde onderzoek papers gebruiken de termen "supply chain" en "supply netwerk" door elkaar. Hierdoor zal in het vervolg van deze literatuurstudie de term "supply chain netwerk" gebruikt worden als overkoepelende term om verwarring te vermijden.

## **2.2 Beslissingsniveaus en strategieën binnen supply chain netwerken**

In sectie 2.2.1 wordt een opsplitsing gemaakt tussen drie beslissingsniveaus die van toepassing zijn in het organiseren van supply chain netwerken. Hier zal onderzocht worden hoe deze drie niveaus tegenover elkaar staan en welke beslissingen in verband met bepaalde aspecten van het netwerk toebehoren aan een bepaald niveau. Sectie 2.2.2 gaat dieper in op de verschillende strategieën die kunnen toegepast worden in het ontwerp van een supply chain netwerk. In dit onderdeel ligt de focus op de invloed die een strategie heeft op de verschillende aspecten van een supply chain netwerk.

### **2.2.1 Beslissingsniveaus binnen supply chain netwerken**

Plannen binnen supply chain management kunnen opgesplitst worden in drie beslissingsniveaus, namelijk strategisch, tactisch en operationeel. Strategische beslissingen worden gemaakt met een vooruitzicht van drie tot vijf jaar, op het tactisch niveau gaat het om een tijdshorizon van drie maanden tot en met drie jaar, en het operationele beslissingsniveau werkt binnen één uur tot een trimester (Farahani et al., 2014).

Strategische supply chain analyse focust op twee grote vlakken binnen supply chain management, namelijk netwerk design en product development (Wang, Gunasekaran, Ngai, & Papadopoulos, 2016). Deze twee vlakken bevatten verschillende problemen zoals locatie toewijzing, demand planning, planning van de distributiekkanalen, contracten met strategische partners,

infrastructuurplanning, productontwerp, outsourcing van product specifieke behandelingen, selectie van de leverancier, prijszetting en het herstructureren van het supply chain netwerk (Min & Zhou, 2002). Plannen op het strategisch niveau worden vaak gelinkt met zeer grote investeringen. Dit komt door de lange tijdshorizon van drie tot vijf jaar waarin deze plannen uitgewerkt worden. Om een strategisch plan op te stellen, moeten projectteams rekening houden met verschillende variabelen die kunnen variëren over de lange tijdsperiode. Enkele voorbeelden van deze variabelen zijn de vraag van de klanten, het beschikbare aanbod van grondstoffen, de voorraad van afgewerkte producten en de totale kost van het supply chain netwerk. Een verkeerde inschatting in het modelleringsproces door onnauwkeurige voorspellingen of metingen hebben grote langetermijneffecten voor het volledige netwerk (Govindan et al., 2017). Eens de plannen in gang gezet zijn, is het moeilijk om dit proces te stoppen aangezien de investeringen al gemaakt zijn. Het is daarom van uiterst belang om de supply chain performance in elk aspect op te volgen om de variabiliteit van een strategisch plan te minimaliseren (Wang et al., 2016).

Hoewel de meest complexe problemen binnen supply chain netwerken van strategische aard zijn, bestaan er ook enkele belangrijke tactische en operationele problemen. Enkele voorbeelden van tactische vraagstukken zijn voorraadbeheer, coördinatie van productie en distributie, order en vracht consolidatie, inspectie van grondstoffen en afgewerkte producten, selectie van apparatuur of transportmiddelen en de lay-out van de werkvloer of productieprocessen ontwerpen (Min & Zhou, 2002). De tactische planning focust dus meer op de specifieke processen binnen een supply chain netwerk om de kosten en risico's te minimaliseren. Dit niveau houdt vooral rekening met de vraag van de klant met als doel om deze te beantwoorden met een zo hoog mogelijke kwaliteit (Wang et al., 2016).

Het operationele niveau omvat de meest voorkomende problemen binnen supply chain management. Dit is omdat het dagelijkse processen probeert te optimaliseren. Enkele voorbeelden van optimalisaties op operationeel niveau zijn routeplanning van transport, personeelsplanning, prijszetting, verpakken en capaciteitsbeheer van afgewerkte goederen en klantenservice (Min & Zhou, 2002). Op het operationeel niveau is het belangrijk om rekening te houden met de strategische en tactische doelstellingen van het supply chain netwerk. Ook al hebben de strategische en tactische beslissingen een grote invloed op het hele netwerk, operationele beslissingen zorgen ervoor dat het netwerk dag tot dag kan blijven functioneren (Wang et al., 2016).

Het is wel van belang om te vermelden dat de bovenstaande onderscheidingen niet altijd even duidelijk zijn. Sommige beslissingen overlappen in beslissingsniveaus door de hiërarchische structuur van een bestaand supply chain netwerk (Min & Zhou, 2002).

### **2.2.2 Strategieën voor supply chain netwerken**

Het initiële doel van een supply chain netwerk is om te voldoen aan de vraag van de markt, de functionaliteit van processen binnen de supply chain en de toegankelijkheid van middelen van het netwerk. SCND probeert deze drie doelen te optimaliseren tegen een zo laag mogelijke kost, maar de doelstellingen van een bedrijf hebben ook een invloed op SCND. Een organisatie kan enkel succesvol zijn op de markt door een geschikte competitieve strategie toe te passen die in lijn is met het ontwerp van hun supply chain netwerk. Het bepalen van deze strategie is de eerste stap in het ontwerpen van een netwerkmodel. Deze strategie beïnvloedt de beslissingsvariabelen en zal bepalen

hoe bepaalde middelen ingezet worden doorheen het netwerk. Een goede fit tussen de strategie en het ontwerp zorgt dan ook voor competitieve voordelen op de markt (Govindan et al., 2017).

In de voorbije dertig jaar zijn verschillende supply chain strategieën onderzocht, elk met zijn voor- en nadelen. In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de meest voorkomende strategieën die ook in de bedrijfs wereld worden toegepast. Figuur 3 (Lee, 2002) geeft een overzicht weer van enkele strategieën die in dit hoofdstuk besproken gaan worden en hoe ze verbonden zijn met de onzekerheid van de aankoop- en verkoopzijde van een supply chain netwerk.

		<b>Demand Uncertainty</b>	
		Low (Functional Products)	High (Innovative Products)
Supply Uncertainty	Low (Stable Process)	Efficient supply chains	Responsive supply chains
	High (Evolving Process)	Risk-hedging supply chains	Agile supply chains

**Figuur 3:** Strategieën gelinkt aan onzekerheid. Herdrukt van (Lee, 2002).

### 2.2.2.1 Lean/Efficiënt

Efficiënte supply chain netwerken zijn gebaseerd op het lean concept. Dit concept is afkomstig van de lean production filosofie waar de primaire focus ligt op het elimineren van niet-waarde toevoegende activiteiten. Deze strategie streeft naar de hoogste kostefficiëntie en de minimalisering van kosten binnen het netwerk (Farahani, Rezapour, Drezner, & Fallah, 2014). Om een hoge kost efficiëntie te bereiken moeten naast de eliminatie van de niet-waarde toevoegende activiteiten ook schaalvoordelen opgezocht worden en optimalisatietechnieken toegepast worden om de beste capaciteitsbenutting te behalen in distributie en productie. Het is ook belangrijk dat de stroom van informatie zo efficiënt, accuraat en effectief mogelijk is bij elke stap van het supply chain netwerk. Hiermee wordt vanaf de componenten bij de leveranciers tot de levering van afgewerkte producten bij de eindgebruiker bedoeld. De toegankelijkheid tot het internet maakt het makkelijker om een efficiënte informatiestroom te ontwerpen, waardoor elke actor in het netwerk in real time toegang heeft tot de nodige gegevens. Hierdoor kunnen productie en distributie plannings geoptimaliseerd worden gebaseerd op de vraag, voorraad en capaciteit van het supply chain netwerk (Lee, 2002).

Anand en Kodali (2008) hebben enkele basisprincipes van lean manufacturing onderzocht en toegepast op een supply chain netwerk. De specifieke waarde die een netwerk aanbiedt kan gezien worden als aan de juiste klant het juiste product met de juiste kwaliteit, die voldoet aan de vereisten van de klant, op het juiste moment en op de juiste plaats leveren tegen en zo laag mogelijke kost. Om dit correct te laten verlopen is het belangrijk om een efficiënte stroom te ontwerpen, van leverancier naar producent, magazijn, verkoper tot de klant en dit zonder onnodige opstoppingen, schade of afval. Vervolgens kunnen efficiënte supply chain netwerken best met het pull principe werken. Dit gaat verder dan enkel het produceren van goederen. Het pull principe wijst op de

trapsgewijze organisatie van activiteiten binnen een supply chain netwerk waarbij geen enkele handeling, van downstream tot upstream, wordt uitgevoerd tot de klant downstream naar een product vraagt. Eens het verzoek naar goederen bevestigd is, kan de leverancier upstream het proces doen starten door de nodige componenten te leveren aan de producent. Het laatste basisprincipe dat Anand en Kodali (2008) aanhalen is het streven naar perfectie. Dit wijst op de continue verbetering van de stromen binnen een netwerk om materiële en informationele verspillingen te beperken of zelfs elimineren.

Binnen een supply chain netwerk kunnen verschillende dingen als verspilling gezien worden. Het gaat hier niet specifiek over afval maar over het verlies van efficiëntie binnen het lean supply chain concept. Het eerste type verspilling is overproductie en te vroege productie. In dit geval wordt er meer geproduceerd dan wat op dat moment gevraagd wordt door de volgende stap in het productieproces of door de klanten. Het is ook mogelijk dat er te veel productvarianties zijn waardoor de vraag naar deze specifieke modellen te laag is om een kosteneffectieve productieplanning op te stellen. Het volgende probleem is nauw verwant met overproductie, namelijk onnodige voorraad behouden. Een te grote buffer tussen de verschillende stappen in het supply chain netwerk creëert een overbodige kost. Het magazijn loopt ook het risico dat sommige onderdelen of ontwerpen verouderen en dus niet meer bruikbaar zijn. Indien een magazijn ver verwijderd is van andere partners in het netwerk, dan zal hier wel een grotere voorraad aangehouden moeten worden. Dit omdat de transportkosten voor een efficiënte voorraad te behouden hoger zijn dan de extra voorraadkosten (Anand & Kodali, 2008).

Onnodige transporten of verplaatsingen zorgen ook voor een lagere efficiëntie van het netwerk. Een slechte productieplanning creëert een te hoge frequentie van ontvangen leveringen van de leveranciers en een slechte distributieplanning zorgt voor een hoge frequentie van uitgaande leveringen aan klanten of verdelers. Door een slechte planning zal de capaciteit van een transportmiddel niet optimaal gebruikt worden, wat zorgt voor een hogere kost. Onnodige verplaatsingen kunnen ook op een kleinere schaal bekeken worden, namelijk bij magazijnbeheer. Door de lay-out van een magazijn slecht in te richten gaan de pickers een langere afstand moeten afleggen (Anand & Kodali, 2008).

Vertragingen en wachttijden zijn het laatste voorbeeld van een verspilling binnen supply chain netwerken. Een vertraging in de levering van componenten heeft als gevolg dat het productieproces tot stilstand komt. Dit kan voorkomen worden door een buffer aan te houden maar zoals eerder vermeld zorgt een te grote buffer voor extra kosten. Een slechte organisatie van de informatiestroom kan vertragingen veroorzaken wanneer de leverancier of producent moet wachten op een bevestiging om te mogen produceren. Om dit proces te versnellen kan aan alle nodige partijen toegang gegeven worden tot de vraag en voorraadcijfers zodat de productie proactief, in plaats van reactief gestart kan worden (Anand & Kodali, 2008).

Een supply chain netwerk dat producten levert, en waarvan de supply processen stabiel zijn, kan volgens Lee (2002) optimaal gebruik maken van het lean of efficiënte concept. Zie Figuur 3 (Lee, 2002). Door de lage onzekerheid in het aanbod van componenten of grondstoffen en de vraag van de klant of markt zijn er maar twee onderdelen die geoptimaliseerd kunnen worden, namelijk de kosten en de coördinatie van informatiestromen. De stabiele vraag geeft bedrijven een kans om de

efficiëntie van het netwerk te verbeteren en de kosten te minimaliseren waardoor ze een competitief voordeel kunnen behalen op de markt. Een hoge kostenefficiëntie kan behaald worden door de productiviteit te verhogen door gebruik te maken van automatisatie, schaalvoordelen, just in time systemen en gestroomlijnde productieprocessen. Efficiënte supply chain netwerken kunnen vergeleken worden met de bekende Japanse productiebedrijven zoals Toyota die gekend zijn om hun lean manufacturing systemen (Lee, 2002).

#### **2.2.2.2 Risk-hedging**

Risk-hedging supply chain netwerken limiteren het risico op verstoringen in het netwerk door verschillende middelen te bundelen en te delen met de leden van het netwerk. Een bekende methode hiervan is de inventory pooling strategie. Een enkele entiteit in een netwerk kan kwetsbaar zijn voor een verstoring. Door meerdere opties van de verschillende stappen in het productie- of distributieproces beschikbaar te hebben, wordt het risico dat het supply chain netwerk loopt verlaagd. Het is een mogelijkheid om de safety stock van een belangrijk onderdeel te verhogen en deze te verspreiden over meerdere productielocaties. Op deze manier wordt het risico op een tekort aan het onderdeel verlaagd, en de kosten verbonden aan de hogere safety stock worden gedeeld (Lee, 2002).

Inventory pooling strategieën komen veel voor in de kleding sector. De wachttijd tussen de bestelling van een handelaar en het ontvangen van de bestelling kan tot twaalf maanden duren in deze sector. Deze lange doorlooptijden doen de onzekerheid en variabiliteit tussen vraag en aanbod stijgen. Hierdoor moet een hogere voorraad behouden worden om tekorten te vermijden (Liu, Chen, Li, & Zhai, 2014). Door een inventory pooling strategie toe te passen kunnen de verschillende verkooppunten een gemeenschappelijke voorraad beheren, die verspreid is over de verschillende winkels. Indien een verkooppunt A een gebrek heeft aan een product, dan kan een verkooppunt B die extra voorraad heeft enkele stukken laten overbrengen naar verkooppunt A. Op deze manier worden zowel de voorraadkosten als het risico op tekorten gelimiteerd (Lee, 2002).

Handelaars die in een sector zitten met lange doorlooptijden moeten vaak bestellingen plaatsen zonder te weten welke hoeveelheid de markt zal gaan vragen. De producenten moeten in staat zijn om grondstoffen en componenten te verkrijgen, productie plannen te maken en voldoende capaciteit op te bouwen voor het verkoopseizoen begint. In markten waar de vraag een grote onzekerheid is, kan het moeilijk zijn om de vraag af te stemmen op het aanbod. Producenten willen zo snel mogelijk een bestelling ontvangen om te garanderen dat alles geproduceerd kan worden, terwijl de handelaars liever zo lang mogelijk wachten met een bestelling te plaatsen om meer zekerheid te hebben over de vraag van de markt (Liu et al., 2014). Om deze mismatch te beperken hebben Liu et al. (2014) twee methodes onderzocht waarbij geen enkele partij te zwaar benadeeld wordt, namelijk optiecontracten en korting voor vervroegde aankopen.

Contracten in verband met kortingen voor vervroegde aankopen worden aangeboden door de producenten om handelaars aan te sporen om hun bestellingen sneller te plaatsen. Met dit soort contract biedt de producent twee prijzen aan voor zijn producten. Een verlaagde prijs voor goederen die besteld worden voor het begin van het verkoopseizoen, en een gewone prijs voor goederen die besteld worden tijdens het verkoopseizoen. Met dit concept zal de handelaar een hogere

voorraadkosten moeten betalen als hij op voorhand producten besteld heeft, met het voordeel dat het tegen een verlaagde prijs is. Het nadeel hiervan is dat de kans bestaat dat niet alle producten verkocht worden tijdens het verkoopseizoen. Dan zal de handelaar het voordeel van de verlaagde prijs ook verliezen. Langs de andere kant moet de producent ook een trade off maken. Hij kan enkel produceren wat op voorhand besteld is, met het risico dat het volledige supply chain netwerk een tekort heeft als de vraag groter is dan voorspeld. Ofwel produceert hij een buffer, maar dan moet hij alle kosten dragen van de geproduceerde goederen die niet bijbesteld zijn tijdens het verkoopseizoen (Liu et al., 2014).

Optiecontracten, gekend uit de financiële wereld, kunnen ook gebruikt worden om de onzekerheid tussen het verschil van vraag en aanbod te limiteren. Een optie contract is een onderhandeling tussen twee partijen voor een transactie die in de toekomst zal gebeuren. De prijs van de goederen wordt op voorhand bepaald. Onder het contract heeft de handelaar, de koper van de optie, het recht, niet de plicht, om in te gaan op het aanbod van de producent. De producent, de verkoper van de optie, is verplicht om de bestelling van de handelaar te vervullen. In dit concept draagt de producent het risico op overblijvende voorraad. De handelaar betaalt een vergoeding voor het kopen van de optie, onafhankelijk van het feit dat hij ingaat op het contract of niet. Zowel de Europese als Amerikaanse opties worden gebruikt om het risico van onzekere vraag af te dekken. Een Europese optie mag enkel uitgeoefend worden op de vervaldatum van de optie, een Amerikaanse optie mag op elk moment voor de vervaldatum uitgeoefend worden (Liu et al., 2014).

Rationeel gezien zal een producent die een contract met korting voor vervroegde aankopen aanbiedt meer produceren dan wat de handelaar besteld. Dit omdat de handelaar tijdens het verkoopseizoen nog kan bijbestellen tegen een hogere aankoopprijs indien de vraag groter is dan de initiële bestelde hoeveelheid. De producent zal enkel een verlies lijden wanneer de vraag lager is dan de geproduceerde hoeveelheid. Vanuit het perspectief van de handelaar zal de winst altijd lager zijn als de vraag zowel hoger als lager is dan de bestelde hoeveelheid. Wanneer de vraag hoger is, dan zal de handelaar moeten bijbestellen tegen een hogere aankoopprijs. Wanneer de vraag lager is, dan zijn de voorraadkosten hoger. Met optiecontracten kan de producent de optie prijs optimaliseren en de handelaar kan een geschatte hoeveelheid voor het verkoopseizoen doorgeven. De producent kan dan een productieplanning opstellen gebaseerd op deze geschatte hoeveelheid. Eens het verkoopseizoen begint kan de handelaar de optie uitoefenen en al zijn klanten bedienen. De producent draagt hier het voorraadrisico, terwijl de handelaar meer betaald voor de goederen zonder het risico op stock outs of overblijvende stock te moeten lopen. Algemeen gezien zal een producent altijd een voorkeur hebben voor contracten met korting voor vervroegde aankopen en een handelaar zal altijd kiezen voor een optiecontract (Liu et al., 2014).

Naast het limiteren van de onbalans tussen vraag en aanbod, die veroorzaakt wordt door de onzekere vraag, is het ook mogelijk om een risk-hedging supply chain netwerk te gebruiken om een nieuw netwerk stabiel te maken. Nieuwe netwerken, waarin de supply processen nog opgebouwd en geoptimaliseerd moeten worden, kunnen met onzekerheid te maken hebben. De opbrengst is nog niet gekend, productie- en distributieprocessen zijn instabiel en leveranciers kunnen onbetrouwbaar zijn waardoor de levertijden variëren. Al deze problemen moeten gelimiteerd worden om de vraag van de markt te kunnen beantwoorden. In dit geval kan de inventory pooling strategie zeer effectief

zijn. Door op meerdere punten in het netwerk een extra buffer voorraad aan te houden worden de risico's gelimiteerd. De kost van het netwerk zal wel hoger liggen, maar de vraag zal gegarandeerd beantwoord kunnen worden. Voor supply chain netwerken die producten met een lage waarden produceren is deze manier van risico hedging zeker de moeite waard, aangezien de extra voorraadkosten relatief laag gaan zijn (Lee, 2002).

### **2.2.2.3 Agile & Responsive**

Agile en responsive supply chain netwerken zijn twee nauw verwante concepten. Beide zijn ontstaan in reactie op de stijgende volatiliteit van de competitieve markten waar de vraag van de klant steeds sneller veranderd. Naast economische doelstellingen proberen bedrijven een competitief voordeel te behalen door een hoge responsiviteit of agility te garanderen. Er bestaan meerdere definities van deze concepten. Voor sommige bedrijven betekent agility de mogelijkheid te hebben om snel nieuwe innovatieve producten te ontwerpen, produceren en op de markt te brengen. Andere streven naar een korte levertijden, hoge service levels of een breed assortiment. Een agile of responsive supply chain netwerk moet dus zeer flexibel zijn om te kunnen reageren op de veranderingen van de markt of de eisen van de klant (Farahani et al., 2014a; Govindan et al., 2017).

Het optimaliseren van een agile of responsive netwerk kan door het minimaliseren van levertijden, het maximaliseren van service rate van de vraag van de markt en het minimaliseren van de vertragingen tijdens de distributie (Govindan et al., 2017). Het fundamentele verschil tussen een standaard supply chain netwerk en het agile of responsive concept is de overgang van statische naar dynamische systemen. Statische systemen maken gebruik van gegroepeerde informatiestromen en een periodieke besluitvorming met op voorhand bepaalde tijdsloten waarin deze beslissingen gemaakt moeten worden. Dynamische systemen hebben een constante stroom van informatie. Dit is nodig om snel en efficiënt beslissingen en veranderingen door te voeren. De uitdaging in het ontwerpen van een agile of responsive supply chain netwerk zit in de balans te vinden tussen de twee extremen, namelijk perfect lean en instant response (Baramichai, Zimmers, & Marangos, 2007). Hoge flexibiliteit garanderen komt met een hoge kost, vandaar dat het belangrijk is om een goede balans en een kosteneffectieve oplossing te vinden die past bij de markt waar het bedrijf in actief is (Gunasekaran, Lai, & Cheng, 2008).

Gunasekaran et al. (2008) hebben drie factoren onderzocht die een belangrijke rol spelen in het ontwikkelen van een agile of responsive supply chain netwerk: strategische planning, virtual enterprise en kennis & IT. Strategisch plannen houdt rekening met de lange termijn doelen van een onderneming tijdens het bepalen van het operationele bedrijfsbeleid. Om een hoge responsiviteit te bekomen en behouden is het mogelijk dat een bestaand supply chain netwerk radicale veranderingen zal moeten uitvoeren. Productie- en distributieprocessen moeten volledig geherstructureerd worden om te voldoen aan de vraag van de volatiele markt waarin de onderneming actief is. Om deze soort veranderingen door te kunnen voeren moet het volledige supply chain netwerk achter de herstructurering staan. Zowel op technisch als financieel gebied. Zelfs andere bedrijven in samenwerkend verband met het netwerk moeten bereid zijn om aanpassingen te maken (Gunasekaran et al., 2008).

Virtual enterprise is een type simulatie dat een digitaal model maakt van de productie- en distributieprocessen in de echte wereld. Dit model wordt gebruikt om voorspellingen te analyseren

en te bestuderen om beter voorbereid te zijn op onverwachte veranderingen in de markt (Gunasekaran et al., 2008). Virtual enterprise gaat hand in hand met kennis & IT. Door gebruik te maken van een data management framework heeft een supply chain netwerk toegang tot alle data rond productie, distributie, vraag, voorraad, etc. in één centrale database. Dit maakt het mogelijk om belangrijke gegevens, informatie en kennis efficiënt te gebruiken om belangrijke beslissingen te maken rond de kern activiteiten van het netwerk. Problemen kunnen sneller opgelost worden en aanpassingen kunnen sneller gemaakt worden door gebruik te maken van een gedeeld informatieplatform (Gunasekaran et al., 2008).

Lee (2002) maakt een onderscheid tussen agile en responsive supply chain netwerken. Beide concepten hebben de gemeenschappelijke focus op de flexibiliteit om snel te kunnen reageren op de snel veranderende klanteneisen. Het responsive concept gebruikt build-to-order en mass customization processen om de specifieke vereisten van de klant met een hoge nauwkeurigheid te kunnen beantwoorden. Bedrijven die innovatieve producten met een zeer onvoorspelbare vraag verkopen, kunnen snel een grote voorraad oplopen. De levenscyclus van deze producten is vrij kort, waardoor de extra voorraadkosten significant zijn. Indien het netwerk stabiele supply processen heeft kan het gebruik maken van een responsive supply chain netwerk, zie Figuur 3 (Lee, 2002). Hierdoor is de nood voor accurate voorspellingen van de vraag en productieplanningen lager en kan gebruik gemaakt worden van een uitstelling van de assemblage om build-to-order strategieën toe te passen in de productie. Dell was vroeger bekend om deze strategie. De computerproducent had een breed assortiment van zeer modulaire computers waarbij alle verschillende onderdelen op voorhand geproduceerd en geleverd werden. Eens een bestelling bevestigd was, werd de laatste stap van de productie gestart om alle onderdelen samen te voegen. Op deze manier was het simpel en betrouwbaar om de vraag snel te beantwoorden (Lee, 2002).

Het agile concept combineert de sterke punten van risk-hedging en responsive door snel te reageren op de diverse, onvoorspelbare vraag van de markt terwijl het risico op tekorten en verstoringen wordt geminimaliseerd. Dit wordt gedaan door onderdelen van meerdere leveranciers te ontvangen, om snel over te kunnen schakelen naar de volgende vereisten zonder een tekort aan onderdelen te riskeren. Agile supply chain netwerken zijn dus bedrijven die innovatieve, snel evoluerende producten produceren met onstabiele supply processen. Xilinx Inc. is een voorbeeld van een bedrijf dat het agile concept heeft toegepast op zijn supply chain netwerk. Xilinx Inc. is een semiconductor producent, gespecialiseerd in het ontwerpen van high-end integrated circuits. Deze specifieke chips vereisen een zeer geavanceerd productieproces dat continu evolueert en niet zomaar ergens opgebouwd kan worden. Hierdoor heeft Xilinx Inc. zeer hechte partners die onderdelen maken van de circuits zodat Xilinx Inc. zich kan focussen op R&D (Lee, 2002).

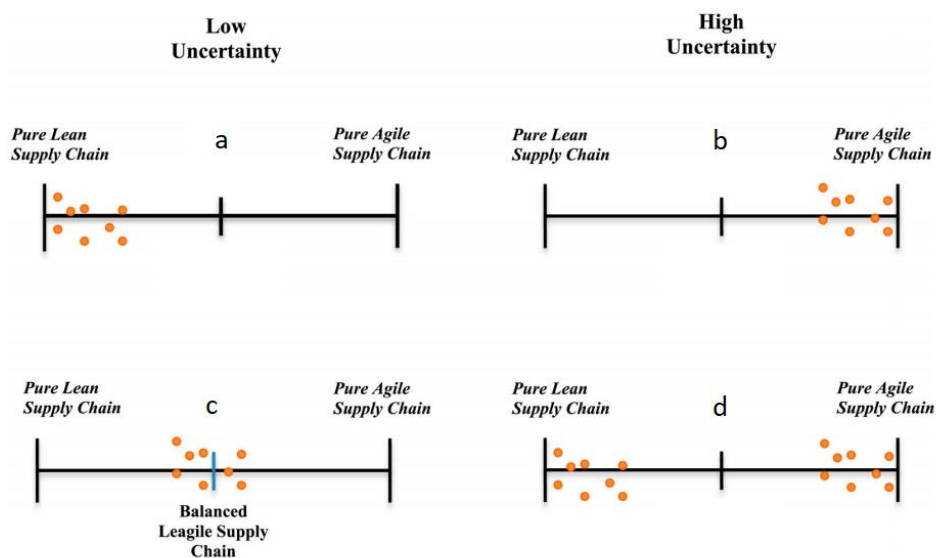
#### **2.2.2.4 Hybrid – Leagile**

In sommige supply chain netwerken is het mogelijk dat een van de bovenstaande strategieën uitsluitend gebruikt wordt, maar realistisch gezien is het vaak beter om twee strategieën te combineren. Een voorbeeld van zo een combinatie is het leagile concept. Dit is een combinatie van de lean en agile strategie die streeft naar een zo hoog mogelijk service level op een kostenefficiënte manier (Routroy, 2010).



Bij een leagile strategie is het van belang dat het bedrijf de eisen van de klant begrijpt, en deze kennis kan gebruiken om een hoog aanpassingsvermogen te garanderen. Leveranciers in een leagile netwerk worden gekozen op basis van een lage prijs en hoge kwaliteit, in combinatie met de mogelijkheid om snel en flexibel te leveren wanneer dit nodig is. De lead times van de componenten volgen het lean concept, zo kort mogelijk zonder dat de prijs te fel stijgt. In de levertijden van de afgewerkte producten wordt agressief geïnvesteerd. De tijd dat een klant op zijn product moet wachten moet zo kort mogelijk zijn. De productie en het product ontwerp gebruiken ook een combinatie van de lean en agile concepten. Het begin van het productieproces focust op een hoge bezettingsratio, terwijl op het einde meer buffervoorraden worden aangehouden voor mass customisation. De producten hebben een modulair ontwerp om in de beginfase van de productie de kosten te minimaliseren, en de productiviteit te maximaliseren. Dit modulair ontwerp geeft bedrijven de mogelijkheid om productdifferentiatie uit te stellen tot de laatste stap van het productieproces (Routroy, 2010).

Fadaki, Rahman en Chan (2019) hebben onderzocht hoe een leagile supply chain netwerk reageert op onzekerheden. De traditionele concepten, lean en agile, tonen aan dat wanneer een supply chain netwerk actief is in een sector met lage onzekerheid, dat het een voorkeur zal hebben voor een lean strategie. Indien het netwerk veel onzekerheden ervaart, zal het kiezen voor een agile strategie. Dit wordt aangegeven in figuur 4a en 4b (Fadaki et al., 2019) en het komt overeen met het onderzoek van Lee (2002), zie Figuur 3 (Lee, 2002). Een bedrijf dat gebruik maakt van het leagile concept zal in een supply chain netwerk met lage onzekerheid een balans kunnen creëren tussen lean en agile, zie figuur 4c. Het valt op dat bedrijven met de leagile strategie in onzekere markten niet altijd dezelfde tactiek toepassen. Sommige verkiezen een grote focus op leanness, terwijl andere een voorkeur hebben voor responsiviteit. Dit wordt weergegeven in figuur 4d. Uit het onderzoek blijkt dat bedrijven met een evenwichtige verdeling tussen lean en agile betere resultaten behalen, maar dit wilt niet zeggen dat elk bedrijf hun leanness en agility perfect op 50/50 moet balanceren. De sector en de markt waarin een supply chain netwerk actief is spelen een belangrijke rol in de positionering tussen lean en agile met de leagile strategie (Fadaki et al., 2019).



**Figuur 4:** Leagile strategie onder invloed van onzekerheden. Aangepast van (Fadaki et al., 2019).

### **2.2.2.5 Green & Sustainable**

Een van de grootste problemen van de industrialisatie zijn de verstoring van de natuur en de grote hoeveelheden afval en uitstoot die ontstaat in productie- en distributieprocessen. De groene en duurzame supply chain netwerken kijken niet enkel naar de economische aspecten van een netwerk, maar richten zich ook op de sociale en ecologische kosten. Het green concept focust op het elimineren van afval en het gebruiken van hernieuwbare energie, sustainable netwerken gaan nog een stap verder. De World Commission on Environment and Development (WCED) definieert duurzaamheid als het voldoen aan de huidige behoeften door de beschikbare middelen zodanig te gebruiken dat het vermogen van de toekomstige generatie om in hun behoeften te voorzien niet in gevaar komt (Farahani et al., 2014a; Govindan et al., 2017).

Het resultaat van een duurzame supply chain netwerk is niet alleen afhankelijk van de winst die behaald wordt door producten te verkopen, maar ook door de verantwoordelijkheid te dragen om innovatieve strategische, tactische en management technologieën te ontwikkelen. De economische winst wordt bepaald door de opbrengsten gegenereerd uit de verkopen te verminderen met de algemene kosten van het volledige netwerk. Het duurzame concept houdt ook rekening met de sociale kosten van externe factoren die in een netwerk voorkomen. Dit zijn kosten zoals emissie belastingen en het voorzien van veilige arbeidsomstandigheden (Kim, Jeong, & Jung, 2014).

De ecologische waarde van een duurzaam netwerk wordt gebaseerd op de eco-efficiëntie. Eco-efficiëntie wordt behaald door competitief geprijsde producten of diensten te leveren die voldoen aan de behoeften van de klant, terwijl de ecologische impact en intensiteit van de nodige grondstoffen doorheen het volledige netwerk geleidelijk verminderd worden. De sociale waarde van een netwerk wordt bepaald door de effectiviteit van de uitgevoerde acties van het bedrijf (Kim et al., 2014).

Het maatschappelijk bewustzijn over de ecologische problemen wordt steeds groter. Hierdoor ligt de druk om ecologisch te handelen veel hoger bij bedrijven. Krykavskyy en Mashchak (2017) hebben de verschillende stappen in een supply chain netwerk onderzocht om te kijken waar ruimte is voor verbetering. Bij het inkopen van grondstoffen of componenten kan de bewuste keuze gemaakt worden om enkel milieuvriendelijke materialen aan te kopen. Dit kan gecombineerd worden met een selectie van leveranciers te maken die zich aan het concept van duurzame ontwikkeling houden. Tijdens de productie kan gebruik gemaakt worden van energiebesparende machines en apparaten die aangedreven worden door hernieuwbare energie. Ook het inpakmateriaal speelt een belangrijke rol in de ecologische voetafdruk van een bedrijf. Door bijvoorbeeld het gebruik van plastic te verminderen ontstaat er minder afval en het verlaagt de kosten. De distributie van producten kan verbeterd worden door de capaciteit van een transportmiddel zo optimaal mogelijk te gebruiken door de distributieprocessen goed in te plannen. Dit verlaagt niet alleen de uitstoot van CO<sub>2</sub>, maar ook de transportkosten (Krykavskyy & Mashchak, 2017).

### **2.2.2.6 Reverse logistics**

Een uitbreiding van het sustainable supply chain concept is reverse logistics. Door de stijgende druk rond ecologische maatregelen worden bedrijven in bepaalde sectoren verplicht om reverse logistics toe te passen binnen hun supply chain netwerk. In andere sectoren, waar de bedrijven niet verplicht zijn om aan reverse logistics te doen, kan proactief gereageerd worden om de impact van het netwerk op de omgeving te verminderen. Reverse logistics kan gezien worden als een uitbreiding op SCND.

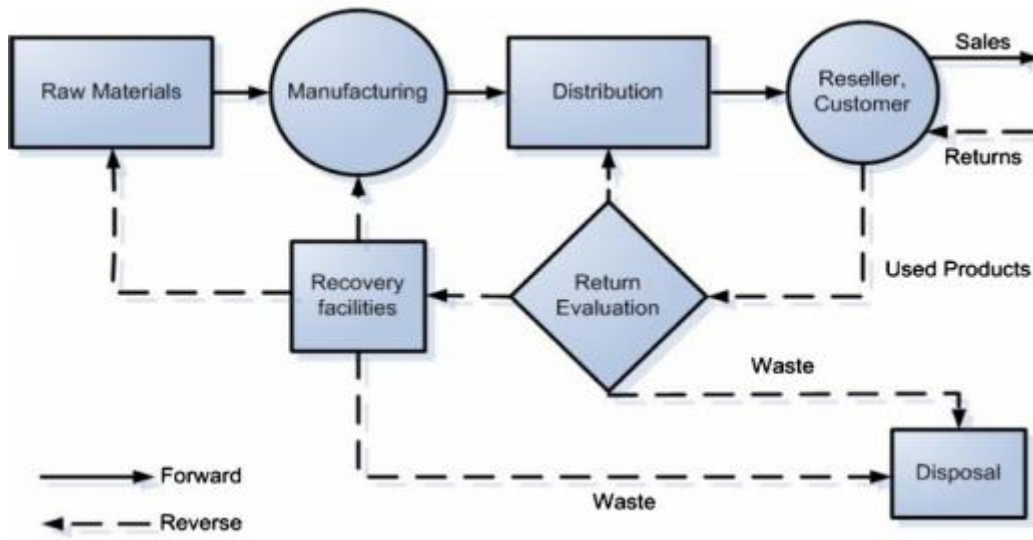
Naast het forward supply chain netwerk moeten ook de locaties van de reverse logistics faciliteiten ontworpen worden binnen hetzelfde model (Tsao, Linh, Lu, & Yu, 2018).

Reverse logistics wordt gedefinieerd als het proces van plannen, implementeren en controleren van de kosteneffectieve, efficiënte stroom van grondstoffen, voorraad in behandeling, afgewerkte producten en gerelateerde informatie vanaf het punt van consumptie tot de oorsprong. Het doel is om waarde uit gebruikte goederen te halen, of ze correct te recyclen (Govindan, Soleimani, & Kannan, Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, 2015). Het concept begint bij de eindklant die hun producten niet meer willen hebben. Deze gebruikte producten worden verzameld en gecontroleerd op de mogelijke restwaarden. Zo kan een gebruikt product gerecycleerd worden om bepaalde grondstoffen opnieuw te gebruiken in het productieproces van nieuwe producten. Het is ook mogelijk om deze gebruikte producten te reviseren of repareren. Indien de producten nog in een goede staat zijn kunnen ze na een reparatie als tweedehands producten verkocht worden. Als de schade te groot is, of het product te fel verouderd is, dan worden de componenten die niet opnieuw gebruikt kunnen worden op een correcte manier gerecycleerd (Govindan et al., 2015).

Het reviseren of repareren van een product kan gezien worden als een vorm van een herstellingsproces waarin gebruikte goederen worden omgevormd naar een nieuw product door hergebruik, renovatie of vervanging van defecte componenten. Herfabricage is een economische en ecologische manier om bij te dragen aan de doelstellingen van duurzame ontwikkeling. Het creëert duurzame producten die minder energie en grondstoffen nodig hebben. Doordat deze producten meerdere levenscycli kunnen doorlopen houden ze ook meer afval van de stortplaatsen. Hierdoor speelt herfabricage een belangrijke rol in het bekomen van een circulaire economie (Tsao et al., 2018).

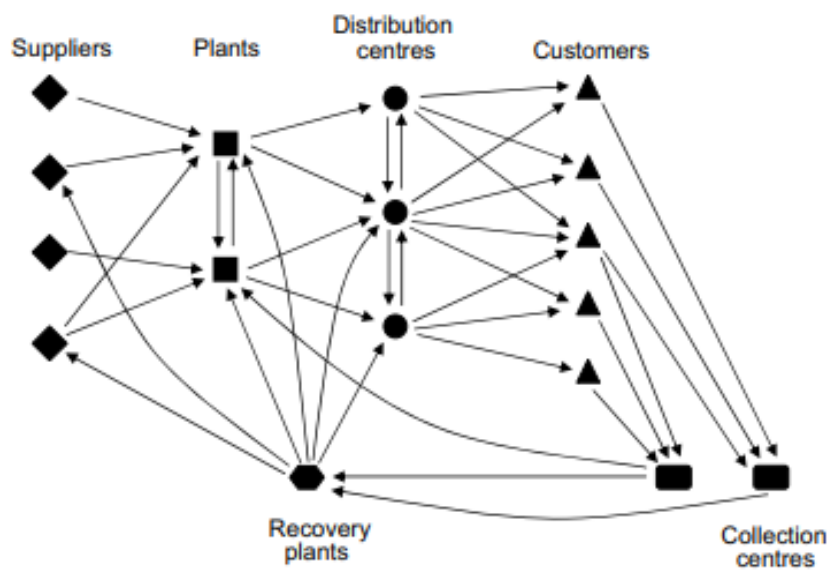
Een standaard herfabricage proces begint bij het verzamelen en catalogiseren van de gebruikte goederen van klanten. De producten worden gedemonteerd, schoongemaakt en geïnspecteerd om te bekijken welke componenten nog bruikbaar zijn en welke vervangen moeten worden. Nadat de herbruikbare componenten door een reeks van revisie behandelingen zijn gegaan wordt het product terug in elkaar gezet. Voor het gereviseerd product terug verkocht kan worden moet het nog enkele testen doorgaan om te kunnen garanderen dat het voldoet aan de kwaliteitsnormen (Tsao et al., 2018).

Wanneer het reverse logistics concept wordt gecombineerd met de traditionele forward supply chain, dan spreken we van een closed loop supply chain netwerk. Het doel van dit soort netwerken is om de waardecreatie doorheen de volledige levenscyclus van een product te maximaliseren door gebruik te maken van het dynamische herfabricage proces. Dit wordt geïllustreerd in figuur 5 (Govindan et al., 2015). Naast de gereguleerde en maatschappelijk verantwoorde aspecten kunnen organisaties ook focussen op de operationele en technische details. Door het reverse logistics netwerk zo kostenefficiënt mogelijk te maken kan een hogere winst behaald worden (Govindan et al., 2015).



**Figuur 5:** Reverse logistics proces. Herdrukt van (Govindan et al., 2015).

Uit het onderzoek van Tsao et al. (2018) blijkt dat de uitvoering van de herfabricage processen in een distributiecentrum duurder zijn dan een apart revisie centrum te bouwen. Melo, Nickel en Saldanha-da-Gama (2009) gaan hier mee akkoord. De activiteiten die worden uitgevoerd binnen het reverse logistics concept verschillen te veel van een standaard forward supply chain waardoor het beter is om twee aparte faciliteiten op te bouwen binnen het reverse logistics netwerk. Het eerste type faciliteit is een inzamelcentrum, waar alle gebruikte producten worden verzameld, gecontroleerd en gecatalogiseerd. Het tweede type is het revisie centrum waar het herfabricage proces plaats vindt. Dit concept is uitgewerkt in figuur 6 (Melo et al., 2009). Het is duidelijk dat een closed-loop supply chain netwerk nood heeft aan een veel uitgebreider transportnetwerk (Melo et al., 2009).



**Figuur 6:** Closed-loop supply chain netwerk. Herdrukt van (Melo et al., 2009).



### **3 Belangrijke elementen binnen supply chain netwerk design**

Nu de basisconcepten van een supply chain netwerk besproken zijn focust dit hoofdstuk op de belangrijkste elementen voor het ontwerpen van een netwerk. Voor een organisatie het ontwerp van zijn netwerk kan bepalen is het van belang dat de essentiële onderdelen van het supply chain netwerk gekend zijn. Zonder deze onderdelen te kennen wordt het moeilijk om specifieke doelen of visies op te stellen omtrent het netwerk. Een gebrek aan specifieke doelen maakt het moeilijker om de gepaste key performance indicatoren op te volgen en correcte benchmarks te maken. Aangezien de prestatie van een supply chain netwerk afgemeten wordt door de key performance indicatoren (KPI) is het dus belangrijk dat de essentiële onderdelen van het supply chain netwerk gekend zijn. Doordat elk supply chain netwerk uniek is, is het onmogelijk om één specifiek model op te stellen dat voor elke organisatie een optimaal netwerk zal ontwerpen (Min & Zhou, 2002). Het doel van dit hoofdstuk is om de veel voorkomende factoren binnen supply chain netwerk design te bespreken. Min en Zhou (2002) verdelen het ontwerpen van een netwerkmodel op in drie stappen, namelijk de drijvende factoren, de beperkingen en de beslissingsvariabelen.

#### **3.1 Supply chain drivers**

De eerste stap in het ontwerpen van een supply chain netwerk is het opstellen van specifieke doelen. Hiervoor moeten de drijvende factoren tussen de verschillende partners in het netwerk gevonden worden, ook wel drivers genoemd. Deze drivers kunnen opgesplitst worden in vier categorieën: klantenservice initiatieven, monetaire waarde, informatie/kennis transacties en risico-elementen (Min & Zhou, 2002).

##### **3.1.1 Klantenservice initiatieven**

Het ultieme doel van een supply chain netwerk is om te voldoen aan de wensen van de klanten. Dit kan door producten aan te bieden die voldoen aan de nodige specificaties, kwalitatieve service te leveren en door te zorgen dat de producten altijd beschikbaar zijn op de juiste plaats en op het juiste moment. Deze factor is moeilijk om te kwantificeren doordat elke klant zijn eigen opinie heeft over wat een goede service is en wat de ideale specificaties van een product zijn. Om de kwaliteit van de aangeboden klantenservice te berekenen wordt vaak gekeken naar de beschikbaarheid van de producten en de reactiesnelheid van het supply chain netwerk (Min & Zhou, 2002).

De totale verwachte vraag van de markt is één van de moeilijkste aspecten om te voorspellen binnen SCND. Door de willekeurige fluctuaties in de vraag is het moeilijk om direct te reageren op de markt. Hierdoor kunnen verschillende partners van het netwerk extra kosten oplopen door bijvoorbeeld te veel te produceren en een te grote voorraad te hebben of te weinig veiligheidsvoorraad te behouden en het risico lopen dat klanten bij de concurrentie moeten gaan kopen. Om over meer informatie te beschikken rond de beschikbaarheid van het product kan een netwerk gebruik maken van enkele maatstaven. De voorraad van ruwe materialen, componenten en afgewerkte producten uitgedrukt in dagen geeft de verhouding weer tussen de geplande productie en de voorspelde vraag (Min & Zhou, 2002). Hiermee kan een supply chain netwerk de aankoop, productie en distributie balanceren rond de gekende levertijden, voorraad balans en voorraadkosten in combinatie met de voorspelde vraag van de markt (Singh & Verma, 2018). Daarnaast kan ook gebruik gemaakt worden van het beschikbaarheidsniveau en het nauwkeurigheidsperscentage van de bestelling. Deze twee indicatoren

geven weer hoeveel bestellingen tijdig voltooid worden en het percentage van bestellingen welke correct worden uitgevoerd (Min & Zhou, 2002).

De reactiesnelheid van het supply chain netwerk is een goede weergave van de flexibiliteit van de verschillende partners die deelnemen in het netwerk. Deze reactiesnelheid kan door verschillende indicatoren gemeten worden. Time-to-market, ofwel de marktintroductietijd, geeft weer hoeveel tijd een nieuw idee nodig heeft om volledig uitgewerkt, geproduceerd en verkocht te worden. Dit bepaalt hoe snel een organisatie kan inspelen op nieuwe trends in de markt. Een lage marktintroductietijd creëert een competitief voordeel doordat de onderneming een hoger marktaandeel zal kunnen bemachtigen (Perols, Zimmermann, & Kortmann, 2013). Het percentage van tijdige leveringen toont aan hoeveel procent van de leveringen de beloofde bezorgdatum effectief behalen. Bij deze indicator wordt zowel te vroeg als te laat leveren afgekeurd. De verwerkingstijd van een bestelling bepaalt hoelang het duurt om een bestelling te accepteren, verwerken en versturen. Dit kan gecombineerd worden met de transport tijd, de tijd tussen de verzending van een afgewerkte bestelling en de klant die de bestelling ontvangt (Min & Zhou, 2002). Een laatste indicator voor een beter inzicht te krijgen in de reactiesnelheid is de totale wachttijd in het productie- en distributieproces van het netwerk. Deze wachttijd omvat de tijd waarin processen stil liggen en waar middelen niet operationeel zijn. Dit kan veroorzaakt worden door gepland onderhoud, onverwachte defecten, inspecties of het ombouwen van een productielijn (Min & Zhou, 2002).

### **3.1.2 Monetaire waarde**

De monetaire waarde van een supply chain netwerk kan gedefinieerd worden als de verhouding tussen de opbrengsten en de totale kosten. Een netwerk kan deze waarde verhogen door een hogere winstmarge te bekomen op de verkoop, een groter marktaandeel te veroveren en de efficiëntie van de processen binnen het netwerk te verbeteren. Het is ook mogelijk om een hogere monetaire waarde te bekomen door de kosten te verlagen. Dit kan door uitgaven, defecten en overbodige voorraden te verminderen. De monetaire waarde geeft een directe weerspiegeling van de efficiëntie en winstgevendheid van de activiteiten binnen het netwerk. Hierdoor zijn de minimalisatie van kosten en de maximalisatie van opbrengsten ook de meest gebruikte doelfuncties van supply chain netwerk modellen. Min en Zhou (2002) geven enkele maatstaven die een gedetailleerder beeld geven van de monetaire waarde van een netwerk, namelijk gebruik van activa, return on investment en kostenbeheer.

Bezettingsgraad van activa, ofwel asset utilization, berekent het effectieve aantal gebruikte middelen gedeeld door het totaal aantal beschikbare middelen. Een laag gebruik van activa betekent dus dat een groot deel van de beschikbare middelen stil staan. Om een beter overzicht te krijgen van de bezettingsgraad kan een onderscheid gemaakt worden tussen drie onderdelen: omzet gecreëerd door activa, omloopsnelheid van voorraden en ruimtegebruik binnen het magazijn (Min & Zhou, 2002). De omzet die gecreëerd wordt door de activa geeft de verhouding van de totale opbrengsten uit de verkoop ten opzichte van de kost van alle beschikbare middelen. Deze indicator geeft weer hoe efficiënt de middelen binnen een netwerk gebruikt worden om verkopen te genereren. Algemeen gezien wordt naar een bezettingsgraad van activa van minimaal 1.0 of hoger gestreefd. Dit wil zeggen dat de opbrengsten van de verkoop minstens gelijk moeten zijn aan de kosten die ontstaan om producten te kunnen produceren en verkopen (Malikova & Brabec, 2012). De omloopsnelheid

van de voorraad berekent hoeveel keer een supply chain netwerk zijn producten verkoopt en de voorraad vervangt met nieuwe geproduceerde producten binnen een bepaalde tijd. Met deze indicator kan bepaald worden hoeveel dagen het duurt voor een product uit de voorraad verkocht wordt en wat de gemiddelde opslagkost per product is. Een goede omloopsnelheid van de voorraad ligt in meeste sectoren tussen vijf en tien. Dit betekent dat de voorraad tussen elke één à twee maanden volledig verkocht en vervangen wordt. Deze indicator toont ook aan of een supply chain netwerk een goede balans heeft tussen het behouden van de veiligheidsvoorraad en de productieplanning (Gaur, Fisher, & Raman, 2005). Het ruimtegebruik binnen het magazijn weergeeft de verhouding tussen de totale plaats beschikbaar en de plaats die gebruikt wordt om de voorraad op te slaan. Optimaal gezien wordt tussen 80% en 90% van het magazijn gebruikt. Op deze manier kan nog ingespeeld worden op mogelijke fluctuaties in de vraag zonder het risico te lopen op een plaatsgebrek in het magazijn (Gaur et al., 2005).

Return on investment (ROI) wordt gebruikt om het rendement van een investering te berekenen. Het berekent de verhouding tussen de netto opbrengsten die bekomen zijn door de investering en het kapitaal dat geïnvesteerd werd (Min & Zhou, 2002). ROI geeft organisaties inzicht over de efficiëntie van een investering. Zo kan een onderscheid gemaakt worden tussen de verschillende investeringen om te kijken welke het waard zijn of gestopt moeten worden. Een voorbeeld hiervan is een extra productielijn invoegen. Als het na een bepaalde periode blijkt dat de kosten van deze investering hoger zijn dan de extra opbrengsten die gerealiseerd worden, dan is het beter om het verlies te accepteren en de extra productielijn stop te zetten (Gaur et al., 2005).

Het kostenbeheer in een supply chain netwerk is een breed aspect van de monetaire waarde. De traditionele kosten classificatie bekijkt de vaste en variabele kosten binnen een onderneming. Binnen een supply chain netwerk is die niet van toepassing omdat een netwerk uit meerdere actoren bestaat, elk met zijn eigen opbrengsten en kosten. Een alternatieve manier van kostenbeheer voor supply chain netwerken maakt gebruik van activiteit-gebaseerde kostenberekening, doel calculatie en de kost van kwaliteit (Min & Zhou, 2002). Een activiteit-gebaseerde kostenberekening identificeert de verschillende activiteiten binnen het netwerk en wijst een bepaalde kost toe aan elke individuele activiteit. Deze methode maakt het makkelijker om indirecte kosten toe te wijzen aan de verschillende soorten producten die geproduceerd worden binnen het supply chain netwerk (Schulze, Seuring, & Ewering, 2012). Doel calculatie maakt een inschatting van de totale kosten die gelinkt worden aan een product. Deze kost wordt met een bepaald percentage verhoogd om de gewenste winstmarge te bekomen. Het is belangrijk om bij deze methode rekening te houden met de competitieve marktprijs, waardoor de winstmarge soms moet worden ingegeven voor een competitieve prijszetting. Doel calculatie is daarom een manier van kostenbeheer die meer focus legt op wat de klanten bereid zijn te betalen in plaats van winstmaximalisatie (Lockamy & Smith, 2000). De kost van kwaliteit, of kwaliteitsbeheer, binnen een netwerk bepaald de kosten die gelinkt zijn aan het detecteren, voorkomen en oplossen van problemen gerelateerd met de kwaliteit van een product. Deze methode geeft inzicht over welke activiteiten in het supply chain netwerk een hoge nood aan kwaliteitsbeheer hebben. Indien de kosten te hoog worden voor de kwaliteit van het product intact te houden, dan kunnen veranderingen doorgevoerd worden om deze kosten te verlagen. Zo kan bijvoorbeeld een andere leverancier aangesproken worden die hetzelfde component levert maar met een hogere kwaliteit. De kost per component zal hoger liggen, maar de kosten gerelateerd aan het



kwaliteitsbeheer zullen verlagen omdat de nood aan inspecties daalt (Castillo-Villar, Smith, & Simonton, 2012).

De geavanceerde methodes voor het beheren van de kosten in een supply chain netwerk kunnen zeer effectief zijn in het werkelijk organiseren van een netwerk maar in het ontwerpen van een netwerk model zorgt dit voor een verhoging van de complexiteit. De meeste modellen maken gebruik van de traditionele kostenberekening door een opsplitsing te maken tussen de verschillende kosten in het netwerk. In een standaardmodel zijn dit de aankoopkosten, productiekosten, voorraadkosten en transportkosten (Min & Zhou, 2002)

### **3.1.3 Informatie/kennis transacties**

De informatiestroom van een supply chain netwerk dient als een verbinding tussen de verschillende stappen verspreid doorheen het netwerk. Deze informatie geeft de partners van het netwerk de mogelijkheid om hun activiteiten te coördineren en het verbetert het inzicht op de huidige voorraden. Een succesvolle integratie van de informatiestroom doorheen het netwerk is afhankelijk van het vermogen van de partners om de nodige real-time informatie te delen. Dit soort informatie omvat verkoopcijfers, specificaties, technologie, ontwerpen, klantgegevens, vraagvoorspellingen, bestel lijsten, prijzen, kennis en voorraadcijfers (Min & Zhou, 2002).

Alvorens informatie gedeeld kan worden in het supply chain netwerk is het belangrijk dat de partners elkaar vertrouwen. Zonder vertrouwen is het niet mogelijk om samen te werken. Daarnaast is het ook belangrijk dat de nodige technische platformen opgericht zijn. Enkele voorbeelden van deze informatie transactie platformen zijn electronic data interchange (EDI), enterprise resource planning (ERP) en warehouse management systems (WMS). Deze platformen zorgen voor een effectieve stroom van real-time informatie, waarmee de partners doorheen het netwerk hun activiteiten op elkaar kunnen afstemmen en optimaliseren (Min & Zhou, 2002).

Het delen van technologische vooruitgang heeft ook een invloed op het supply chain netwerk. Door alle verworven kennis uit onderzoek en ontwikkeling te delen met het volledige netwerk wordt tijd en geld bespaard. Deze manier van samenwerken geeft het netwerk de mogelijkheid om sneller te innoveren, wat ook competitieve voordelen met zich meebrengt. Het niveau van informatie en kennis transacties binnen een supply chain netwerk is moeilijk om te kwantificeren. Desondanks weegt het wel zwaar door in de efficiëntie van het volledige netwerk. Hierdoor is het een belangrijk element dat moet worden uitgewerkt voor de opbouw van het netwerkmodel begint (Min & Zhou, 2002).

### **3.1.4 Risico-elementen**

Een betrouwbaar supply chain netwerk minimaliseert zoveel mogelijk risico's en probeert preventieve maatregelen voor te bereiden voor onverwachte storingen. Dit is niet vanzelfsprekend aangezien een supply chain netwerk een zeer complex gegeven kan zijn. Risico's die veroorzaakt worden door interne bronnen kunnen makkelijker opgelost worden dan risico's van externe bronnen. Door goede relaties op te bouwen tussen de partners van het netwerk en een real-time informatiestroom op te richten worden al veel risico's vermeden. In een optimaal netwerk zal geen enkele lid dat deel uit maakt van het netwerk taken moeten uitvoeren die buiten zijn kernactiviteiten vallen. De partners kunnen onderling de beschikbare middelen delen waardoor de risico's op storingen binnen het netwerk verminderd worden (Min & Zhou, 2002).

Yildiz, Yoon, Talluri en Ho (2016) en Lin en Wang (2011) hebben enkele veel voorkomende risico's binnen supply chain netwerken onderzocht en een oplossing proberen te vinden om deze risico's te beperken. Het leveringsrisico wordt omschreven als een situatie waar een gecontracteerde leverancier niet in staat is om de nodige hoeveelheid van een bepaald type component of grondstof te leveren binnen een bepaalde tijdsperiode. Beide papers bieden dezelfde opties om dit risico te verminderen. Eerste moet een omschakeling gemaakt worden naar een betrouwbare leverancier. Indien deze niet in staat is om de totale gevraagde hoeveelheid te leveren, dan moet de overgang van één naar meerdere leveranciers doorgevoerd worden. Hier worden contracten met meerdere betrouwbare leveranciers afgesloten die allemaal hetzelfde specifieke type component of grondstof leveren. Om het leveringsrisico nog meer te beperken kunnen nog meer leveranciers aangesproken worden. Deze zullen een inactieve relatie hebben met het supply chain netwerk. Indien een zeer hoge piek in de vraag plaats vindt, dan kunnen deze inactieve leveranciers opgeroepen worden om de ontbrekende onderdelen te leveren (Lin & Wang, 2011; Yildiz et al., 2016).

Onzekerheid in de voorspellingen van de vraag maakt het moeilijk om een kostenefficiënte productieplanning en voorraadbeheer op te stellen. Het build-to-stock concept is gebaseerd op de voorspelde vraag en is een proactief systeem dat producten produceert voor er vraag naar is. Dit zorgt voor een groter risico op overblijvende voorraden indien de vraag lager is dan voorspeld. Een mogelijke oplossing hiervoor is het toepassen van het built-to-order concept. Hierbij wordt de montage van een product zo lang mogelijk uitgesteld doorheen het productieproces. Dit concept werkt reactief, de losse componenten worden op voorhand geproduceerd en de producten worden pas samengesteld als er naar een product gevraagd wordt. Het voordeel van built-to-order is dat bedrijven kunnen inspelen op mass customization en beter kunnen reageren op de volatiele vraag van de markt (Lin & Wang, 2011).

Min en Zhou (2002) vermelden nog twee voorbeelden van interne risico's binnen een supply chain netwerk. Het eerste is het risico op kwaliteitsfouten. Supply chain partners zijn onderling afhankelijk van elkaar en om efficiënt te kunnen werken moeten alle leden ook vertrouwd kunnen worden. Dit zorgt voor enkele risico. Indien bij een activiteit in het begin van het productieproces een fout gemaakt wordt, bijvoorbeeld de verkeerde kleur van verf gebruiken, dan kunnen deze foutieve onderdelen of producten doorheen meerdere stappen van het supply chain netwerk gaan voor de fout herkend wordt. In het ergste geval wordt de fout gevonden door een klant. Het is natuurlijk niet realistisch om op elke stap in het netwerk ieder product te controleren op fouten. Hiermee wordt te veel tijd verloren. Het risico op kwaliteitsfouten gaat hand in hand met het tweede risico dat (Min & Zhou, 2002) aanhalen, namelijk het risico op het delen van foutieve informatie. In sommige gevallen is het niet de fout van de producent die de verkeerde verf had gebruikt, maar werd de verkeerde kleur gecommuniceerd naar de producent. Het is dus van uiterst belang om de fouten zo snel mogelijk te vinden en om correcte informatie te delen met het netwerk (Min & Zhou, 2002).

Naast de interne risico's moet een supply chain netwerk ook rekening houden met externe risico's, zaken of gebeurtenissen waar het netwerk totaal geen controle over heeft. Deze risico's kunnen klein tot grootschalig zijn. Een voorbeeld van kleinschalige verstoringen zijn infrastructuurwerken en wetsaanpassingen. Infrastructuurwerken kunnen zorgen voor vertragingen van de leveringen van componenten of de distributie van de afgewerkte producten. Wetsaanpassingen kunnen bepaalde

maatregelen of normen opleggen waaraan de producten of productieprocessen aan moeten voldoen. Dit soort verstoringen worden meestal op voorhand aangekondigd en het netwerk krijgt voldoende tijd om de nodige aanpassingen te maken. Natuurrampen, terroristische aanvallen of het uitbreken van oorlog zijn enkele grootschalige verstoringen. Deze evenementen hebben niet enkel een invloed op het supply chain netwerk, maar op de volledige samenleving. Dit valt volledige buiten de controle van het netwerk en hier kunnen geen directe voorzorgsmaatregelen voor genomen worden (Yildiz et al., 2016).

### **3.2 Supply chain beperkingen**

Beperkingen binnen supply chain netwerk design worden opgelegd om een netwerkmodel realistisch te maken. In de echte wereld heeft een organisatie geen toegang tot een ongelimiteerde hoeveelheid middelen. Deze beperkingen worden gecombineerd met de beslissingsvariabelen om een netwerkmodel te optimaliseren (Min & Zhou, 2002). De verschillende beslissingsvariabelen worden besproken in sectie 3.3. In dit onderdeel worden enkele beperkingen besproken die hebben te maken met budget, service levels, aankoop en capaciteit.

Het ultieme doel van een supply chain netwerk is om producten of services aan te bieden die voldoen aan de wensen van de klanten. Dit wordt vertaald door een veelgebruikte beperking binnen het ontwerpen van netwerkmodellen, namelijk het maximaliseren van de service levels. Dit soort modellen zijn gelimiteerd om enkel configuraties weer te geven waarin elke klant binnen het netwerk bediend wordt (Min & Zhou, 2002). De productieplanning, veiligheidsvoorraad en levertijden zijn de variabelen die de grootste invloed hebben op de behaalde service levels. Door bijvoorbeeld te handelen met leveranciers die korte levertijden aanbieden kan het supply chain netwerk sneller en efficiënter reageren op markt waardoor ze een competitief voordeel kunnen bemachtigen. Netwerkmodellen die de service levels maximaliseren gaan vaak gepaard met een ongelimiteerd budget. Hoewel dit de perfecte configuratie kan presenteren is het niet realistisch. Organisaties hebben vaak een beperkt budget waardoor bepaalde afwegingen gemaakt moeten worden (Feng, Moon, & Ryu, 2015).

Het is mogelijk dat een beperking buiten de controle van het supply chain netwerk ligt. Wanneer een ultramodern product geproduceerd wordt, bestaat de mogelijkheid dat er niet voldoende leveranciers beschikbaar zijn die de unieke onderdelen kunnen produceren. Bij dit soort aankoop beperkingen moeten de componenten een zeer gedetailleerd productieproces ondergaan waarvoor een volledige productielijn moet aangelegd worden. Hiervoor moet een leverancier bereid zijn om een grote investering te doen, een investering die vaak enkel bruikbaar is voor dit specifiek onderdeel. Een ander voorbeeld van een aankoop beperking is wanneer het productieproces een bepaald type grondstof of component nodig heeft dat in verschillende soorten producten gebruikt wordt (Chang, 2007). Zo heeft het globale tekort aan computerchips het productieproces van Sony's Playstation 5 enorm vertraagd. Deze computerchips worden gebruikt in computers, smartphones, smartwatches, consoles, auto's en vele andere elektronische producten.

De laatste categorie van supply chain beperkingen die besproken wordt is de beperkte beschikbaarheid van capaciteit binnen het netwerk. Supply chain netwerk modellen met een capaciteitsbeperking focussen op de materialenstroom die doorheen het volledige netwerk loopt. Deze modellen bepalen hoeveel voorraad wordt bijgehouden op elke stap in het netwerk. Dit wordt

gebaseerd op de beschikbare plaats en de voorspelde vraag. De capaciteit heeft verschillende betekenissen, afhankelijk van welke stap in het netwerk bekeken wordt. De capaciteit van een leverancier geeft de maximale hoeveelheid componenten of grondstoffen weer die geleverd kan worden, zoals vermeld bij de aankoop beperking. De capaciteit van de producent toont aan wat maximaal geproduceerd kan worden, onafhankelijk van de beschikbare grondstoffen of componenten. Hierbij moet rekening gehouden worden met de beschikbare machines, arbeiders en technologie. De capaciteit van een magazijn bepaald hoeveel plaats beschikbaar is om een voorraad te bewaren zonder externe magazijnen bij te moeten huren (Chen & Chou, 2008).

De capaciteit van de verschillende partners heeft een grote invloed op de winstgevendheid van het volledige netwerk. Door deze verschillende capaciteiten op elkaar af te stemmen kan een efficiënte materialenstroom berekend worden. Modellen met een capaciteitsbeperking berekenen de knelpunten binnen een netwerk en geven de mogelijkheid om de nodige uitbreidingen te maken voor het knelpunt een probleem veroorzaakt. Een voorbeeld van een uitbreiding is het toevoegen van een productielijn of het huren van een magazijn om meer componenten of afgewerkte producten te bewaren (Chen & Chou, 2008).

### 3.3 Supply chain variabelen

Beslissingsvariabelen binnen supply chain netwerk design zijn een vertaling van de prestatiedoelstellingen van een supply chain netwerk. Deze variabelen, in combinatie met de supply chain beperkingen, bepalen de structuur van het netwerk model. De strategie die een organisatie wil toepassen wordt hier uitgewerkt door de verschillende beslissingsvariabelen op elkaar af te stemmen. In tabel 1 (Min & Zhou, 2002; Govindan et al., 2015; Wang et al., 2016) wordt een samenvatting gemaakt van de meest gebruikte beslissingsvariabelen binnen supply chain netwerk design. Deze variabelen delen het kenmerk dat ze allemaal controleerbaar zijn door de organisatie. Hoewel de vraag nog steeds een onzekere factor is binnen het model, is het mogelijk om de onzekerheid te beperken door verschillende analyses uit te voeren (Min & Zhou, 2002; Govindan et al., 2017; Song & Sun, 2017). Uit het onderzoek van Govindan et al. (2017) blijkt dat de belangrijkste beslissingsvariabelen de locatie, allocatie, productie- en distributieplanning zijn.

Beslissingsvariabel	Beschrijving variabel
Locatie	Bepaalt waar fabrieken, magazijnen of distributiecentra, consolidatiepunten en bevoorradingsbronnen zich moeten bevinden.
Allocatie	Bepaalt welke magazijnen (of DC's), fabrieken en consolidatiepunten welke klanten, marktsegmenten en leveranciers moeten bedienen.
Netwerk structurering	Betreft centralisatie of decentralisatie van een distributienetwerk en bepaalt welke combinatie van leveranciers, fabrieken, magazijnen en consolidatiepunten moet worden gebruikt of gesloten. Dit type variabele kan ook betrekking hebben op de exacte timing van uitbreiding of sluiting van productie- of distributiefaciliteiten, waardoor de beschikbaarheid van netwerkfaciliteiten wordt bepaald.
Aantal faciliteiten en apparatuur	Bepaalt hoeveel fabrieken, magazijnen en consolidatiepunten nodig zijn om aan de behoeften van klanten en marktsegmenten te voldoen.

Aantal fases (echelons)	Bepaalt het aantal fasen dat een supply chain zal omvatten. Deze variabele kan het verhogen of verlagen van het niveau van horizontale supply chain-integratie omvatten door fasen te combineren of te scheiden.
Capaciteitsbeheer	Omvat het optimale aankoop-, productie- en verzendvolume op elk knooppunt (bijvoorbeeld een leverancier, een fabrikant, een distributeur) van een supply chain.
Voorraadbeheer	Bepaalt de optimale hoeveelheid van elk type grondstof, onderdeel, work-in-process, gereed product en voorraadeenheid (SKU) die moet worden opgeslagen in elke fase van de toeleveringsketen.
Grootte van het personeelsbestand	Bepaalt het aantal arbeiders en bedienden die nodig zijn voor het netwerk operationeel te maken.
Outsourcing van activiteiten	Bepaalt welke leveranciers, IT-serviceproviders en externe logistieke dienstverleners moeten worden gebruikt voor langdurige outsourcingcontacten en hoeveel (bijv. single versus multiple sourcing) daarvan moeten worden gebruikt.
Distributieplanning	Behandelt de distributie van producten van leveringspunten (d.w.z. productiefaciliteiten of magazijnen) naar vraagpunten (d.w.z. winkellocaties) via tussenliggende opslagknooppunten (d.w.z. distributiecentra). Distributieplanning kan worden geformuleerd als netwerkstroomproblemen waarbij elke link een verzendmodus vertegenwoordigt met een bepaalde capaciteit en tijdsperiode.
Selectie van transportmodus	Bepaalt welk type transport (bijv. vrachtwagens, boten, treinen) zal worden gebruikt voor de distributie van producties over het netwerk.
Selectie van technologie	Bepaalt welke investeringen in technologische infrastructuur (bijvoorbeeld geautomatiseerde systemen) nodig zijn.
Prijszetting	Geeft producten een concurrerende prijs door productcompromissen te optimaliseren en de verkoopopbrengst te verhogen. Het stelt bedrijven ook in staat beter te presteren dan hun concurrenten door deze opportuniteiten optimaal te benutten.
Product ontwerp	Om concurrerend te zijn, marktaandeel te veroveren en de winstgevendheid te verbeteren, moeten bedrijven ervoor zorgen dat hun producten van hoge kwaliteit en betrouwbaarheid zijn. Afgezien van de kritische maar uiterst moeilijke afwegingen tussen kosten en kwaliteit, vereist de druk van de time-to-market het productontwerp en de ontwikkeling om de efficiëntie en tijdigheid van het vrijgeven van nieuwe inkomsten genererende producten te garanderen.
Strategische aankoop	Is collaboratief, gericht op leveranciersrelatiebeheer door aankoopkosten van de organisatie te analyseren en goederen en diensten te verwerven. Strategische aankoop helpt bedrijven de financiële

	prestaties te optimaliseren, de operationele kosten te minimaliseren en de prestaties van hun leveranciers te verbeteren.
Aankoopbeheer (Procurement)	Biedt consistente, op gegevens gebaseerde analyse voor een breed beeld over belangrijke beslissingen en zakelijke problemen, zoals kwaliteitsproblemen en beschikbaarheid van materiaal. Geeft organisaties de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen risico's die moeten worden vermeden en risico's die moeten worden genomen door trends en gebeurtenissen te identificeren die verband houden met leveranciers of specifieke aankoopmarkten.
Voorspellen van de vraag	Analyseert verschillende klantsegmenten in termen van kanalen, merken en producten tot op SKU-niveau, en ontwikkelt modellen die worden gebruikt om de vraag vorm te geven en omzetplannen te maken, wat de basis vormt voor gezamenlijke planning en prognoses met belangrijke supply chain-partners.
Productieplanning	Kan nuttige inzichten verschaffen met betrekking tot de productiecapaciteitsniveaus en managers/besluitvormers informeren of verbeteringen nodig zijn om de productiviteit te maximaliseren. Deze beslissingsvariabele kan fabrikanten van meerdere producten ook helpen de productie aan te passen om ervoor te zorgen dat de juiste mix van middelen aan de juiste productielijnen wordt toegewezen.

**Tabel 1:** Supply chain beslissingsvariabelen. Aangepast van (Min & Zhou, 2002; Govindan et al. 2015; Wang et al., 2016).

Song en Sun (2017) hebben een onderzoek gedaan naar verschillende variabelen die buiten de controle van een organisatie kunnen vallen. Deze variabelen hebben een invloed op de kostenstructuur van het totale netwerk. Het kosteneffect wordt opgesplitst in vier categorieën, namelijk kosten gerelateerd aan voorraad, productie, aankoopmanagement en transport. Een overzicht van de variabelen met de invloed op de kostenstructuur zijn terug te vinden in tabel 2 (Song & Sun, 2017).

Variabelen	Kosten effect				Beschrijving variabel
	Voorraad-kosten	Productie-kosten	Aankoop-kosten	Transport-kosten	
Productaanbod	x		x	x	Assortiment van producten
Waardecreatie producten	x			x	Waarde van een product per kilogram
Fysieke aspecten van product	x			x	Gewicht/kubieke inhoud
Risico op veroudering		x		x	Productlevenscyclus
Competitie niveau		x	x		Concurrentiepositie van het bedrijf in de markt
Behandelingskenmerken				x	Vereisten voor het afhandelen van operaties
Technologie niveau	x		x		Mate van de technologie ingebed in product
Cyclustijd		x		x	Periode van orderlancering tot einde levering
Item fill rate	x				Waarschijnlijkheid van het op voorraad houden van het vereiste product
Betrouwbaarheid van leveringen				x	Waarschijnlijkheid van een succesvolle levering van de bestelling
Afmetingen van bestellingen				x	Niveau van geleverde producten hoeveelheid
Voorspelbaarheid v/d vraag	x	x	x		Foutmarge van vraagprognose
Volatiliteit van de vraag			x	x	Totale variantieverhouding van de vraag
Marktkenmerken		x	x		Niveau van productpenetratie in de wereld
Sterkte binnenlandse vraag		x			Verhouding tussen binnenlandse vraag en totale vraag
Concurrentie van binnenlandse leveranciers			x		Een indicatie van de totale binnenlandse aankoopkosten
Beschikbaarheid onderdelen			x		Beschikbaarheid van vereist item
Kwaliteit van binnenlandse bronnen			x		Algemene kwaliteit van artikelen die in het lokale land worden geleverd
Sterkte van de binnenlandse valuta		x	x		Wisselkoers binnenlandse valuta/U.S. dollar
Import tarieven			x	x	Belasting opgelegd op het invoeren van producten
Belastingtarieven		x	x	x	Totaal binnenlands handelsbelastingtarief
Belang van arbeidskwaliteit		x			Effect van arbeidsvaardigheid op het eindproduct
Belang van arbeidskosten		x			Effect van arbeidskosten op het eindproduct
Kwaliteit van infrastructuur		x		x	Beschikbaarheid en betrouwbaarheid van transport
Politieke stabiliteit		x			Stabiliteit van investeringen en economische omstandigheden
Milieuzorg en regelgeving		x		x	Mate van zorg voor het milieu en wetgeving

**Tabel 2:** Supply chain variabelen. Aangepast van (Song & Sun, 2017).

Song en Sun (2017) hebben een onderverdeling gemaakt tussen vijf eigenschappen van het strategisch ontwerpen van een supply chain netwerk structuur. Dit werd gedaan om te onderzoeken hoe zwaar een bepaald karakteristiek doorweegt in het ontwerpen van een netwerk model. De vijf karakteristieken zijn sociaal-politiek, aankoop, product, vraag en service vereisten (Song & Sun, 2017). Het onderzoek werd uitgevoerd door de vijf bovenstaande eigenschappen elk te linken aan bepaalde variabelen uit tabel 2 (Song & Sun, 2017). Deze variabelen zijn terug te vinden in tabel 3 (Song & Sun, 2017).

<b>Eigenschappen + Variabelen</b>	
<b>Politiek-sociaal eigenschap</b>	
	Sterkte van de binnenlandse valuta Kwaliteit van infrastructuur Politieke stabiliteit Milieuzorg en regelgeving
<b>Aankoop eigenschap</b>	
	Concurrentie van binnenlandse leveranciers Beschikbaar van gekochte artikelen Kwaliteit van binnenlandse bronnen
<b>Product eigenschap</b>	
	Waarde van producten Technologie niveau Belang van arbeidskwaliteit Belang van arbeidskosten
<b>Vraag eigenschap</b>	
	Voorspelbaarheid van de vraag Volatiliteit van de vraag
<b>Service vereisten</b>	
	Cyclustijd van producten Betrouwbaarheid van leveringen

**Tabel 3:** Eigenschappen en variabelen. Aangepast van (Song & Sun, 2017).

De sociaal-politieke eigenschap focust op de uitdagingen die gepaard gaan met globalisatie. Economische ontwikkeling, infrastructuur, handelsovereenkomsten, ecologische belangen en wetgevingssystemen hebben een grote invloed op het ontwerpen van globale supply chain netwerken. Organisaties moeten zich aan de emissiewetgevingen houden, wat zorgt voor een nood aan groene productie- en distributieprocessen. Deze wetgevingen zijn niet in elk land hetzelfde, waardoor sommige locaties minder interessant worden dan andere om het netwerk in op te bouwen. Daarbovenop moet ook rekening gehouden worden met de verschillende munteenheden die gebruikt worden. Dit geeft wel de mogelijkheid om modellen op te stellen die de verschillende belastingtarieven en munteenheden als variabelen gebruiken om een globaal netwerk te ontwerpen. Zo kan de plaatsbepaling van de verschillende productiesites of distributiecentra gebruikt worden om de kosten in verband met emissiebelastingen en wisselkoersen te minimaliseren (Song & Sun, 2017).

De aankoop eigenschap verwijst naar de kenmerken van de leveranciers, en de grondstoffen en componenten die worden aangekocht. De productieplanning is volledig afhankelijk van de inkomende grondstoffen en componenten. Hierdoor hebben de kwaliteit en betrouwbaarheid van de leveranciers een sterke invloed op het supply chain netwerk, zeker als het aantal beschikbare leveranciers beperkt is. Supply chain netwerk modellen kunnen ontworpen worden om een optimaal leveranciersnetwerk op te stellen, gebaseerd op de capaciteit, kwaliteit en betrouwbaarheid van de leveranciers. Zo kan de keuze tussen single of multi-sourcing gemaakt worden voor elk specifiek onderdeel van het product (Song & Sun, 2017).

Product eigenschappen hebben te maken met de kwaliteit, verscheidenheid, waarde en levenscyclus van het product. Het ontwerp van het product moet overeenkomen met de wensen van de markt. Ieder product is uniek en heeft specifieke kenmerken waar het supply chain netwerk voor aangepast moet worden. Een "one-size-fits-all" concept is niet van toepassing binnen supply chain netwerk

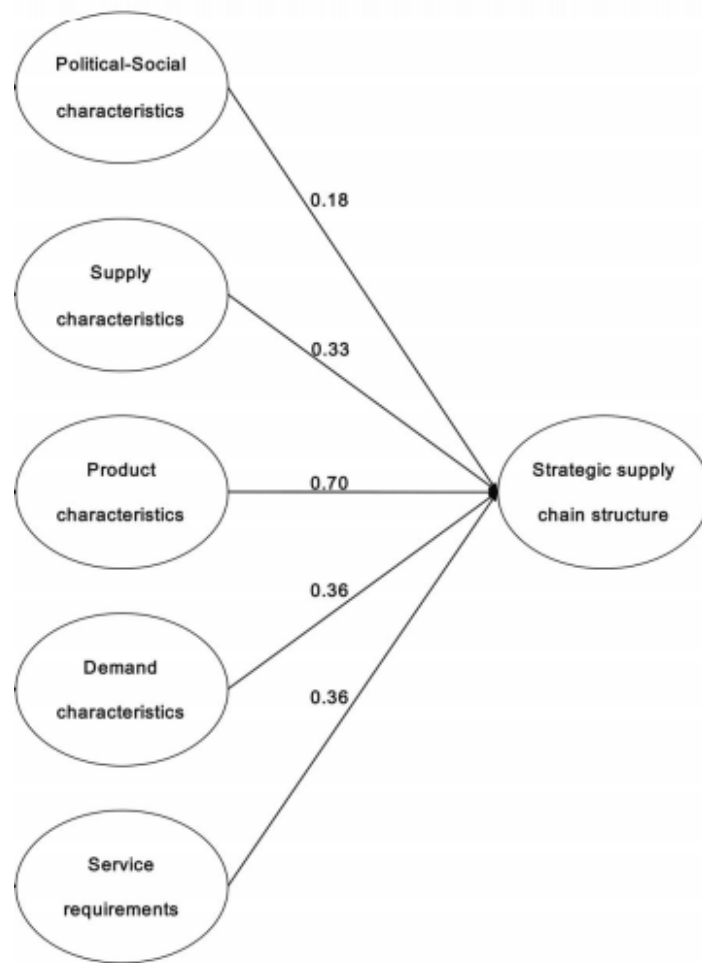


design. Organisaties moeten een netwerkstructuur ontwerpen dat bij het product past om zo efficiënt mogelijk te kunnen werken, wat voor competitieve voordelen kan zorgen (Song & Sun, 2017).

De vraag eigenschap draait om de grootte van de bestellingen, de volatiliteit van de vraag en de gemiddelde gevraagde hoeveelheid. Dit karakteristiek kan de structuur van een netwerk beïnvloeden door de schaalvoordelen te verminderen indien de volatiliteit te hoog is. Een hoge volatiliteit zorgt ook voor een lager service level. Hierdoor stijgt de nood voor grotere voorraden die dicht bij de klanten liggen om sneller te kunnen reageren op de vraag. Netwerk modellen kunnen gebruikt worden om de locaties van meerdere distributiecentra te berekenen met als doel de levertijden te minimaliseren. Daarnaast wordt de grootte van de voorraad in elk distributiecentrum geoptimaliseerd om een zo laag mogelijke voorraadkost te hebben (Song & Sun, 2017).

De laatste eigenschap is de service vereisten. Service vereisten omvatten de logistieke kosten en klantentevredenheid. Hierbij wordt gekeken naar de cyclustijd van een product, het aantal verkochte producten tegenover het aantal geproduceerde producten en de nauwkeurigheid van de uitgevoerde bestellingen. Daarnaast is de levertijd van bestelling een cruciaal onderdeel van de klantentevredenheid en dit heeft een grote impact op de structuur van het netwerk. Indien de cyclustijd van een product zeer lang is, dan zijn slechts enkele distributiecentra nodig. Op deze locaties worden grote voorraden aangehouden die later verdeeld worden onder de verschillende verkooppunten. Een korte cyclustijd vraagt naar een grote hoeveelheid distributiecentra waar enkel kleine voorraden worden gestockeerd. Met deze methode kan de lokale vraag snel beantwoord worden. Supply chain netwerk modellen kunnen ontworpen worden om de cyclustijd te minimaliseren door de levertijden zo kort mogelijk te maken. Het is ook mogelijk om het service level te maximaliseren met een netwerk model. Dit doel is eerder vermeld in sectie 3.1 (Song & Sun, 2017).

Het resultaat van het onderzoek wordt weergegeven in figuur 7 (Song & Sun, 2017). De cijfers op de lijnen tonen de geschatte invloed op de structuur van een supply chain netwerk. Omdat de eigenschappen op sommige vlakken overlappen is de samengestelde score groter dan 1. De product eigenschap heeft de hoogste score, namelijk 0.70. Hiermee wordt aangetoond dat het product ontwerp het belangrijkste aspect is voor het ontwerpen van een supply chain netwerk model. Vraag en service vereisten scoorde beide 0.36. Dit wil zeggen dat zowel de gemiddelde gevraagde hoeveelheid en volatiliteit van de vraag als de cyclustijd van een product en de betrouwbaarheid van de leveringen even belangrijk zijn in een netwerk model. De aankoop eigenschap kreeg een score van 0.33, wat bevestigt dat strategische aankoop ook een invloed heeft op de structuur van een netwerk. De eigenschap met de laagste score is sociaal-politiek, namelijk 0.18. De invloed van dit eigenschap werd niet significant benoemd. Dit verklaart dat de variabelen uit tabel 3 (Song & Sun, 2017) die gelinkt worden aan de politiek-sociale eigenschap niet van uiterst belang zijn tijdens het ontwerpen van een supply chain netwerk. Dit betekent niet dat deze variabelen als onbelangrijk geacht mogen worden. De belastingtarieven en verschillende munteenheden en wetgevingen kunnen nog steeds voor extra kosten zorgen in globale supply chain netwerken (Song & Sun, 2017).



**Figuur 7:** Resultaat onderzoek invloed van eigenschappen. Aangepast van (Song & Sun, 2017).



## **4 Facility location modellen**

Om een supply chain netwerk model te ontwerpen moet een organisatie met een grote hoeveelheid beslissingsvariabelen rekening houden. Gezien het brede spectrum van een supply chain netwerk is het onmogelijk om alle aspecten van de verschillende supply chain processen op te nemen in één model. Het netwerk model moet realistische scenario's weergeven zonder dat het te complex wordt om te berekenen (Min & Zhou, 2002). De belangrijkste factoren die een grote invloed hebben op het netwerkmodel zijn de locaties, productie, voorraad en het transport (Govindan et al., 2017). Het bepalen van de locaties van de verschillende processen binnen een supply chain netwerk speelt een fundamentele rol in het ontwerpen van een model. Elke andere beslissingsvariabele wordt gebaseerd op de locatiebepaling en hierdoor is het ook het beginpunt van elk netwerk model (Song & Sun, 2017).

Facility location modellen gebruiken wetenschappelijke oplossingsmethodes om de beste locatie te bepalen voor productiehallen, magazijnen, distributiecentra, verkooppunten, etc. Het doel van deze modellen is om de verschillende faciliteiten zo te plaatsen dat het supply chain netwerk effectief en efficiënt kan werken (Peng, Qin, & Yang, 2016). In de afgelopen jaren hebben verschillende onderzoekers het concept van facility location modellen proberen uit te breiden. Dit werd gedaan door modellen te ontwerpen die naast de locatiebepaling ook andere beslissingsvariabelen probeerde te optimaliseren. Farahani, Bajgan, Fahimnia en Kaviani (2015) hebben een model ontwikkeld dat de locatie van een faciliteit bepaald gebaseerd op de voorraadverdeling doorheen het netwerk. Zo wordt het strategisch locatie aspect van SCND gecombineerd met de tactische en operationele beslissingen rond het voorraadbeheer.

In dit hoofdstuk worden een aantal soorten facility location modellen en de verschillende mogelijkheden die ze bieden voor het ontwerpen van een supply chain netwerk bekeken.

### **4.1 Begripsverklaring i.v.m. facility location modellen**

Om verwarring te vermijden wordt eerst een korte uitleg gegeven over de kenmerken van de verschillende wiskundige modellen. Deze kenmerken bepalen hoe een model is opgebouwd en hoe de optimale oplossing berekend wordt.

#### **4.1.1 Deterministisch - stochastisch – hybride**

Het type van het model bepaalt hoe er wordt omgegaan met de gegevens. Deterministische modellen veronderstellen dat alle gegevens gekend zijn en onveranderd blijven doorheen de jaren. Dit maakt het makkelijker om meerdere objectieven te verwerken in een model. De betrouwbaarheid ligt hierbij wel lager doordat sommige factoren een bepaalde onzekerheid hebben (Min & Zhou, 2002).

Stochastische modellen erkennen daarentegen deze onzekerheid en lossen dit probleem op door gebruik te maken van voorspellingen. Zo wordt bijvoorbeeld de vraag als een variabele parameter in een model gestoken. Deze variabele parameter verandert in iedere iteratie van het model. In elke iteratie wordt de optimale locatie berekend, afhankelijk van de fluctuerende vraag. Om de optimale locatie te bepalen, onafhankelijk van de variabele parameter, worden alle iteraties met elkaar vergeleken (Min & Zhou, 2002).

Hybride modellen zijn een combinatie van deterministische en stochastische modellen. Deze modellen geven de mogelijkheid om modellen op te splitsen in twee of meer stappen om de

complexiteit te verlagen. Een voorbeeld hiervan is de locatie van de klanten ook als een variabele parameter te bekijken, bovenop de onzekere vraag. Voor de optimale locatie van de nodige faciliteiten berekend wordt, zal eerst de variabele locatie van de klanten bepaald worden. Hiervoor kan bijvoorbeeld een genetisch algoritme gebruikt worden. Dit soort algoritme bepaalt een willekeurige x en y coördinaat voor elke individuele klant in het netwerk. Eens de verschillende locaties voor de eerste iteratie bepaald zijn, wordt de optimale locatie van de faciliteit berekend. Deze twee stappen worden een aantal keer uitgevoerd tot er voldoende iteraties zijn om de optimale locatie te berekenen die onafhankelijk is van de variabelen (Wen, Qin, & Kang, 2014).

#### **4.1.2 Statisch – dynamisch**

Het statische of dynamische aspect van een facility location model bepaalt of het tijdselement van een netwerk wordt gerespecteerd. Statische modellen houden geen rekening met parameters die over de jaren heen kunnen veranderen. Alle variabelen worden op voorhand door voorspellingen bepaald en deze blijven onveranderd. Dit is natuurlijk niet realistisch aangezien parameters zoals de vraag en de operationele kosten kunnen variëren over een lang termijn (Wang, Lim, & Ouyang, 2017).

Dynamische modellen houden wel rekening met variabele parameters. Deze modellen proberen niet alleen te berekenen waar een faciliteit geplaatst moet worden, maar ook wanneer dit zou moeten gebeuren. Dynamische modellen geven ook de mogelijkheid om faciliteiten toe te voegen of te elimineren. Zo kan een model na verloop van tijd het netwerk uitbreiden indien de vraag zou stijgen (Wang et al., 2017).

#### **4.1.3 Ex-ante - ex-post & single period – multi-period**

Hierbij wordt bepaald wanneer een beslissing in verband met een variabele parameter wordt doorgevoerd. Ex-ante modellen baseren zich op voorspellingen en maken beslissingen voor een bepaalde verandering gebeurt. Een voorbeeld hiervan is een voorspelling waar de vraag met 10% gaat stijgen over twee maanden. Ex-ante modellen gaan anticiperen door de veiligheidsvoorraad te verhogen. Ex-post modellen maken pas een beslissing wanneer de verandering is gebeurd. In het voorbeeld zou de productie pas verhoogd worden op het moment dat de vraag effectief is gestegen (Bruno, Genovese, & Piccolo, 2016).

Een verdere opsplitsing kan gemaakt worden tussen single en multi-period modellen. Single period modellen verwerken slechts één voorstel per model, in tegenstelling tot multi-period modellen die het netwerk over een lange tijdshorizon proberen te optimaliseren. Ex-ante single period modellen beginnen met de initiële opstelling van een supply chain netwerk. Deze modellen hebben als doel het netwerk aan te passen gebaseerd op voorspellingen. Ex-ante multi-period modellen worden ontworpen om dynamische aanpassingen te maken om het netwerk zo efficiënt mogelijk te laten draaien. Hierbij worden de variabele parameters continu geëvalueerd om te kijken welke stappen in het supply chain netwerk niet optimaal functioneren. Het analyseren van deze data geeft de mogelijkheid om de aankoop, productie, voorraad, etc. te verhogen of verlagen om voorbereid te zijn op de veranderende trends (Bruno et al., 2016).

Ex-post single period modellen maken aanpassingen, gebaseerd op veranderingen die al gebeurd zijn, die binnen een korte tijdshorizon uitgevoerd kunnen worden. Deze veranderingen zijn vooral

gefocusd op de tactische en operationele aspecten van het supply chain netwerk. Ex-post multi-period modellen focussen op de strategische aanpassingen die gemaakt moeten worden binnen een netwerk maar die een lange tijd nodig hebben om volledig uitgewerkt te worden. Een voorbeeld van dit soort veranderingen is het openen van nieuwe vestigingen of het sluiten van bestaande vestigingen binnen het netwerk (Bruno et al., 2016).

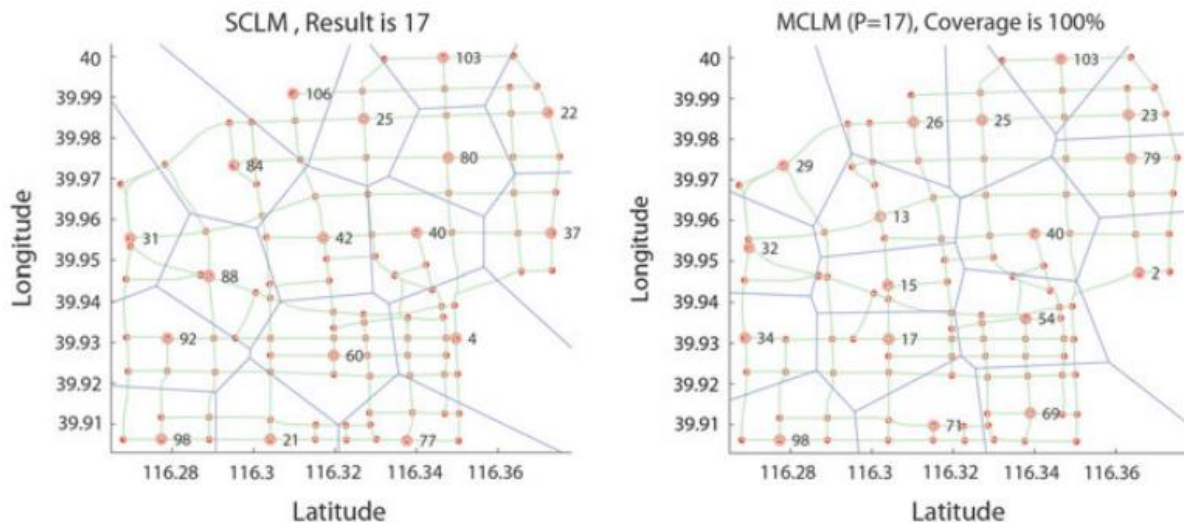
## **4.2 Bespreking facility location modellen**

### **4.2.1 Location covering modellen**

Een location covering model (LCM) is een klassiek voorbeeld van een facility location probleem. Het doel van een LCM is om de actoren, bijvoorbeeld de verkooppunten, zo te plaatsen om aan de volledige vraag van alle klanten in een bepaald gebied te voldoen. Om een klant te kunnen bedienen moet de afstand tussen het verkooppunt en de klant kleiner of gelijk zijn aan een op voorhand bepaalde waarde. Deze waarde is de covering radius, ofwel de dekkingsgraad van een verkooppunt. LCM kan voor verschillende problemen gebruikt worden. Enkele voorbeelden hiervan zijn: de planning van het aantal scholen, politiebureaus, ziekenhuizen, bibliotheken, etc. in een bepaalde omgeving. Een LCM focust op vier aspecten van een facility location probleem: aantal verkooppunten, locatie en capaciteit van deze verkooppunten en hoe de goederen verdeeld worden over deze verkooppunten (Peng et al., 2016).

Peng et al. (2016) maken de vergelijking tussen twee verschillende location covering modellen. De eerste vorm van een LCM dat besproken wordt is het set covering location model (SCLM). Het objectief van SCLM is om de totale kost van het plaatsen van actoren te minimaliseren met de voorwaarde dat de volledige vraag beantwoord wordt. De ongelijkheden in de vraag van de verschillende klanten mogen genegeerd worden omdat SCLM uitgaan van een gelijk verdeelde vraag die verspreid is over de verschillende verkooppunten. In dit soort modellen is het mogelijk dat een klant door meerdere verkooppunten bediend wordt. De tweede vorm is het maximum covering location model (MCLM). Dit type modellen limiteert het aantal verkooppunten en probeert de totale beantwoorde vraag te maximaliseren. In MCLM is het niet noodzakelijk om alle klanten te bedienen (Peng et al., 2016).

SCLM en MCLM zijn twee verschillende modellen met verschillende voorwaarden en doelstellingen, maar Peng et al. (2016) tonen aan dat de twee modellen aan elkaar gerelateerd zijn. Het gelimiteerd aantal verkooppunten die geplaatst worden in een MCLM zouden niet hoger mogen zijn dan het minimum aantal verkooppunten die vereist zijn volgens de optimale oplossing van een SCLM. Hetzelfde geldt voor de totale kost van het openen van de actoren. De totale kost in een MCLM zou niet hoger mogen zijn dan de minimum kost van een SCLM. Om deze eigenschappen in de praktijk toe te passen, raden Peng et al. (2016) aan om eerst het minimum aantal verkooppunten te berekenen met een SCLM. Dit om te weten wanneer de vraag volledig beantwoord wordt. Vervolgens kan deze uitkomst vergeleken worden met het gelimiteerde aantal verkooppunten dat geplaatst wordt in een MCLM. Indien dit aantal lager is dan het resultaat van het SCLM, dan wordt een MCLM toegepast.



**Figuur 8:** Resultaat van SCLM en MCLM. Herdrukt van (Peng et al., 2016).

Figuur 8 (Peng et al., 2016) geeft de optimale oplossing van een SCLM en een MCLM weer. Beide modellen zijn uitgevoerd op hetzelfde stratennetwerk. Elk oranje bolletje is een kruispunt van twee of meer straten. Het doel van het model is om de optimale kruispunten te vinden waar een politieagent van wacht kan zijn voor wanneer een ongeluk zou gebeuren. De dekkingsgraad van een agent is 1.5 kilometer. Alle gegevens van de case zijn op voorhand gekend en blijven onveranderd. Deze location covering modellen zijn dus statische, deterministische modellen die worden opgelost met linear programming software. Zowel het SCLM als het MCLM bekomen een optimale oplossing waarbij op 17 kruispunten een agent wordt geplaatst. Het MCLM voorziet een dekking van 100%. Hoewel beide modellen 17 kruispunten weergeven is het opvallend dat de twee modellen slechts vier gemeenschappelijke kruispunten delen, namelijk: 25, 40, 98 en 103 (Peng et al., 2016).

#### 4.2.2 Capacitated facility location problemen

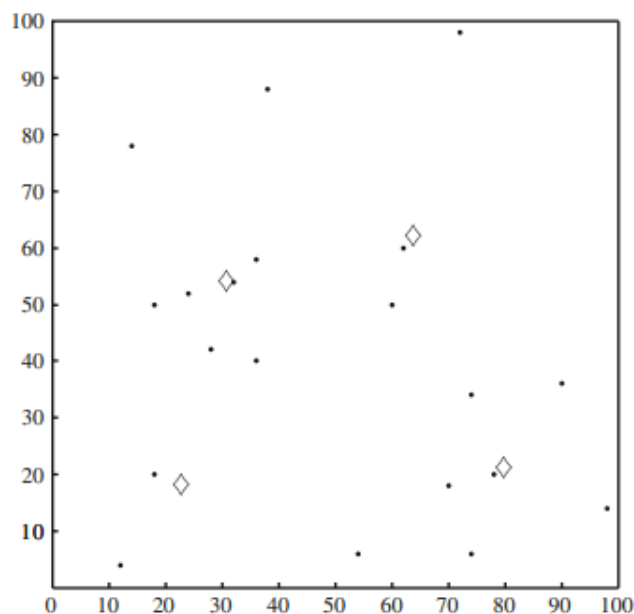
De exacte totale vraag van de consumenten is vaak een onzekerheid binnen het formuleren van een facility location model. Het is mogelijk om een expert in te huren die voorspellingen zal maken over de hoeveelheid potentiële klanten in een bepaalde regio. Deze voorspellingen zijn gebaseerd op historische data. Deze data is helaas niet altijd aanwezig. Het algoritme ontworpen door Wen et al. (2014) wordt toegepast op een capacitated facility location probleem. Dit wil zeggen dat de distributiecentra een gelimiteerde capaciteit hebben. Het doel van het model is om vier nieuwe distributiecentra te plaatsen in een 100x100 rooster. De vraag van iedere consument moet beantwoord worden, maar de transportkosten van het netwerk moeten zo laag mogelijk zijn. Elke klant kan door elk centrum bediend worden, maar hoe verder ze van elkaar verwijderd zijn, hoe duurder het wordt. Omdat hier een nieuw netwerk ontworpen wordt, kan geen informatie uit het verleden gebruikt worden om voorspelling van de vraag op te baseren (Wen et al., 2014).

Het hybrid intelligence algoritme van Wen et al. (2014) bestaat uit een statisch, stochastisch model dat gecombineerd wordt met een genetisch algoritme. Het genetisch algoritme bepaalt per iteratie 20 willekeurige locatie voor de klanten, elk met een variabele vraag. Deze variabele vraag is bijvoorbeeld 13, 16 en 18 eenheden per aankoop. De vier distributiecentra hebben een gelimiteerde capaciteit, 100, 110, 120 en 130 respectievelijk in deze case. Iedere klant wordt aan één centrum

verbonden. Elk centrum moet dus in staat zijn om de maximale vraag van elk van zijn klanten te kunnen voorzien. Als het algoritme uitgevoerd wordt, zal het vier specifieke locaties berekenen voor de vier distributiecentra waarbij de totale transportkosten geminimaliseerd is. Het hybrid intelligence algoritme wordt duizend keer uitgevoerd om de optimale locaties van de distributiecentra te bepalen. Tabel 4 (Wen et al., 2014) geeft de klantgegevens weer die gegenereerd zijn door het genetisch algoritme. Deze informatie wordt gebruikt als invoerdata voor één iteratie. Figuur 9 (Wen et al., 2014) toont de optimale oplossing voor deze iteratie. De puntjes illustreren de twintig klanten en de ruiten zijn de vier distributiecentra (Wen et al., 2014).

Customer j	Location	Demand	Customer j	Location	Demand
1	(28, 42)	$Z(14, 15, 17)$	11	(14, 78)	$Z(13, 15, 17)$
2	(18, 50)	$Z(13, 14, 18)$	12	(90, 36)	$Z(11, 14, 17)$
3	(74, 34)	$Z(12, 14, 16)$	13	(78, 20)	$Z(13, 15, 19)$
4	(74, 6)	$Z(17, 18, 20)$	14	(24, 52)	$Z(11, 13, 16)$
5	(70, 18)	$Z(21, 23, 26)$	15	(54, 6)	$Z(20, 24, 26)$
6	(72, 98)	$Z(24, 26, 28)$	16	(62, 60)	$Z(16, 18, 23)$
7	(60, 50)	$Z(13, 15, 16)$	17	(98, 14)	$Z(18, 19, 22)$
8	(36, 40)	$Z(12, 14, 17)$	18	(36, 58)	$Z(13, 14, 17)$
9	(12, 4)	$Z(13, 15, 17)$	19	(38, 88)	$Z(16, 17, 20)$
10	(18, 20)	$Z(22, 24, 26)$	20	(32, 54)	$Z(19, 22, 25)$

**Tabel 4:** Locatie en vraag van klanten bepaald door een genetisch algoritme. Herdrukt van (Wen et al., 2014).



**Figuur 9:** Resultaat hybrid intelligence algoritme. Herdrukt van (Wen et al., 2014).

#### 4.2.3 Hierarchical facility location problemen

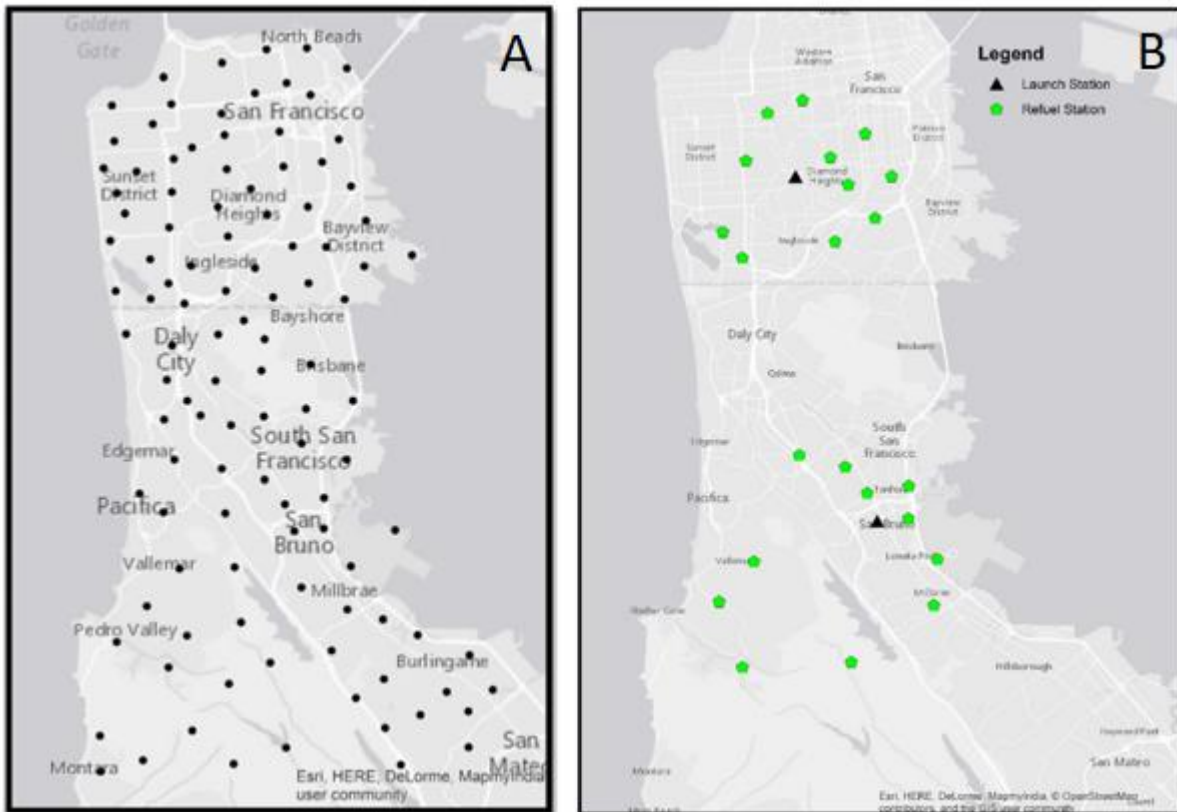
Supply chain netwerken met een hiërarchische structuur bestaan uit verschillende niveaus, elk met een specifieke taak. Het laagste niveau, level 0, bestaat uit de klanten. De vraag naar goederen en/of diensten is afkomstig van dit niveau. Het hoogste niveau van het netwerk is level m, de



leveranciers die het netwerk voorzien van grondstoffen en componenten. Het doel van hierarchical facility location problemen (HFLP) is om de locatie van de verschillende actoren op elk niveau in een netwerk te plaatsen. Dit op een manier waarop hogere niveaus de lagere niveaus zowel effectief als efficiënt kunnen helpen. HFLP worden toegepast in verschillende omgevingen, enkele voorbeelden hiervan zijn: het gezondheidszorgsysteem, afvalbeheer, het onderwijssysteem, medische nooddiensten, pakketbezorgdiensten, etc. (Farahani, Hekmatfar, Fahimnia, & Kazemzadeh, 2014).

Shavarani, Nejad, Rismanchian en Izbirak (2018) hebben een HFLP gebruikt om een Amazon Prime Air case op te lossen. Het is een single-flow netwerk dat uit drie niveaus bestaat. Level 0 is de klant, waar de vraag ontstaat. Level 1 is een oplaadstation, hier kunnen drones batterijen opladen om naar hun volgende locatie te vliegen. Level 2 is een lanceerstation in het distributiecentrum waar de drones met het pakketje vertrekken. De drones kunnen enkel bestellingen leveren, retours zijn niet mogelijk. De opbouwkosten van de lanceer- en oplaadstations zijn op voorhand gekend. De prijs van een oplaadstation is aanzienlijk lager dan de prijs van een lanceerstation. De variabele kost is de transportkost, dewelke afhankelijk is van de totale afgelegde afstand. Het doel van het HFLP is om de totale kost van het project te minimaliseren. Shavarani et al. (2018) voegen nog enkele beperkingen toe om het model realistischer te maken. Een drone kan de bestelling van één klant bezorgen per bezoek aan een lanceerstation. Dit komt door de gelimiteerde capaciteit van een drone. Elke klant wordt op voorhand toegewezen aan één oplaadstation en hetzelfde geldt voor elk oplaadstation dat wordt toegewezen aan een lanceerstation. Deze toewijzing wordt berekend door telkens de kortste afstand tussen twee punten te nemen. Een drone kan maar een bepaalde afstand afleggen voor de batterij plat is. Dit wil zeggen dat de afstand tussen een klant en een oplaadstation en tussen een oplaadstation en een lanceerstation altijd kleiner moet zijn dan de maximale batterijcapaciteit van een drone. Om het rekenwerk van het model te verminderen hebben Shavarani et al. (2018) alle mogelijke klantlocaties op de uiterste rand van de stad geplaatst. Deze locaties geven de grootste afstand weer die een drone ooit zal moeten afleggen.

Om het stochastische HFLP op te lossen gebruiken Shavarani et al. (2018) een genetisch algoritme. Dit genetisch algoritme gaat de locaties van 50-150 klanten, afhankelijk van de uitgevoerde test, willekeurig bepalen. Iedere iteratie heeft dus een unieke locatie voor elke individuele klant. De case heeft 110 op voorhand bepaalde locaties verspreid over het gebied waar een lanceer- of oplaadstation gebouwd kan worden. Het aantal stations is niet gelimiteerd. De beschikbare locaties worden getoond in figuur 10a (Shavarani et al., 2018). Het doel van het model is om de totale opbouwkosten en de totale afgelegde afstand te minimaliseren door een optimale locatie te vinden voor de lanceer- en oplaadstations. Het algoritme werd 50-100 keer uitgevoerd, afhankelijk van de test. De optimale uitkomst van de verschillende testen toont aan dat Amazon twee lanceerstations en 22 oplaadstations zal moeten bouwen voor de totale kosten van het netwerk te minimaliseren (Shavarani et al., 2018). Een voorstel van deze oplossing is zichtbaar in figuur 10b (Shavarani et al., 2018).



**Figuur 10:** (a) Beschikbare locaties (b) Resultaat. Aangepast van (Shavarani et al., 2018).

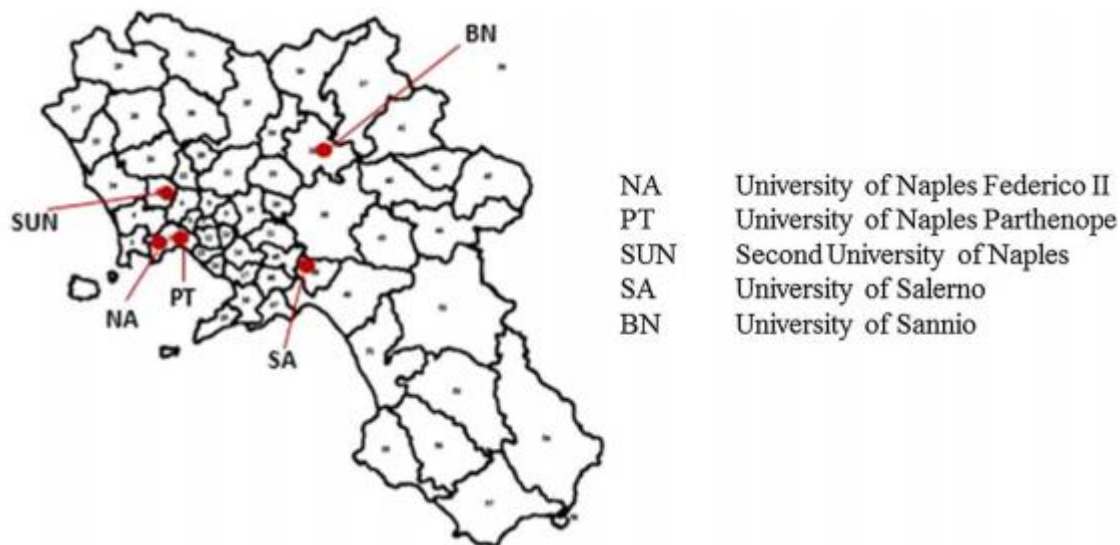
#### 4.2.4 Herstructurering van bestaande supply chain netwerken

In de voorgaande modellen werd het facility location probleem altijd gebruikt om nieuwe netwerken te ontwerpen. Bruno et al. (2016) hebben een model ontworpen dat een bestaand supply chain netwerk herstructureert en optimaliseert. Een supply chain netwerk blijft niet eeuwig optimaal werken. Sommige actoren in het netwerk verouderen en moeten vernieuwd, aangepast of gesloten worden. Indien dit niet tijdig gecontroleerd wordt, kunnen de operationele kosten die gelinkt zijn aan deze oudere actoren stevig oplopen. Het sluiten van een actor heeft natuurlijk gevolgen. De operationele kosten gaan dalen, en de hele supply chain zal voordeliger worden. Het negatieve gevolg is dat de service verlaagt. Dit zorgt voor een hogere bezettingsgraad van de overige actoren, waardoor de klanttevredenheid kan dalen. Dit omdat de klant verder moeten rijden en de wachttijden zullen stijgen (Bruno et al., 2016).

Herstructureringsmodellen kunnen gebruikt worden om het netwerk van een openbare dienst te optimaliseren. Enkele voorbeelden van openbare diensten waarbij deze modellen gebruikt worden zijn netwerken van ziekenhuizen, recycling centra, scholen, etc. Indien bijvoorbeeld het schoolgebouw niet groot genoeg meer is om aan alle kinderen in een dorp les te geven, is het niet absoluut nodig om deze school te sluiten en een nieuwe school te bouwen. Het oude schoolgebouw kan gebruikt worden om bijvoorbeeld het eerste en tweede leerjaar op te vangen, terwijl een nieuwe school gebouwd kan worden om aan de overige vier leerjaren les te geven (Bruno et al., 2016).

In een bestaand supply chain netwerk is de nodige data aanwezig om te analyseren waar aanpassingen gemaakt moeten worden. Het ex-post multi-period model van Bruno et al. (2016)

wordt uitgevoerd op een casestudy op de Campania regio in Italië. Het doel van het model is om het bestaand universiteiten netwerk van Italië te analyseren om te identificeren welke universiteiten aangepast of gesloten moeten worden. Tussen 1995 en 2009 is het aantal universiteiten verdubbeld van 93 naar 185. Deze worden voor 80% gesubsidieerd door de lokale en regionale overheid. De gemiddelde bezettingsgraad van een universiteit is 54%. Om de overheidsuitgaven te minimaliseren moeten universiteiten mogelijks bepaalde afstudeerrichtingen sluiten en de capaciteit van andere faculteiten verhogen. Bruno et al. (2016) maken de assumptie dat 80% van de studenten kiest om in hun eigen regio te gaan studeren. Om dit probleem op te lossen werd de Campania regio in Italië verdeeld in 58 zones elk met het aantal inwoners per vierkante kilometer, zie figuur 11. De vijf grootste universiteiten met hun eigen ingenieursfaculteit werden onderzocht door het model (Bruno et al., 2016).



**Figuur 11:** Zoneverdeling Campania regio Italië. Herdrukt van (Bruno et al., 2016).

Door het model uit te voeren in een linear programming solver zijn Bruno et al. (2016) erin geslaagd om de totale kosten te minimaliseren. Tabel 5a (Bruno et al., 2016) toont de inschrijvingen en capaciteit per faculteit van een universiteit. Een overzicht van de resultaten is terug te vinden in tabel 5b. "N/A" geeft een gesloten faculteit weer. De cijfers tonen de bezettingsgraad van een faculteit voor en na de aanpassingen van het model. Voor het model werd uitgevoerd had het netwerk een gemiddelde bezettingsgraad van 54%. Volgens de optimale oplossing zouden 11 van de 45 faculteiten, verdeeld over de vijf grootste universiteiten in de Campania regio, gesloten kunnen worden. Na het sluiten van 11 faculteiten ligt de gemiddelde bezettingsgraad op 70%. Indien 12 of meer faculteiten gesloten worden, zal de overheid moeten investeren in een vergroting van de capaciteit van de overige universiteiten. Het model heeft een voorkeur om diensten met een lage capaciteit te sluiten, omdat deze ergens anders toegewezen kunnen worden zonder te hoge kosten op te lopen. Dit is ook zichtbaar in deze case study. De universiteit van Naples Parthenope (PT) ligt dicht bij de universiteit van Naples Federico II (NA). Alle studenten die ingeschreven zijn aan universiteit PT passen nog binnen de capaciteit van universiteit NA. Hierdoor wordt Naples Parthenope volledig gesloten (Bruno et al., 2016).

a	Faculty <i>j</i>											
	NA		SUN		PT		SA		BN		Total	
	Enrol.	Cap.	Enrol.	Cap.	Enrol.	Cap.	Enrol.	Cap.	Enrol.	Cap.	Enrol.	Cap.
Degree program <i>k</i>												
Civil	163	300	150	200	47	100	125	300	69	150	554	1050
Environmental	87	150	33	100	11	50	63	150	–	–	194	450
IT	293	450	88	100	–	–	139	300	81	150	601	1000
Electronic	120	300	38	50	–	–	51	150	–	–	209	500
Telecommunication	52	150	–	–	34	150	–	–	27	150	113	450
Aerospace	229	450	44	50	–	–	–	–	–	–	273	500
Mechanical	455	600	97	100	–	–	137	150	–	–	689	850
Chemical	171	300	–	–	–	–	88	150	–	–	259	450
Management	337	450	–	–	51	150	130	300	–	–	518	900
Total	1907	3150	450	600	143	450	733	1500	177	450	3410	6150

b	Faculty <i>j</i>											
	NA		SUN		PT		SA		BN			
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Degree program <i>k</i>												
Civil	0.77	0.88	0.89	0.97	0.61	N/A	0.42	0.45	0.34	0.35		
Environmental	0.64	0.77	0.52	0.57	0.57	N/A	0.35	0.37	–	–		
IT	0.74	0.95	0.99	N/A	–	–	0.29	0.30	0.28	0.31		
Electronic	0.33	0.59	0.83	N/A	–	–	0.23	N/A	–	–		
Telecommunication	0.61	N/A	–	–	0.15	N/A	–	–	0.08	0.84		
Aerospace	0.43	0.53	0.93	N/A	–	–	–	–	–	–		
Mechanical	0.73	0.88	0.91	N/A	–	–	0.60	0.61	–	–		
Chemical	0.66	0.82	–	–	–	–	0.31	N/A	–	–		
Management	0.93	0.99	–	–	0.21	N/A	0.25	0.25	–	–		
Total	0.67	0.77	0.85	0.42	0.32	N/A	0.34	0.30	0.23	0.50		

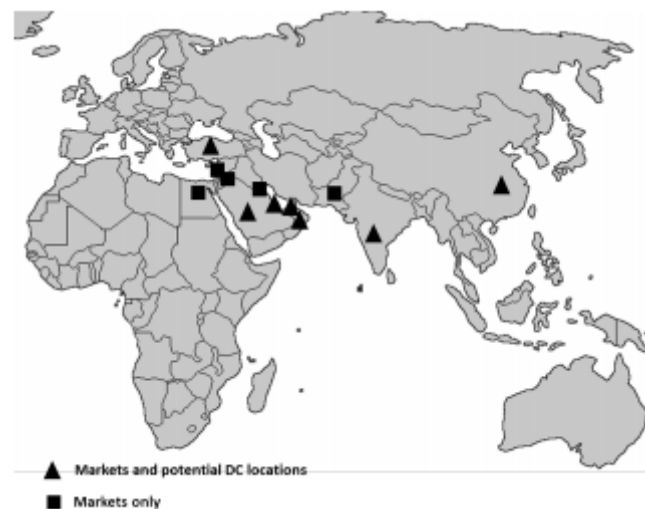
**Tabel 5:** (a) Inschrijvingen en capaciteit per faculteiten (b) Bezettingsgraad voor en na het sluiten van faculteiten. Herdrukt van (Bruno et al., 2016).

#### 4.2.5 Ontwerpen van globale netwerken

Boujelben en Boulaksil (2018) gebruiken een mixed-integer linear programming (MILP) model om een case van een multinationalaal bedrijf op te lossen. Het bedrijf wil zijn supply chain uitbreiden over verschillende landen door meerdere nieuwe distributiecentra te bouwen om de nieuwe markten te voorzien van hun producten. De case vindt plaats in een gebied dat het Midden-Oosten, India en China omvat. Doordat dit bedrijf op een globale schaal actief is, is het zeer belangrijk om het volledige proces zo efficiënt mogelijk te maken. De verschillende landen hebben elk hun eigen regelgeving, munteenheid, politieke en financiële voorwaarden. Deze factoren kunnen een grote invloed hebben op de supply chain, waardoor het belangrijk is om te onderzoeken welk land de beste locatie is voor een distributiecentrum (Boujelben & Boulaksil, 2018).

Om de case zo realistisch mogelijk aan te pakken hebben Boujelben en Boulaksil (2018) het model zeer uitgebreid en complex gemaakt. Het doel van het model is om de distributiecentra zo optimaal

mogelijk te plaatsen om de winst over de planningshorizon te maximaliseren. Uit een onderzoek blijkt dat zeven potentiële locaties beschikbaar zijn voor een distributiecentrum te bouwen. Deze kunnen producten bezorgen binnen het eigen land of aan naburige landen. De centra hebben een gelimiteerde capaciteit en behouden geen voorraad. De twaalf nieuwe markten zijn verspreid over het gebied met een planningshorizon van vijf jaar. Alle kosten worden berekend in USD, maar worden betaald in de lokale munteenheid (Boujelben & Boulaksil, 2018). Een overzicht van de locaties is zichtbaar in figuur 12 (Boujelben & Boulaksil, 2018).



**Figuur 12:** Beschikbare locaties. Herdrukt van (Boujelben & Boulaksil, 2018).

Het doel van het model is om de opbrengsten te maximaliseren. Dit wordt berekend door de opbrengsten te verminderen met de vaste en variabele kosten, de vennootschapsbelastingen en de boetes die betaald moeten worden indien de vraag niet volledig beantwoord wordt. De opbrengsten zijn de totale verkochte hoeveelheden van producten per distributiecentrum, vermenigvuldigd met de lokale verkoopprijs. Deze verkoopprijs varieert per land en munteenheid. De vaste kosten bestaan uit de initiële investeringen om de distributiecentra te bouwen. Deze worden allemaal op het begin van de planningshorizon gebouwd. Boujelben en Boulaksil (2018) maken de assumptie dat elk land een subsidie geeft indien een distributiecentrum in hun land gebouwd wordt. De variabele kosten omvatten de overdrachtskosten, importkosten, inkomende en uitgaande transportkosten. De overdrachtskosten zijn de kosten die ontstaan wanneer een transactie plaatsvindt tussen twee actoren van hetzelfde bedrijf. Verder omvatten de inkomende transporten alle kosten van de producten die van de productiefabrieken naar de distributiecentra vervoerd worden. Uitgaande transportkosten zijn de kosten voor het transport tussen het distributiecentrum en de lokale verkooppunten in de markt. In elk land waar een distributiecentrum gebouwd is, moet het bedrijf een importkost betalen voor de geïmporteerde goederen. Dit heeft de lokale overheid ingevoerd om de lokale bedrijven te beschermen. De vennootschapsbelastingen zijn belastingen die betaald worden op de jaarlijkse winst per distributiecentrum. Door de gelimiteerde capaciteit van een distributiecentrum is het mogelijk dat de vraag van een bepaalde markt niet volledig beantwoord wordt. Hiervoor moet een boete betaald worden (Boujelben & Boulaksil, 2018).

Het model van Boujelben en Boulaksil (2018) is opgebouwd in twee stappen. In de eerste fase wordt de strategische locatie van de distributiecentra bepaald. In de tweede fase worden de tactische distributiestromen tussen de verschillende markten en distributiecentra berekend. Het model is dynamisch opgebouwd om rekening te houden met de variabele parameters. De vraag, variabele kosten, wisselkoersen en verkoopprijzen evolueren over vijf jaar tijd. Om de invloed van bepaalde parameters op het supply chain netwerk te onderzoeken hebben Boujelben en Boulaksil (2018) verschillende versies van hun model gemaakt.

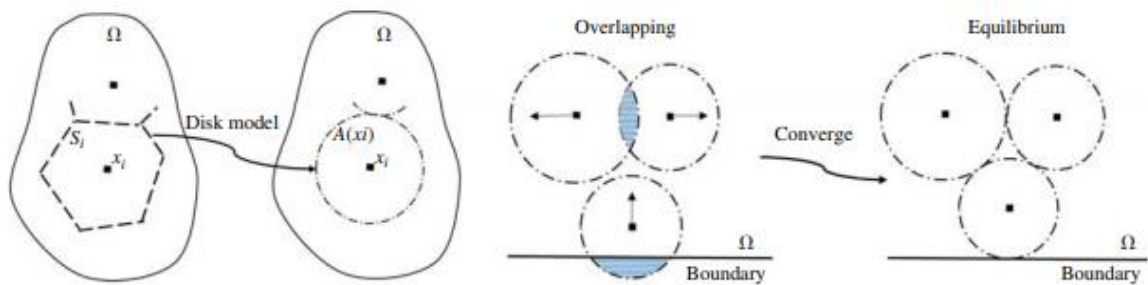
Uit de resultaten van de verschillende modellen kan afgeleid worden dat een land met lage importkosten en vennootschapsbelastingen aantrekkelijker is om een distributiecentrum in te bouwen. Het omgekeerde geldt voor een land met hoge belastingen. Zelfs indien het land een zeer hoge subsidie geeft om een centrum te bouwen, blijven de hoge belastingen te duur over een periode van vijf jaar. Een land met een laag inflatiepercentage en een stabiele munt krijgt ook de voorkeur. Alle handelingen gebeuren in USD en worden omgerekend naar de lokale munt. Een volatiele wisselkoers heeft een grote impact op de totale winst. Dit kan zowel een positief als negatief resultaat geven, maar het bedrijf wil hier geen risico's mee nemen. De sterkte van de groei van de vraag heeft ook een impact op de opbrengsten. Indien de groei zeer laag is, worden minder distributiecentra geopend. Als de vraag dan een uitzonderlijk hoge piek vertoont, dan zullen deze centra niet in staat zijn om de volledige vraag te beantwoorden door de gelimiteerde capaciteit. Hierdoor zal de kost van de verloren vraag enorm stijgen. Boujelben en Boulaksil (2018) concluderen dat de bovenstaande parameters die verschillen tussen landen een significante impact kunnen hebben op het ontwerpen van een globaal supply chain netwerk.

#### **4.2.6 Simuleren van facility location modellen op lange termijn**

Strategische facility location modellen werken vaak met lange termijn plannen waarbij een significant deel van de middelen ingezet worden om het model uit te werken. Eens deze plannen in gang gezet zijn, is het moeilijk om ze nog te veranderen. Statische modellen worden regelmatig gebruikt om facility location problemen op te lossen, maar deze vertonen eerder een momentopname van de beschikbare data. Daarom is het belangrijk om het tijdselement op te nemen in een facility location model. Continuous approximation (CA) geeft organisaties de mogelijkheid om variabele parameters te simuleren over de volledige tijdshorizon waarin een project uitgewerkt wordt. In tegenstelling tot de vorige modellen wordt bij CA niet gezocht naar de exacte voorspelde waarde van de vraag. CA gebruikt een gemiddelde verdeling van de vraag om geloofwaardige simulaties te creëren van een supply chain netwerk over de jaren heen (Tsao et al., 2018).

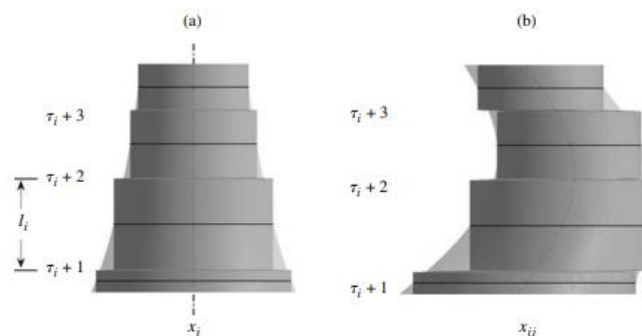
Wang et al. (2017) hebben een stochastisch facility location model ontwikkeld dat gebruik maakt van CA om de optimale timing en locatie van meerdere distributiecentra te berekenen. Het doel is om de totale netwerkcosten doorheen de planningshorizon te minimaliseren. Het is een dynamisch model dat rekening houdt met een groeiende markt waarbij de vraag kan stijgen, en de operationele kosten van een actor kunnen dalen. Het model kan distributiecentra toevoegen op een later tijdstip, maar het is niet mogelijk om een centrum te verplaatsen of te sluiten. Klanten worden bediend door de dichtstbijzijnde actor. De totale kost van het netwerk bestaat uit de eenmalige vaste investering om een centrum op te bouwen, de variabele operationele kosten en de transportkosten (Wang et al., 2017).

In de eerste stap van het model wordt een statisch servicegebied berekend. Een momentopname waar alle parameters constant zijn. Ieder distributiecentrum heeft een eigen geoptimaliseerd servicegebied. Dit servicegebied wordt dan omgevormd naar een egale cirkel, het distributiecentrum ligt altijd in het midden van de cirkel. Het model berekent ook hoeveel distributiecentra nodig zijn om aan de volledige vraag te beantwoorden. Eens deze berekening voltooid is voor ieder distributiecentrum worden alle schijven op een gelimiteerde plattegrond geplaatst waar het bedrijf zijn actoren wil plaatsen. Indien enkele cirkels met elkaar overlappen of de grenzen van het gebied overschrijden, worden deze verschoven om het probleem op te lossen. Als een cirkel verschuift, dan wordt het servicegebied ook opnieuw berekend. Dit proces wordt herhaald tot de plattegrond in evenwicht is. Een visuele voorstelling van de eerste stap is terug te vinden in figuur 13 (Wang et al., 2017).



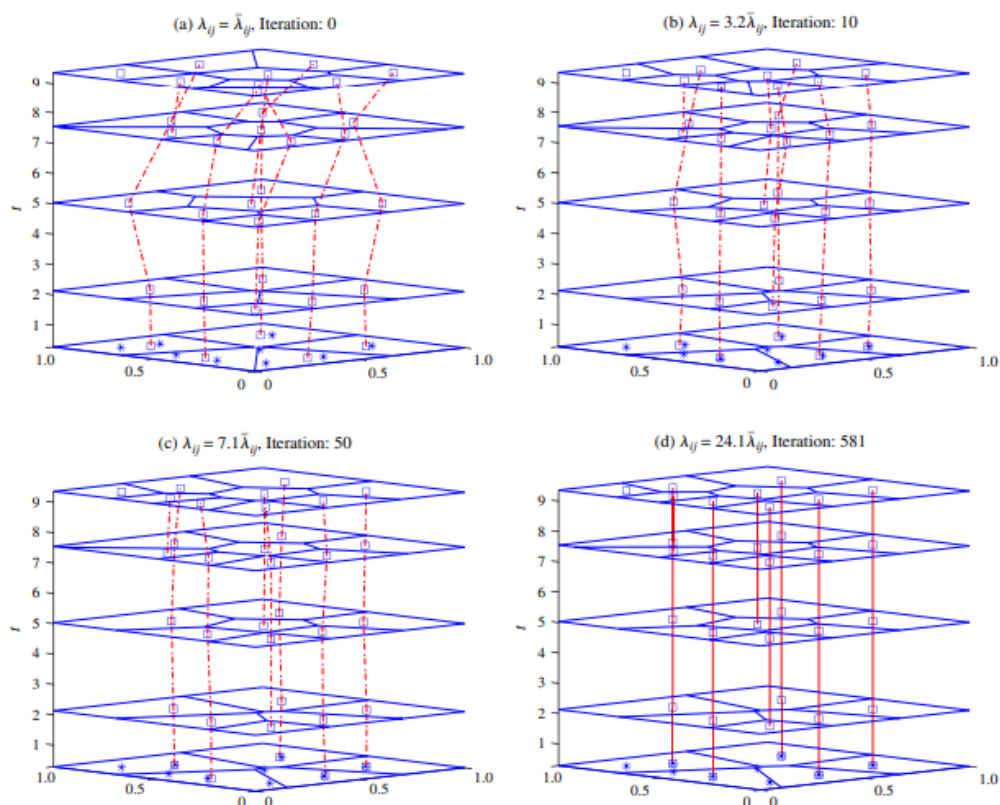
**Figuur 13:** Eerste stap van model met CA. Herdruckt van (Wang et al., 2017).

De tweede stap van het model voegt het tijdselement toe aan het statische model. Het tijdselement zorgt voor een dynamische evolutie van de variabele parameters zoals de vraag en de operationele kosten. Iedere cirkel wordt meerdere keren doorheen de planningshorizon berekend op basis van de voorspelde variabelen. Door deze verschillende cirkels van een bepaald distributiecentrum op elkaar te plaatsen, wordt een soort tunnel doorheen de tijd gecreëerd. Deze tunnel geeft het servicegebied op de verschillende intervallen weer. Het model werkt met langzaam variërende parameters, dus het servicegebied van een distributiecentrum gaat niet significant veranderen over de jaren, zie figuur 14a (Wang et al., 2017). De mogelijkheid bestaat dat een significante verandering plaats zal vinden wanneer het model een extra distributiecentrum toevoegt om aan de stijgende vraag te kunnen beantwoorden. Hierdoor zal de tunnel schuin weergegeven worden, zie figuur 14b (Wang et al., 2017).



**Figuur 14:** Tweede stap van model met CA, (a) Rechte tunnel (b) Schuine tunnel. Herdruckt van (Wang et al., 2017).

De tweede stap maakt berekeningen voor een individueel distributiecentrum. In de derde stap van het model worden de verschillende tunnels samengenomen in een plattegrond. Dit is gelijkaardig aan de eerste stap waar de cirkels verschoven worden om overlap te vermijden. Het doel van de derde stap is om de plattegrond doorheen de jaren te simuleren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een regulatie algoritme dat ervoor zorgt dat de servicegebieden niet kunnen overlappen op de verschillende intervallen. Deze intervallen worden voorgesteld in figuur 15 (Wang et al., 2017). Elk interval toont de optimale locatie van een distributiecentrum en het bijhorende servicegebied op een bepaald moment in de simulatie, bijvoorbeeld na jaar 5 op de verticale as. In dit model wordt gewerkt met een planningshorizon van tien jaar. Er worden vijf intervallen weergegeven, namelijk op de beginsituatie, dus jaar nul, jaar twee, jaar vijf, jaar 7.5 en jaar tien. De locaties van de DC's worden verbonden door een lijn om de veranderingen doorheen de jaren aan te tonen. In de eerste iteratie zal deze lijn gebroken zijn, zie figuur 15 (Wang et al., 2017). In de beginsituatie is het distributiecentrum altijd gelokaliseerd in het midden van een gebied. Na tien jaar, dus op de vijfde laag, is dat niet meer het geval. Het doel van het model is om de punten doorheen de lagen op dezelfde optimale locatie te plaatsen zodat een perfect rechte verticale lijn voor ieder distributiecentrum zichtbaar is. De lijnen van de distributiecentra die later gebouwd worden beginnen pas op het moment dat ze operationeel zijn. Iedere iteratie van het model komt steeds dichterbij de optimale uitkomst. De case waarop Wang et al. (2017) het model hebben toegepast had 581 iteraties nodig om de optimale uitkomst te vinden. Deze case behandelde een nieuw supply chain netwerk. Het is ook mogelijk om dit model te gebruiken op een bestaand netwerk waar bepaalde faciliteiten al gebouwd zijn. Deze locaties worden vastgezet in het model en blijven onveranderd. De uitbreiding van het netwerk wordt rond deze vaste punten geoptimaliseerd (Wang et al., 2017).



**Figuur 15:** Uitwerking derde stap van model met CA. Herdrukt van (Wang et al., 2017).

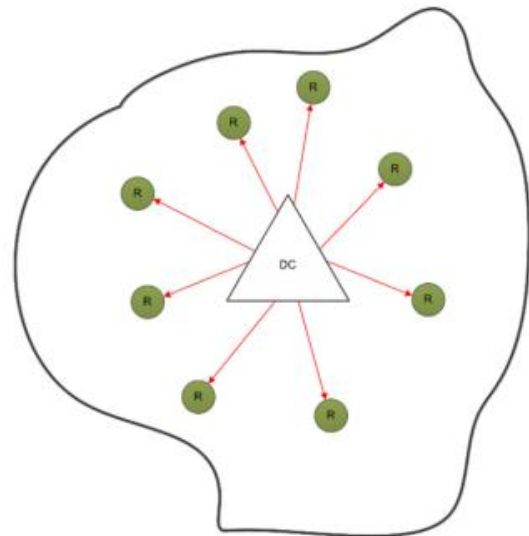


#### 4.2.7 Ontwerpen van een closed-loop supply chain netwerk

Het groeiende bewustzijn van de nood aan duurzame supply chains creëert een toenemende interesse in het reviseren van verouderde of defecte producten. Door een closed-loop supply chain te ontwerpen ontstaat een duurzaam productieproces dat zowel energie en middelen bespaard. Tsao et al. (2018) hebben een stochastisch facility location model ontworpen dat gebruik maakt van continuous approximation. In tegenstelling tot het model van Wang et al. (2017) wordt het tijdselement niet inbegrepen in het model van Tsao et al. (2018). Het doel van het model is om een statische voorstelling te ontwerpen van een closed-loop supply chain netwerk.

Het supply chain netwerk bestaat uit vijf niveaus, namelijk productiebedrijven, distributiecentra (DC's), remanufacturing centra (RC's), verkooppunten en de klanten. Het doel van het model is om de DC's en RC's optimaal te plaatsen waardoor de totale netwerkkost minimaal is. RC's zijn gescheiden van DC's doordat de extra kosten die het remanufacturing proces met zich meebrengt te hoog zijn om in een distributiecentrum uit te voeren. Het is goedkoper om een volledig nieuw remanufacturing centrum te bouwen dat toegewijd is aan het remanufacturing proces. Dit proces omvat de volgende stappen: demonteren, poetsen, inspecteren, herfabricage en het terug in elkaar steken van herbruikbare onderdelen uit defecte of verouderde producten. Deze gereviseerde producten moeten daarna nog getest worden voor ze terug verkocht kunnen worden (Tsao et al., 2018).

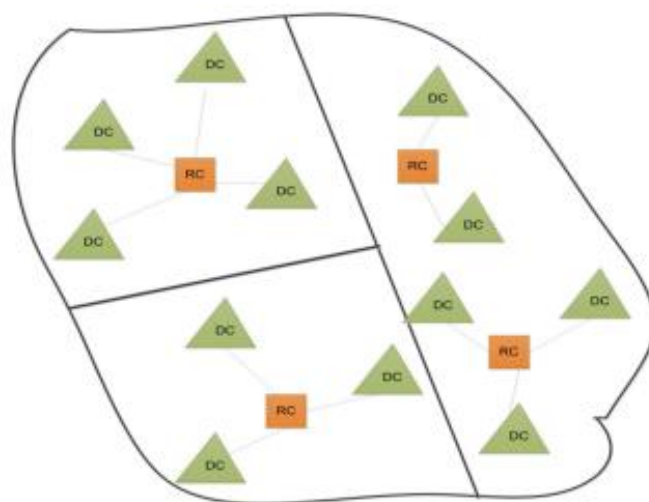
Het netwerk bestaat uit twee stromen, de forward en reverse supply chain. De forward supply chain dient voor de stroom van nieuwe producten, terwijl de reverse supply chain de gebruikte producten stroom behandelt. Tsao et al. (2018) hebben enkele assumpties gemaakt in hun model. De locaties van de productiebedrijven, verkooppunten en klanten zijn op voorhand gekend en blijven constant. Dit is het statische aspect van het model. Elk verkooppunt krijgt zijn producten van één distributiecentrum, een DC kan maar aan één RC gelinkt zijn en een RC behandelt de gebruikte producten van alle DC's in een bepaald servicegebied. Elk distributiecentrum heeft een eigen servicegebied dat als circulair benaderd wordt. Het DC ligt altijd in het midden van zijn servicegebied en de verkooppunten worden weergegeven door de letter R, zie figuur 16 (Tsao et al., 2018).



**Figuur 16:** Circulaire benadering van een servicegebied. Herdrukt van (Tsao et al., 2018).

In de eerste fase van het model wordt de forward supply chain ontworpen. Met als doel om de totale forward supply chain kosten te minimaliseren. Deze kosten bestaan uit de transport-, voorraad en emissiekosten. De facilitaire kosten zijn de totale vaste openings- en beheerskosten van de distributiecentra. De transportkosten worden opgedeeld in twee onderdelen, inkomende en uitgaande transportkosten. De inkomende transportkosten van de productiebedrijven naar het DC

omvatten de vaste kost van het vervoer en de variabele kost per product. Deze variabele kost is afhankelijk van de optimale bestelhoeveelheid en de vraag van de klanten binnen het servicegebied van het distributiecentrum. Uitgaande transportkosten zijn de transportkosten vermenigvuldigd met de gemiddelde afstand tussen het DC en de verkooppunten. De totale voorraadkosten worden berekend door het gemiddelde voorraadniveau per distributiecentrum op te sommen. Deze is afhankelijk van de leveringstijd, de veiligheidsvoorraad en de optimale bestelhoeveelheid. De totale koolstofemissie kosten worden bepaald door de emissie per transport naar een distributiecentrum en het transport naar de verkooppunten. De minimalisatie van de totale forward netwerkkosten is afhankelijk van de servicegebieden van de DC's en de optimale aanvulling cyclus per DC. Deze aanvullingscyclus wordt bepaald door het aantal verkooppunten die gelinkt zijn aan een DC en hoeveel producten dit DC moet kunnen voorzien om te voldoen aan de volledige vraag binnen het servicegebied. Eens de locaties van de distributiecentra berekend zijn, kan de tweede fase beginnen, namelijk het plaatsen van de RC's. Ook hier moeten de totale reverse netwerk kosten geminimaliseerd worden. Dit gebeurt op ongeveer dezelfde manier als in het forward supply chain netwerk (Tsao et al., 2018). Het resultaat van het model wordt voorgesteld in figuur 17 (Tsao et al., 2018).



**Figuur 17:** Verdeling van RC's. Herdrukt van (Tsao et al., 2018).

Tsao et al. (2018) hebben enkele observaties gemaakt na hun model toe te passen op een numeriek voorbeeld. Als eerste was het duidelijk dat wanneer de facilitaire kosten stijgen, het aantal DC's en RC's dalen terwijl de totale netwerk kost zal stijgen. Dit toont aan dat het belangrijk is om een goede balans te vinden tussen het aantal centra en de operationele kosten ervan. Ten tweede zal de optimale aanvulling cyclus dalen indien de transportkosten stijgen. Hierdoor zal het aantal DC's en RC's stijgen met als gevolg dat de totale netwerkkosten ook gaan stijgen. Vervolgens, wanneer de opslagkosten van de voorraad toenemen, zal het aantal DC's en RC's in de supply chain netwerk dalen. Door gebruik te maken van inventory pooling kunnen de totale netwerkkosten toch nog verlaagd worden, ook al stijgen de opslagkosten. Ten slotte telt het reverse netwerk voor ongeveer 29% van de totale netwerk kosten. Hiermee willen Tsao et al. (2018) aantonen dat het een rendabele optie is om een duurzame supply chain te ontwerpen. Dit creëert een motivatie om innovatief te handelen en duurzamer te produceren.



## 5 Conclusie

In deze masterproef werd met behulp van een literatuurstudie onderzocht welke factoren een belangrijke rol spelen binnen supply chain network design. Vervolgens werden verschillende soorten facility location modellen bestudeerd om te bekijken hoe de belangrijke factoren worden geoptimaliseerd.

Het besluitvormingsproces in een supply chain netwerk kan worden onderverdeeld in drie beslissingsniveaus, namelijk strategisch, tactisch en operationeel. Uit het onderzoek blijkt dat supply chain network design vooral werkt met het strategische aspect van het besluitvormingsproces. Dit omdat het ontwerpen van een netwerk focust op beslissingsvariabelen zoals de locatiebepaling van de nodige faciliteiten, de allocatie van de middelen en de planning van de distributiekanaalen. Doordat deze soort beslissingsvariabelen vragen om grote investeringen is het van groot belang dat de correcte informatie beschikbaar is om de lange termijn plannen op te baseren. Dit is niet altijd vanzelfsprekend, aangezien niet elk type van variabelen constant en gekend is. De vraag, afkomstig van de markt, is een voorbeeld van een zeer volatiel type variabele. Hoewel SCND vooral focust op het strategische aspect is het ook van belang dat er rekening gehouden wordt met het tactische en operationele vlak van een supply chain netwerk. Veranderingen die doorgevoerd wordt op het strategische niveau hebben een grote impact op het volledige netwerk.

Voor een organisatie kan beginnen aan SCND moet eerst een strategie opgesteld worden. Hierin wordt de missie en visie beschreven en dit zal bepalen hoe het supply chain netwerk zal worden opgebouwd. Een "one-size-fits-all" strategie bestaat helaas niet. Elke organisatie is uniek. De strategie van een organisatie wordt bepaald door de eigen doelen en door de markt of sector waarin ze actief zijn. Zo is een lean supply chain netwerk beter in een organisatie waarin de onzekerheid over vraag en aanbod relatief laag ligt. Indien deze onzekerheden hoger liggen, kan het beter zijn om te kiezen voor een agile supply chain netwerk. Elke strategie focust op een bepaald aspect binnen het ontwerpen van een netwerkmodel. Het lean concept probeert de overbodige kosten te elimineren, agile en responsieve netwerken streven naar een zo hoog mogelijk service level en groene en duurzame supply chain netwerken focussen op het elimineren van afval. Het duurzame concept kan worden uitgebreid door een reverse logistics netwerk toe te voegen aan de forward supply chain.

Vervolgens werd onderzocht hoe een netwerkmodel wordt ontworpen. Eens de strategie is vastgelegd kunnen de drijvende factoren bepaald worden. Deze factoren worden vertaald in de KPI's die de organisatie wil opvolgen om te controleren of de opgestelde doelen bereikt worden. Hiermee kunnen de behaalde service levels, kosten, opbrengsten en de kwaliteit van de informatiestroom doorheen het netwerk beoordeeld worden. Daarnaast is het ook van belang dat de organisatie bewust is van de mogelijke risico's die aanwezig zijn in het supply chain netwerk. Een voorbereid netwerk zal altijd sneller kunnen reageren op onverwachte storingen. Naast de drijvende factoren worden de beperkingen van een supply chain netwerk bekeken. Deze beperkingen bepalen bijvoorbeeld de maximale capaciteit verdeeld over de faciliteiten. Dit bepaalt de maximale productiehoeveelheid en het beïnvloedt het voorraadbeheer van het volledige netwerk. Een ander soort beperking is het garanderen van service. Bij deze beperking moet het service level op 100% blijven, iedere klant moet en zal bediend worden. Eens de drijvende factoren en beperkingen van het netwerkmodel bepaald zijn kan er worden overgegaan naar de variabelen. Deze geven een vorm aan het

netwerkmodel. De verschillende variabelen worden onderverdeeld in twee categorieën. Beslissingsvariabelen zijn variabelen die controleerbaar zijn door de organisatie. De beslissingsvariabelen met de grootste impact op een netwerkmodel zijn de locatie, allocatie, productie- en distributieplanning. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met de variabelen die buiten de controle van de organisatie kunnen vallen. Hier toont het onderzoek dat de variabelen gerelateerd aan het product de grootste impact hebben op SCND.

Als laatste werden enkele facility location modellen bestudeerd. Deze wiskundige modellen worden uitgevoerd door optimalisatietechnieken zoals linear programming, of in een simulatie waar meerdere iteraties van dezelfde case worden vergeleken om het beste resultaat te bekomen. Er bestaan vele verschillende soorten facility location modellen, elk met hun eigen unieke uitwerking. Hoewel deterministische modellen de complexiteit van een netwerkmodel drastisch verlagen, is het toch beter om een stochastisch of hybride model te gebruiken. De invloed van de variabele parameter is te groot om te negeren. Hetzelfde geldt voor de statische en dynamische modellen. Een statisch model is nuttig om een momentopname te optimaliseren. Dynamische modellen houden rekening met de variabele parameters die doorheen de tijd kunnen evolueren. De simpelste vorm van facility location modellen die werd onderzocht in deze literatuurstudie is het location covering model. Dit soort modellen kunnen gebruikt worden om het ruimtegebruik van een bepaalde omgeving te optimaliseren. Hierbij zijn de meeste gegevens beschikbaar, wat zorgt voor een lagere complexiteit. Het meest complexe model dat bestudeerd werd maakte gebruik van continuous approximation. Dit model simuleerde een volledig netwerk doorheen meerdere jaren waarin de variabele parameters drastisch kunnen veranderen. Om het model flexibel genoeg te maken is het mogelijk om nieuwe faciliteiten toe te voegen, indien de vraag zeer hard zou stijgen.

## **6 Tekortkomingen en aanbevelingen voor verder onderzoek**

Een tekortkoming van dit onderzoek is dat er niet voldoende wetenschappelijke papers beschikbaar zijn die het ontwerpen van een supply chain netwerk toepassen op een werkelijke omgeving. De meeste onderzoekers ontwerpen een model dat ze toepassen in een gesimuleerde omgeving. In de werkelijke wereld is het niet altijd mogelijk om op de perfecte locatie een distributiecentrum of productiehal te bouwen. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de bestaande infrastructuur waar de nieuwe faciliteit gebouwd wordt. Het model van Shavarani et al. (2018) lost dit op door de beschikbare locaties op voorhand te bepalen en het stratennetwerk van San Fransisco te negeren door drones te gebruiken die al vliegend de bestellingen leveren. Hieruit volgt de eerste aanbeveling voor verder onderzoek, namelijk het ontwerpen van een netwerkmodel dat is gebaseerd op een bestaande omgeving dat rekening houdt met de beperkingen van een bestaande infrastructuur.

Een tweede aanbeveling voor verder onderzoek is de uitwerking van vehicle routing en inventory management problemen. Naast het facility location probleem zijn de productie- en distributieplanning van een supply chain netwerk twee belangrijke aspecten binnen SCND. Eens de locatie en allocatie van de faciliteiten in een netwerk bepaald zijn kunnen deze twee aspecten als volgende geoptimaliseerd worden om een efficiënt supply chain netwerk te ontwerpen. Indien het mogelijk is kunnen alle aspecten gecombineerd worden in één model, in plaats van ze apart te optimaliseren. De dynamische werking zou ook gebruikt kunnen worden om de prestaties van een netwerk op te volgen en het continu te blijven optimaliseren om een zo hoog mogelijke efficiëntie te blijven behouden.



## 7 Bibliography

- Anand, G., & Kodali, R. (2008, July 15). A conceptual framework for lean supply chain and its implementation. *International Journal of Value Chain Management*. doi:10.1504/IJVC.2008.019517
- Baramichai, M., Zimmers, E. W., & Marangos, C. A. (2007). Agile supply chain transformation matrix: an integrated tool for creating an agile enterprise. *SUPPLY CHAIN MANAGEMENT-AN INTERNATIONAL JOURNAL*, 12(5), 334-348. doi:10.1108/13598540710776917
- Boujelben, M., & Boulaksil, Y. (2018). Modeling international facility location under uncertainty: A review, analysis, and insights. *IISE Transactions*, 50(6), 535-551. doi:10.1080/24725854.2017.1408165
- Braziotis, C., Bourlakis, M., Rogers, H., & Tannock, J. (2013). Supply chains and supply networks: distinctions and overlaps. *SUPPLY CHAIN MANAGEMENT-AN INTERNATIONAL JOURNAL*, 18(6), 644-652. doi:10.1108/SCM-07-2012-0260
- Bruno, G., Genovese, A., & Piccolo. (2016). Capacity management in public service facility networks: a model, computational tests and a case study. *Optimization Letters*, 10(5), 975-995. doi:10.1007/s11590-015-0923-2
- Castillo-Villar, K. K., Smith, N. R., & Simonton, J. L. (2012, December). A model for supply chain design considering the cost of quality. *APPLIED MATHEMATICAL MODELLING*, 36(12), 5920-5935. doi:10.1016/j.apm.2012.01.046
- Chang, G. (2007, December). Supply Chain Inventory Level with Procurement Constraints. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATIONS, NETWORKING AND MOBILE COMPUTING*, 4931-4933.
- Chen, H.-K., & Chou, H.-W. (2008, November). Supply chain network equilibrium problem with capacity constraints. *PAPERS IN REGIONAL SCIENCE*, 87(4), 605-622. doi:10.1111/j.1435-5957.2008.00174.x
- Fadaki, M., Rahman, S., & Chan, C. (2019, November). Leagile supply chain: design drivers and business performance implications. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 58(18), 5601-5623. doi:10.1080/00207543.2019.1693660
- Farahani, R. Z., Bajgan, H. R., Fahimnia, B., & Kaviani, M. (2015, June). Location-inventory problem in supply chains: a modelling review. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 53(12), 3769-3788. doi:10.1080/00207543.2014.988889
- Farahani, R., Hekmatfar, M., Fahimnia, B., & Kazemzadeh, N. (2014). Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications. *Computer & Industrial Engineering*, 68, 104-117. doi:10.1016/j.cie.2013.12.005
- Farahani, R., Rezapour, S., Drezner, T., & Fallah, S. (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. *Omega-*



- International Journal of Management Science*, 45, 92-118.  
doi:10.1016/j.omega.2013.08.006
- Feng, X., Moon, I., & Ryu, K. (2015, October). Supply chain coordination under budget constraints. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, 88, 487-500. doi:10.1016/j.cie.2015.08.005
- Gaur, V., Fisher, M., & Raman, A. (2005, Februari). An econometric analysis of inventory turnover performance in retail services. *MANAGEMENT SCIENCE*, 51(2), 181-194. doi:10.1287/mnsc.1040.0298
- Govindan, K., Fattahi, M., & Keyvanshokoo, E. (2017). Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 108-141. doi:10.1016/j.ejor.2017.04.009
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603-626. doi:10.1016/j.ejor.2014.07.012
- Gunasekaran, A., Lai, K.-H., & Cheng, T. C. (2008, August). Responsive supply chain: A competitive strategy in a networked economy. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*, 36(4), 549-564. doi:10.1016/j.omega.2006.12.002
- Hearnshaw, E. J., & Wilson, M. M. (2013). A complex network approach to supply chain network theory. *INTERNATIONAL JOURNAL OF OPERATIONS & PRODUCTION MANAGEMENT*, 33(3-4), 442-469. doi:10.1108/01443571311307343
- Kim, K., Jeong, B., & Jung, H. (2014, June). Supply chain surplus: comparing conventional and sustainable supply chains. *FLEXIBLE SERVICES AND MANUFACTURING JOURNAL*, 26(1-2), 5-23. doi:10.1007/s10696-012-9163-2
- Krykavskyy, Y., & Mashchak, N. (2017). Sustainable Supply Chain in Forming Environmental Macro Responsibility. *EFFICIENCY IN SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN*, 3-17. doi:10.1007/978-3-319-46451-0\_1
- Lee, H. (2002). Aligning supply chain strategies with product uncertainties. *CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW*, 44(3), 105-119.
- Lin, C.-C., & Wang, T.-H. (2011, September). Build-to-order supply chain network design under supply and demand uncertainties. *TRANSPORTATION RESEARCH PART B-METHODOLOGICAL*, 45(8), 1162-1176. doi:10.1016/j.trb.2011.02.005
- Liu, Z., Chen, L., Li, L., & Zhai, X. (2014, May). Risk hedging in a supply chain: Option vs. price discount. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, 151, 112-120. doi:10.1016/j.ijpe.2014.01.019
- Lockamy, A., & Smith, W. (2000). Target costing for supply chain management: criteria and selection. *INDUSTRIAL MANAGEMENT & DATA SYSTEMS*, 100(5-6), 210-218. doi:10.1108/02635570010304789

- Malikova, O., & Brabec, Z. (2012, March). The Influence Of A Different Accounting System On Informative Value Of Selected Financial Ratios. *TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY*, 18(1), 149-163. doi:10.3846/20294913.2012.661193
- Melnyk, S., Narasimhan, R., & DeCampos, H. (2014). Supply chain design: issues, challenges, frameworks and solutions. *International Journal of Production Research*, 52(7), 1887-1896. doi:10.1080/00207543.2013.787175
- Melo, M., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401-412. doi:10.1016/j.ejor.2008.05.007
- Mierzejewski, B. (2020, August 21). *What is Supply Chain Network Design and why is it so beneficial for a transport company?* Opgehaald van Blog.setapp: <https://blog.setapp.pl/transport-supply-chain-network-design>
- Min, H., & Zhou, G. (2002, July). Supply chain modeling: past, present and future. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, 43(1-2), 231-249. doi:10.1016/S0360-8352(02)00066-9
- Peng, H., Qin, Y., & Yang, Y. (2016). Relationship Between Set Covering Location and Maximal Covering Location Problems in Facility Location Application. *Proceedings of the 2015 International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation: Transportation*, 378, 711-720. doi:10.1007/978-3-662-49370-0\_74
- Perols, J., Zimmermann, C., & Kortmann, S. (2013, March). On the relationship between supplier integration and time-to-market. *JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT*, 31(3), 153-167. doi:10.1016/j.jom.2012.11.002
- Routroy, S. (2010, July). Evaluation of supply chain strategies: a case study. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 1(4). doi:10.1504/IJBPSM.2009.033746
- Schulze, M., Seuring, S., & Ewering, C. (2012, Februari). Applying activity-based costing in a supply chain environment. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, 135(2), 716-725. doi:10.1016/j.ijpe.2011.10.005
- Shavarani, S., Nejad, M., Rismanchian, F., & Izbirak, G. (2018). Application of hierarchical facility location problem for optimization of a drone delivery system: a case study of Amazon prime air in the city of San Francisco. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(9-12), 3143-3153. doi:10.1007/s00170-017-1363-1
- Singh, D., & Verma, A. (2018). Inventory Management in Supply Chain. *MATERIALS TODAY-PROCEEDINGS*, 5(2), 3867-3872.
- Song, G., & Sun, L. (2017). Evaluation of factors affecting strategic supply chain network design. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS-RESEARCH AND APPLICATIONS*, 20(5), 405-425. doi:10.1080/13675567.2016.1267125

- TompkinsSolutions. (sd). *What Is Supply Chain Network Design and Why Is It Important?* Opgehaald van Tompkins Solutions Inc.: <https://www.tompkinsinc.com/en-us/Insight/White-Papers/what-is-supply-chain-network-design-and-why-is-it-important>
- Tsao, Y., Linh, V., Lu, J., & Yu, V. (2018). A supply chain network with product remanufacturing and carbon emission considerations: a two-phase design. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), 693-705. doi:10.1007/s10845-017-1296-4
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W., & Papadopoulos, T. (2016, June). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, 176, 98-100. doi:10.1016/j.ijpe.2016.03.014
- Wang, X., Lim, M., & Ouyang, Y. (2017). A Continuum Approximation Approach to the Dynamic Facility Location Problem in a Growing Market. *Transportation Science*, 51(1), 343-357. doi:10.1287/trsc.2015.0649
- Wen, M., Qin, Z., & Kang, R. (2014). The alpha-cost minimization model for capacitated facility location-allocation problem with uncertain demands. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 13, 345-356. doi:10.1007/s10700-014-9179-z
- Yildiz, H., Yoon, J., Talluri, S., & Ho, W. (2016, August). Reliable Supply Chain Network Design. *DECISION SCIENCES*, 47(4), 661-698. doi:10.1111/deci.12160