



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Periodieke voorraadpolitieken: vergelijking van de (R,S) en de (R,s,S) voorraadpolitiek

Katrien Van Gorp

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be
Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2019
2020



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Periodieke voorraadpolitieken: vergelijking van de (R,S) en de (R,s,S) voorraadpolitiek

Katrien Van Gorp

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

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020. 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.

Periodieke voorraadpolitieken: vergelijking van de (R, S) en de (R, s, S) voorraadpolitiek

Katrien Van Gorp

HW: Supply Chain Management

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen, Universiteit Hasselt

In deze masterproef wordt onderzoek gedaan naar welke periodieke voorraadpolitiek, het (R, S) model of het (R, s, S) model, in welke situatie het meest kostenefficiënt is. Dit wordt gedaan aan de hand van een simulatiemodel in Excel, waarbij er gebruik wordt gemaakt van de analysetool 'Oplosser'. Er wordt rekening gehouden met verschillende variabele kosten, namelijk de productkosten, de opslagkosten en de bestelkosten. Rekening houdend met een aantal randvoorwaarden zal Oplosser een optimale oplossing proberen te zoeken voor elk van beide modellen. Aan de hand van deze oplossingen wordt nagegaan of er situaties zijn waarin het ene model meer kostenefficiënt is dan het andere model.

Kernwoorden: periodieke voorraadpolitieken, (R, S) voorraadpolitiek, (R, s, S) voorraadpolitiek, voorraadpositie, itemkosten, opslagkosten, bestelkosten, shortage kosten, ...

1. Inleiding

Vóór de economische crisis was een manier om de winst te verhogen, de inkomsten verhogen. Tegenwoordig zijn bedrijven op zoek naar andere manieren om winstgevendheid te behalen. Strategieën zoals het minimaliseren van kosten, het optimaliseren van processen en het opzetten van samenwerkingen in een supply chain zijn steeds meer geïntegreerd in de business plannen van bedrijven (Soric, Rosenzweig, & Kraljevic, 2017). Een belangrijk onderdeel van deze business plannen is het voorraadbeheer. Voorraadbeheer kan een bron van concurrentievoordeel zijn en kan, indien niet correct toegepast, negatieve financiële en commerciële gevolgen hebben voor een bedrijf.

Er zijn heel wat factoren die de grootte van de voorraad en dus de voorraadkosten beïnvloeden. Deze zullen in Sectie 2 uitgebreid besproken worden. Deze verschillende factoren zullen in rekening genomen worden als variabelen om de performantie van de (R, S) voorraadpolitiek en de (R, s, S) voorraadpolitiek te vergelijken, en dit aan de hand van een simulatiemodel in Excel. Een simulatiemodel is een wiskundig model dat de impact berekent van onzekere inputs en gemaakte keuzes op de KPI's (Key Performance Indicatoren) (Frontline Solvers, 2019). In het simulatiemodel zal er rekening gehouden worden met de voorraadpositie, de vraag van de klant, de opslagkosten, de bestelkosten, de productprijs, de doorlooptijd, backorders en met een serviceniveau. Er zal worden nagegaan welke van deze factoren een impact hebben op de keuze van deze twee voorraadmodellen.

De onderzoeksvraag luidt dus als volgt: “Welke factoren maken een verschil bij het kiezen tussen de (R, S) voorraadpolitiek en de (R, s, S) voorraadpolitiek?”. Er zal worden onderzocht welk model de laagste kosten oplevert onder wisselende condities.

Om tot een antwoord te komen op deze vragen, wordt in Sectie 2 reeds bestaand onderzoek bestudeerd aan de hand van een literatuuroverzicht. Verder wordt in Sectie 3 dieper ingegaan op de probleemstelling. In Sectie 4 wordt de methodologische aanpak uitgelegd. Dit wordt gevolgd door een analyse van de resultaten in Sectie 5. Ten slotte worden in Sectie 6 de conclusies en inzichten aangehaald.

2. Literatuuroverzicht

2.1. Terminologie

Voorraad wordt gedefinieerd als een niet-actief basismiddel dat wacht op een verder proces, zoals productie in een fabricagesysteem, marketingactiviteiten in een distributiesysteem of consumptieactiviteiten in het huishouden, kantoor, enz. Voorraad is nuttig en belangrijk om te kunnen anticiperen op de onzekerheid van vraag en aanbod (Mely Permatasari, Santosa, & Yanuar Ridwan, 2017). Voorraad vertegenwoordigt een essentieel onderdeel van de vlottende activa en is de grootste investering in veel bedrijven (Novotná, 2015).

Over het algemeen is er een voorraadtoename binnen bedrijven, veroorzaakt door de concurrentie op de markt in de afgelopen 20-25 jaar. Bedrijven hebben hun assortiment aanzienlijk uitgebreid in een poging om tegemoet te komen aan de behoeften van de verschillende marktsegmenten. Op hetzelfde moment zijn klanten steeds hogere beschikbaarheden van producten beginnen te eisen (Novotná, 2015).

Gebaseerd op de fase van voltooiing, kan de voorraad worden ingedeeld in drie types: grondstoffen, work-in-progress, en afgewerkte goederen (Mely Permatasari, et al., 2017). Grondstoffen zijn de aangekochte materialen die worden omgezet in componenten of producten. Work-in-progress refereert naar al de items in het productieproces in de hele fabriek. Afgewerkte goederen zijn goederen die volledig afgewerkt zijn en klaar zijn voor verkoop (Reid, & Sanders, 2013).

Bij het bepalen van wanneer een magazijn moet worden aangevuld, speelt de voorraadpositie een belangrijke rol. De voorraadpositie, ook wel beschikbare voorraad genoemd, wordt als volgt berekend:

$$\text{Voorraadpositie} = (\text{on hand voorraad}) + (\text{voorraad in bestelling}) - (\text{backorders}) - (\text{toegezegde hoeveelheid}) \text{ (Peterson, Pyke, \& Silver, 1998).}$$

On hand voorraad is de voorraad die fysiek in het magazijn aanwezig is. Deze kan nooit negatief zijn. Deze hoeveelheid is relevant om te bepalen of een bepaalde vraag van de klant rechtstreeks vanuit het magazijn kan worden vervuld (Peterson, et al., 1998). Voorraad in bestelling wordt gedefinieerd als voorraad die al is besteld, maar nog niet is ontvangen door het magazijn waar men deze voorraad wil stockeren (Peterson, et al., 1998). Backorders zijn de bestellingen van de klanten waarvan de levering moet worden uitgesteld totdat het product terug beschikbaar is (Reid, & Sanders, 2013). De toegezegde hoeveelheid is een gereserveerde voorraad die op korte termijn niet voor andere doeleinden kan worden gebruikt (Peterson, et al., 1998).

Bij het bepalen van het voorraadbeleid zijn er relevante kosten die kunnen worden onderverdeeld in vier categorieën: itemkosten, opslagkosten, bestelkosten en shortage kosten.

De itemkosten van een ingekocht product omvatten de prijs die betaald is voor het product en eventuele andere directe variabele kosten om het product naar de opslagplaats te transporteren (Reid, &

Sanders, 2013). De transportkosten zijn afhankelijk van de gekozen transportmodus, de kilometerheffing, tolheffing, enz.

Opslagkosten zijn variabele kosten die de onderneming heeft gemaakt voor het volume van de aangehouden voorraad. De opslagkosten zijn meestal een percentage van de itemkosten, dit omdat de kosten voor het in voorraad houden van een product afhankelijk zijn van de waarde van dat product (Reid, & Sanders, 2013). Reid & Sanders (2013) verdelen de opslagkosten onder in de investeringskosten, de magazijnkosten en de risicokosten. Bij de investeringskosten moet er rekening gehouden worden met de kapitaalkosten en de opportuiniteitskosten. De kapitaalkosten omvatten de interest die een bedrijf betaalt om geld te lenen om te kunnen investeren in voorraad. De opportuiniteitskosten omvatten het rendement dat een bedrijf zou hebben verdiend op het geld als het werd gebruikt voor iets anders dan het investeren in voorraad. De magazijnkosten hebben betrekking op de kosten voor de ruimte waar de goederen in worden bewaard. Als een bedrijf de opslagruimte al bezit en geen extra kosten maakt voor het opslaan van de voorraad, wordt dit niet opgenomen in de opslagkosten. Ook de werknemers en de apparatuur die nodig zijn horen bij de magazijnkosten. De risicokosten omvatten, afhankelijk van de industrie, veroudering, beschadiging of houdbaarheid, diefstal, verzekering en belastingen. Het type product is dus zeer belangrijk. In de meeste voorraadmodellen wordt ervan uitgegaan dat producten voor onbepaalde tijd kunnen worden opgeslagen om aan de toekomstige vraag te voldoen. Dit is echter niet altijd het geval, er moet rekening gehouden worden met veroudering en houdbaarheid (Chen, & Nguyen, 2019). Sommige producten kunnen verouderen, denk bijvoorbeeld aan sterk technologische producten. De technologie verandert en innoveert heel snel, technologie is snel achterhaald. Het is hierbij dus belangrijk dat de producten op tijd verkocht worden en dat er niet onnodig voorraad wordt aangehouden (Reid, & Sanders, 2013). Producten kunnen ook maar beperkt houdbaar zijn, denk bijvoorbeeld aan voedingswaren die kunnen vervallen of bloemen die kunnen verwelken. Deze producten moeten binnen een bepaalde periode verkocht zijn. Is dat niet het geval, dan zullen deze producten onverkoopbaar zijn en moeten worden vernietigd (Reid, & Sanders, 2013). De leeftijd van de voorraad beïnvloedt de vraag naar bederfelijke goederen negatief. Dit effect treedt op omdat mensen geneigd zijn minder vertrouwen te hebben in het aankopen van goederen waarvan de vervaldatum nadert (Avinadav, Herbon, & Spiegel, 2013).

Risicokosten zijn vaak gekoppeld aan hogere voorraadposities (Reid, & Sanders, 2013). Als men veel of zelfs te veel voorraad heeft, ook wel overstock genoemd, dan is de waarschijnlijkheid dat producten verouderd of vervallen zijn voor gebruik groter (Mely Permatasari, et al., 2017).

Bestelkosten zijn vaste kosten voor het plaatsen van een bestelling bij een leverancier, of voor het plaatsen van een bestelling bij de productieorganisatie voor een zelf geproduceerd product (Reid, & Sanders, 2013).

Tot slot zijn er de shortage kosten, dit zijn de kosten die een onderneming moet betalen wanneer de vraag groter is dan de beschikbare voorraad voor een bepaald product (Reid, & Sanders, 2013). Er zijn dan twee mogelijkheden: 1) de levering aan de klant uitstellen totdat het product terug beschikbaar

is. Dit wordt een backorder genoemd. Of 2) een gemiste verkoop. Dit is het geval wanneer de klant niet bereid is om te wachten op de levering (Reid, & Sanders, 2013). Het gedrag van de klant hangt af van de karakteristieken van het product, de markt, en de relatie tussen de leverancier en de consument (Singha, et al., 2017).

Naast deze vier grote groepen kosten zijn er nog een aantal factoren waar rekening mee moet worden gehouden om te bepalen in welke omstandigheden de (R, S) voorraadpolitiek of de (R, s, S) voorraadpolitiek optimaal is.

Ten eerste is er de vraag van de klant. Het consumptiegedrag van de klanten moet in aanmerking genomen worden om de klanten de vereiste hoeveelheid te kunnen bieden. Het is belangrijk om de vraag zo goed mogelijk te voorspellen (Behrooz, & Boozarjomehry, 2017).

Verder speelt ook de levertermijn een rol bij het bepalen van de voorraad. De levertermijn verwijst naar de duur tussen het moment waarop een order wordt geplaatst tot het moment waarop de goederen worden ontvangen (Hua, Wang, & Cheng, 2009). Dit wordt ook wel aanvullingsdoorlooptijd genoemd. Meestal is de levertermijn gegeven door de leverancier en staat deze vast. Er moet natuurlijk altijd rekening gehouden worden met mogelijke externe factoren die deze tijd kunnen beïnvloeden. Ook speelt de variabiliteit een rol. Wanneer blijkt dat de levertijd toch vrij variabel is, zal er een grotere veiligheidsvoorraad aangehouden moeten worden.

Ten slotte is er nog de minimum bestelhoeveelheid. Dit is een bestelvereiste waarbij de hoeveelheid die wordt besteld ten minste een bepaalde hoeveelheid moet zijn. Hier kan (meestal) niet van afgeweken worden. De minimum bestelhoeveelheid kan een zware beperking zijn als het te wijten is aan zakelijke vereisten, zoals het product dat moet worden verzonden in containers of op paletten. Minimum bestelhoeveelheden worden dikwijls ook bepaald door opstartkosten en/of bestelkosten bij de leverancier (Park, & Klabjan, 2014).

2.2 Verschil continu en periodiek voorraadmodel

Het proces van het implementeren van een voorraad controlesysteem bestaat uit vier stappen. Eerst moet er gekozen worden welke voorraadpolitiek er gaat gebruikt worden, een continu model of een periodiek model. Hierna moeten de criteria gekozen worden: wordt er gekozen voor kosten gerelateerd, met als doel de totale kosten te minimaliseren, of service gerelateerd, met als doel om een vooraf gespecificeerd serviceniveau te bereiken? Ten derde moeten de stochastische kenmerken in het systeem ingeschat worden, in het bijzonder de vraag. Tot slot moet de waarde van de controleparameters gevonden worden (Moors, & Strijbosch, 2002).

Een bedrijf dient zijn voorraadpolitiek te bepalen aan de hand van een aantal richtlijnen die vastleggen wat, wanneer en in welke hoeveelheid dient gekocht of geproduceerd te worden. Het gewenste serviceniveau speelt hierbij een cruciale rol. Het gewenste serviceniveau is de prestatiedoelstelling zoals bepaald door het management. De besteldoorlooptijd of

aanvullingsdoorlooptijd, d.w.z. de tijd die verloopt tussen het plaatsen van een inkoop- of productieorder en de beschikbaarheid van het product alsook de mate van onzekerheid in deze doorlooptijd, spelen een belangrijke rol bij het definiëren van hoeveel voorraad dient gehouden te worden. Een ander wezenlijk element bij het bepalen van de te houden voorraad zijn de voorraadkosten. De complexiteit bij de bepaling van wat en hoeveel van een product in voorraad gehouden dient te worden, neemt toe wanneer het aantal types of uitvoeringen ervan groter worden (Gijsen, 2011).

De voorraad kan continu (in real-time) of periodiek (aan het einde van een bepaalde periode) worden gecontroleerd. Continue review vereist meestal een magazijnmanagement systeem dat dit ondersteunt, terwijl periodieke review zonder een dergelijk systeem kan worden uitgevoerd (Singha, Buddhakulsomsiri, & Parthanadee, 2017). Het review interval (R) wordt gespecificeerd door een antwoord te geven op de vraag hoe vaak de voorraadpositie moet worden bepaald. Dit is de tijd die verstrijkt tussen twee opeenvolgende momenten waarop de voorraadpositie gekend is (Peterson, et al., 1998).

Bij continue review is de voorraadpositie altijd gekend. In werkelijkheid is continu toezicht meestal niet vereist, in plaats daarvan activeert elke transactie een onmiddellijke update van de voorraadpositie. Dit type van besturing wordt daarom vaak transactie-rapportage genoemd (Peterson, et al., 1998). Voorbeelden van een continu review model zijn het (s, Q) model en het (s, S) model. Bij het (s, Q) model, ook wel het bestelpunt-bestelhoeveelheidssysteem genoemd, wordt een bestelling geplaatst met een lotgrootte Q telkens wanneer de voorraadpositie daalt tot een bepaald bestelpunt s (Bard, & Jensen, 2002). Bij het (s, S) model wordt er telkens wanneer de voorraadpositie daalt tot het bestelpunt s of lager, een order geplaatst om de positie naar het maximale niveau S te verhogen. Al de orders die bij de leverancier worden geplaatst, moeten bovendien steeds een grootte hebben van één unit, hierdoor is elke bestelling van grootte (S – s) en wordt deze geplaatst wanneer de voorraadpositie precies op het niveau s is (Peterson, et al., 1998).

In deze paper wordt er voornamelijk gefocust op periodieke voorraadmodellen. Bij periodieke review wordt de voorraadpositie alleen bij elk review interval bepaald. Tussen de momenten van herziening kan er aanzienlijke onzekerheid bestaan over de waarde van de voorraadpositie (Peterson, et al., 1998). Dit omdat er met variabele aanvulorders wordt gewerkt. Er moet voldoende ruimte beschikbaar zijn om de grootst mogelijke orderhoeveelheid op te slaan, en omwille van de verschillende hoeveelheden komt een bedrijf mogelijk niet in aanmerking voor specifieke hoeveelheidskortingen (Reid, & Sanders, 2013). Het resultaat is dat de meeste bedrijven gemiddeld een vrij grote voorraadpositie hebben. Dit omdat bedrijven voldoende voorraad moeten hebben om zich te beschermen tegen stockouts in de periode van de aanvullingsdoorlooptijd en het review interval (Reid, & Sanders, 2013). Er moeten dus twee belangrijke beslissingen genomen worden: 1) hoelang is de tijd tussen twee orders; en 2) hoe hoog is de gewenste voorraadpositie (Reid, & Sanders, 2013). Voorbeelden van een periodiek review model zijn het (R, s, Q) model, het (R, S) model en het (R, s, S) model. Bij het (R, s, Q) model wordt de voorraadpositie elk review interval R gecontroleerd om te kijken of er een

aanvullingsorder nodig is. Wanneer de voorraadpositie lager dan of gelijk is aan s , wordt er een hoeveelheid Q besteld zodat de voorraadpositie wordt verhoogd tot een waarde tussen s en $s + Q$ (Janssen, Heuts, & de Kok, 1996). Het (R, S) model gaat ervan uit dat je op het einde van elk review interval (R) bijbestelt tot je voorraadpositie het gewenste niveau (S) haalt. Het (R, s, S) model veronderstelt dat je op het einde van elk review interval enkel bijbestelt wanneer je voorraadpositie kleiner dan of gelijk is aan s , enkel dan bestel je bij tot niveau S is bereikt. Op de twee laatst vermelde modellen wordt in Sectie 3 dieper ingegaan.

Er zijn heel wat voor- en nadelen verbonden aan het continu en het periodiek review model. De voordelen van een continu review model, zijn de nadelen van een periodiek review model. De voornaamste worden opgelijst in onderstaande tabel (Reid, & Sanders, 2013 en Peterson, et al., 1998).

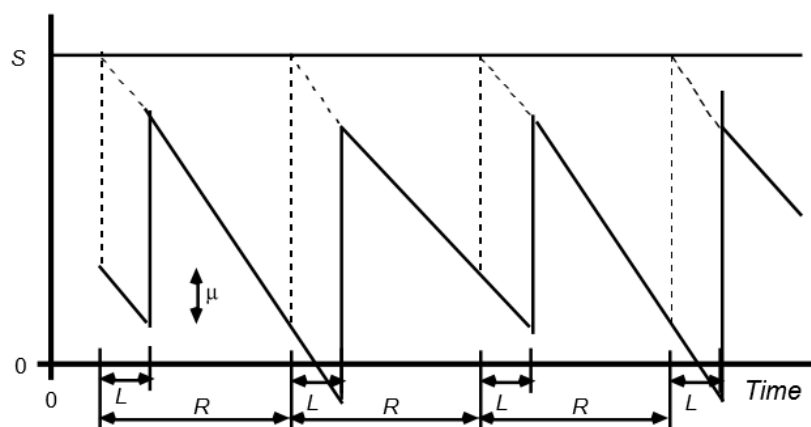
Continu review model	Periodiek review model
<p><u>Voordelen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vereist minder veiligheidsvoorraad voor bescherming tegen stockouts → lagere opslagkosten - Kleinere gemiddelde voorraadinvesteringen <p><u>Nadelen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Op vrijwel elk moment kan een aanvullingsbeslissing genomen worden, hierdoor is de werklust minder voorspelbaar - Veel werk omdat de voorraadpositie na elke transactie wordt geüpdatet - Al de artikels moeten individueel verwerkt worden - Er vindt geen automatische herziening plaats zonder dat er een transactie heeft plaatsgevonden 	<p><u>Nadelen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vereist voldoende veiligheidsvoorraad om $R + L$ te overbruggen → hogere opslagkosten - Grotere gemiddelde voorraadinvesteringen <p><u>Voordelen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Maakt een redelijke voorspelling van het niveau van de werklust op het betrokken personeel mogelijk - Voorraadpositie wordt enkel geüpdatet op vaste tijdstippen - Eenvoudig om orders van één enkele leverancier te consolideren omdat al de artikels tegelijkertijd worden bekeken - Dwingt een incidentele herziening van de situatie - Alle items in een gecoördineerde groep kunnen hetzelfde controle-interval gegeven worden

3. Probleemstelling

3.1 Verschil (R, S) voorraadpolitiek en (R, s, S) voorraadpolitiek

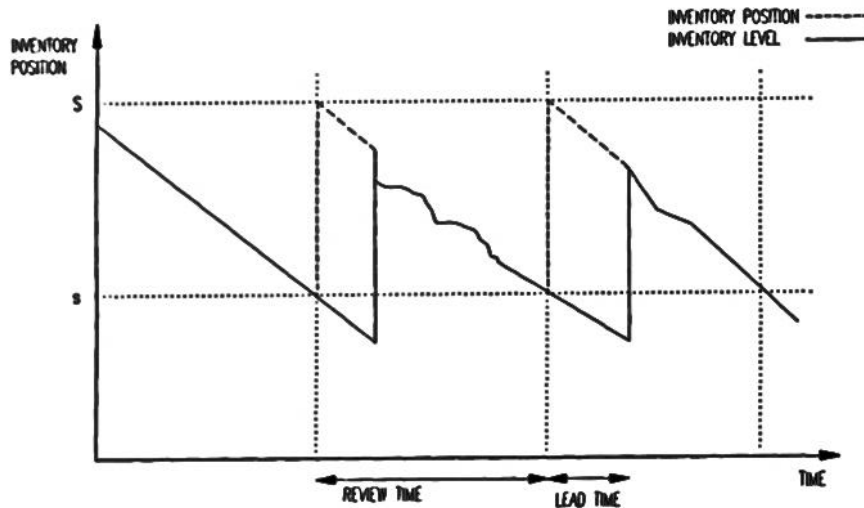
In deze paper wordt er voornamelijk gefocust op de (R, S) voorraadpolitiek en de (R, s, S) voorraadpolitiek.

In het periodiek review model (R, S) staat, zoals eerder aangehaald, R voor ‘review interval’, dit is een tijdsinterval waarna er telkens opnieuw zal besteld worden, en staat S voor ‘maximum voorraadpositie’ (Peterson, et al., 1998). Elk review interval zal er een order geplaatst worden om zo de voorraadpositie terug tot niveau S aan te vullen (Mely Permatasari, et al., 2017). Na een doorlooptijd L, zal de aanvullingsorder geleverd worden (Bard, & Jensen, 2002). Dit wordt weergegeven in figuur 1. Het is belangrijk om rekening te houden met de lengte van de doorlooptijd bij het bepalen van de R-periode. De voorraadpositie S is er om het bedrijf te beschermen tegen een tekort tijdens het tijdsinterval $R + L$. De hoeveelheid S moet groot genoeg zijn zodat de mogelijkheid op een tekort in dat interval zo klein mogelijk kan gehouden worden. Het is niet gemakkelijk om de optimale R te berekenen omdat de shortage kosten afhankelijk zijn van R (Bard, & Jensen, 2002). Bij het berekenen van de waarde van S, gaat men ervan uit dat de waarde van R vooraf is bepaald. De waarde van R wordt vaak gedicteerd door externe factoren, zoals de frequentie van vrachtwagen leveringen (Peterson, et al., 1998).



Figuur 1: de (R, S) voorraadpolitiek (Bard, & Jensen, 2002)

Het periodieke review model (R, s, S) is een voorraadpolitiek die vaak in de praktijk wordt gebruikt (Moors, & Strijbosch, 2002). Het vaststellen van de exacte beste waarde van de drie parameters is zeer moeilijk (Peterson, et al. 1998). Net zoals bij het (R, S) model staat ook hier R voor ‘review interval’ en S voor ‘maximum voorraadpositie’. Wanneer de voorraadpositie zich op of onder bestelpunt s bevindt, zal er een aanvulling gedaan worden totdat de maximum voorraadpositie S voor elk review interval bereikt is. Als de voorraadpositie zich boven s bevindt, zal er geen order geplaatst worden, ook al is de R-periode al bereikt (Mely Permatasari, et al., 2017). Dit wordt weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: de (R, s, S) voorraadpolitiek (patent, 5897624, 1999)

Kort samengevat wil dit dus zeggen dat het (R, S) model met een vast bestelinterval en een variabele bestelhoeveelheid werkt, en dat het (R, s, S) model zowel een variabel bestelinterval als een variabele bestelhoeveelheid heeft.

Het doel van deze paper is om, aan de hand van een simulatiemodel in Excel, na te gaan welke factoren een verschil maken bij het kiezen tussen de (R, S) voorraadpolitiek en de (R, s, S) voorraadpolitiek. De kostenefficiëntie van elk model zal worden nagegaan. Tabel 1 geeft de algemene notaties weer die doorheen deze masterproef worden gebruikt.

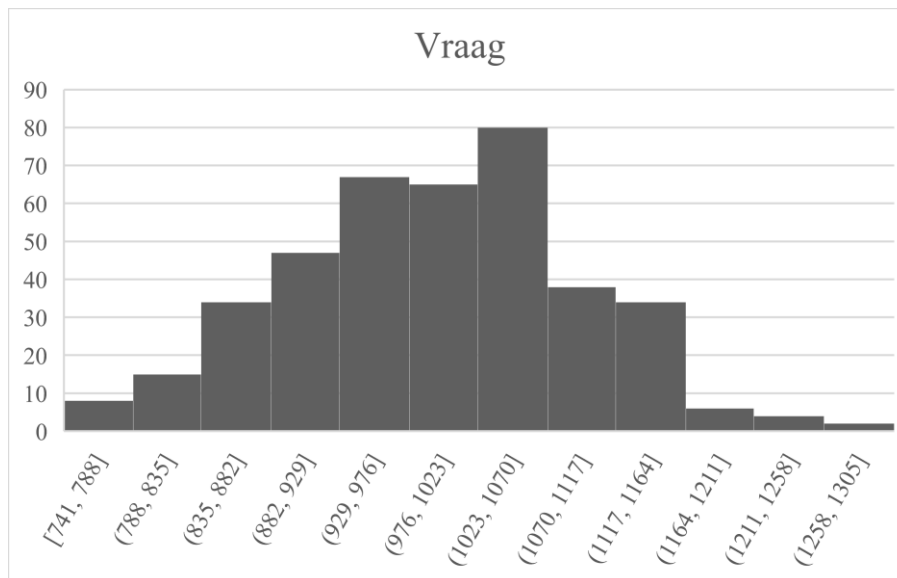
R	Review interval
S	Maximum voorraadpositie
s	Bestelpunt
L	Doorlooptijd
Q	Lotgrootte

Tabel 1: Notatie

4. Methodologie

Bij dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van bestaande literatuur en fictieve data. De bestaande literatuur is verwerkt in Sectie 1, 2 en 3. De fictieve data worden gebruikt voor het simulatiemodel.

In het simulatiemodel wordt er uitgegaan van een normaal verdeelde vraag van de klant, dit is zichtbaar in figuur 3. Er wordt gewerkt met een sample van 400 vraaggegevens. Hierbij is het gemiddelde 995,075 en de standaardafwijking 99,346. Dit leunt dicht aan bij het gewenste gemiddelde van 1000 en de gewenste standaardafwijking van 100. De vraag wordt in Excel bepaald met behulp van de functie 'NORM.S.INV(ASELECT())'. De 'ASELECT' functie, ook wel 'RAND' genoemd, geeft als resultaat een willekeurig getal dat uniform verdeeld is, en dat groter is dan of gelijk is aan nul en kleiner is dan één. 'NORM.S.INV' geeft de z-waarde weer uit de cumulatieve standaardnormale verdeling, in dit geval van een random cijfer dat bepaald is aan de hand van 'ASELECT'.



Figuur 3: Normaal verdeelde vraag met 400 gegevens ($\mu = 1000$, $\sigma = 100$)

Bovendien wordt er van uitgegaan dat er met een product wordt gewerkt dat niet tijdsgebonden is. Technologie innoveert heel snel waardoor technologische producten snel achterhaald zijn. In dit simulatiemodel wordt er gewerkt met een product dat niet gevoelig is aan de technologische evolutie. Ook wordt er gewerkt met een product dat niet beperkt houdbaar is. Dit houdt in geen voedingswaren die kunnen vervallen, geen bloemen die kunnen verwelken, enz.

De voorraadpositie wordt bepaald aan de hand van de formule aangehaald in het literatuuroverzicht, namelijk:

Voorraadpositie = (on hand voorraad) + (voorraad in bestelling) – (backorders) – (toegezegde hoeveelheid) (Peterson, et al., 1998).

De on hand voorraad bij de start van de simulatie wordt gelijkgesteld aan 2000. Dit is het dubbele van het voorspelde gemiddelde, zodat er zeker aan de vraag kan voldaan worden in de eerste periode. Vanaf week twee is de on hand voorraad gelijk aan de voorraadpositie van de week ervoor, min de vraag van de week ervoor, min de backorders van de week ervoor. De goederen die zijn besteld, worden opgenomen in de voorraadpositie. De doorlooptijd (levertermijn) L bedraagt slechts één week, dus de bestelde goederen zullen de week erna meteen beschikbaar zijn. De on hand voorraad kan nooit groter zijn dan de maximum voorraadpositie S. Bij het (R, S) model is de voorraad in bestelling gelijk aan de maximum voorraadpositie S verminderd met de on hand voorraad. Bij het (R, s, S) model is de voorraad in bestelling ook gelijk aan de maximum voorraadpositie S verminderd met de on hand voorraad, maar enkel wanneer de on hand voorraad kleiner dan of gelijk is aan bestelpunt s. Wanneer de on hand voorraad groter is dan het bestelpunt s, dan zal de voorraad in bestelling gelijkgesteld worden aan nul. Er wordt uitgegaan van backorders en niet van lost sales. Wanneer men niet voldoende on hand voorraad heeft, maar er wel vraag is, ontstaan er backorders. Dit zijn de bestellingen van de klanten waarvan de levering moet worden uitgesteld totdat het product terug beschikbaar is (Reid, & Sanders, 2013). De backorders zijn dus sterk afhankelijk van de on hand voorraad. Wanneer er voldoende on hand voorraad is voor de vraag, zijn de backorders gelijk aan nul. Wanneer er meer vraag is dan de on hand voorraad, zijn de backorders positief. Hierbij wordt er rekening gehouden met de randvoorwaarde waarbij het serviceniveau minstens 95% moet bedragen. Dit wil zeggen dat er in 95% van de gevallen voldaan kan worden aan de vraag en dat er dus maximum 5% kans is op backorders. In dit simulatiemodel wordt er geen rekening gehouden met toegezegde hoeveelheden.

De productprijs is constant. Er wordt geen rekening gehouden met eventuele hoeveelheidskortingen. Er wordt vanuit gegaan dat de bestelhoeveelheden steeds een veelvoud zijn van de minimum verpakkingseenheid. In het geval van dit simulatiemodel gaat het over één unit. De opslagkosten bestaan uit een percentage van de productprijs en hangen af van de on hand voorraad. De bestelkosten worden als vast beschouwd en zijn niet afhankelijk van de bestelhoeveelheid. In het (R, S) model zijn er bestelkosten telkens wanneer het review interval R bereikt is en de voorraadpositie gedaald is tot een waarde kleiner dan S. Wanneer er niks aan de voorraadpositie is veranderd en de voorraadpositie dus gelijk is aan S wordt er geen bestelling geplaatst en zijn de bestelkosten gelijk aan nul. In het (R, s, S) model zijn er bestelkosten telkens wanneer het review interval R bereikt is en de voorraadpositie kleiner dan of gelijk is aan bestelpunt s. Wanneer de voorraadpositie zich tussen s en S bevindt, vindt er geen bestelling plaats en zijn de bestelkosten gelijk aan nul. Net zoals de doorlooptijd (levertermijn) L, wordt ook het review interval R vastgelegd op één week.

De bedoeling is om na te gaan welk model het meest kostenefficiënt is onder welke condities. Er wordt hiervoor gewerkt met verschillende opslagkosten, verschillende bestelkosten, enz. De bedoeling

is om de totale kosten te minimaliseren. Dit wordt gedaan aan de hand van de analysetool ‘Oplosser’, ook wel ‘Solver’ genoemd, in Excel. Binnen Oplosser wordt er gebruik gemaakt van de ‘evolutionary’ oplossingsmethode. Hierbij zullen de maximum voorraadpositie S en het bestelpunt s de beslissingsvariabelen zijn. Ook zijn er een aantal randvoorwaarden waar rekening mee moet worden gehouden. Bij de evolutionary oplossingsmethode moet er altijd een boven- en een ondergrens vastgesteld worden voor de beslissingsvariabelen. Voor het (R, S) model wordt er een minimum- en een maximumwaarde vastgelegd voor de maximum voorraadpositie S . De minimumwaarde wordt gelijkgesteld aan nul. De maximumwaarde wordt gelijkgesteld aan 10 000. De maximumwaarde voor S wordt voldoende groot genomen zodat er zeker geen optimale waarden worden uitgesloten. Ook zal er bij de randvoorwaarden rekening gehouden worden met het serviceniveau. Men wil maximum 5% backorders. Als randvoorwaarde stelt men dus in dat het aantal backorders kleiner dan of gelijk aan 5% moet zijn van het totaal aantal gesimuleerde weken. Voor de 400 gesimuleerde weken van dit model, komt dit overeen met maximum 20 backorders. Voor het (R, s, S) model wordt er een minimum- en maximumwaarde vastgelegd voor zowel de maximum voorraadpositie S als voor het bestelpunt s . Voor de minimum- en maximumwaarde van de maximum voorraadpositie S , worden dezelfde waarden gebruikt als bij het (R, S) model. De minimumwaarde van bestelpunt s wordt gelijkgesteld aan nul. De maximumwaarde van bestelpunt s wordt gelijkgesteld aan 9999. De randvoorwaarde stelt dus dat s kleiner dan of gelijk aan 9999 moet zijn. Er wordt nog een extra randvoorwaarde opgesteld waarbij het verschil tussen S en s groter dan of gelijk aan één moet zijn, zodat het bestelpunt s nooit groter dan of gelijk kan zijn aan dan de maximum voorraadpositie S . Ook bij het (R, s, S) model wordt er rekening gehouden met het serviceniveau van 95% en wordt er een randvoorwaarde ingesteld waarbij het totaal aantal backorders kleiner dan of gelijk aan 5% moet zijn van het totaal aantal gesimuleerde weken.

5. Analyses en resultaten

Binnen het simulatiemodel zijn er drie kosten die als variabele worden gebruikt, namelijk de productprijs, de opslagkosten en de bestelkosten. Er zal telkens één parameter gewijzigd worden terwijl al de rest hetzelfde blijft, om zo de impact van die ene parameter te analyseren. De kosten nemen drie verschillende waarden aan, een lage, een gemiddelde en een hoge waarde. Op vlak van productprijs heeft dit betrekking op een relatief goedkoop product, een product met een gemiddelde prijs en een duurder product. De productprijs wordt gelijk gesteld aan 25 euro, 250 euro en 2500 euro. De vaste opslagkosten bestaan uit een percentage van de productprijs. Deze worden gelijkgesteld aan 10%, 20% en 30%. De vaste bestelkosten worden gelijk gesteld aan 10 euro, 50 euro en 100 euro. In totaal zijn er 27 verschillende scenario's mogelijk. De waarde van de gebruikte variabelen kunnen aangepast worden naargelang de resultaten om toch significante verschillen waar te nemen. De impact van deze verschillende waarden wordt bekeken binnen zowel hetzelfde model als tussen de twee verschillende modellen.

De evolutionary oplossingsmethode is in staat om een goede oplossing te vinden, maar niet noodzakelijk een optimale oplossing. Doordat de evolutionary methode niet afhankelijk is van afgeleiden of gradiëntinformatie, kan het niet bepalen of een bepaalde oplossing optimaal is (Frontline Solvers, 2020). Hierdoor zit er dus (bijna) altijd een variatie op de 'beste' oplossing. Om zo weinig mogelijk variatie te hebben op de optimale oplossing, wordt de optimalisatie bij elk kostenscenario gestart vanuit dezelfde startoplossing voor s en S . Er wordt gestart met waarden die voldoen aan al de randvoorwaarden. In het geval van het (R, S) model is de startwaarde van S gelijk aan 2241 eenheden met een totaal aantal backorders van 3,75%. Bij het (R, s, S) model is de startwaarde van S ook gelijk aan 2241 eenheden, de startwaarde van s is gelijk aan 2100 eenheden met ook een totaal aantal backorders van 3,75%. Tabel 2 geeft een overzicht van de notatie die zal gehanteerd worden bij elk scenario.

LLL	Lage productprijs, lage opslagkosten en lage bestelkosten
MMM	Gemiddelde productprijs, gemiddelde opslagkosten en gemiddelde bestelkosten
HHH	Hoge productprijs, hoge opslagkosten en hoge bestelkosten
LMH	Lage productprijs, gemiddelde opslagkosten en hoge bestelkosten
HLM	Hoge productprijs, lage opslagkosten en gemiddelde bestelkosten
...	...

Tabel 2: Notatie scenario's

5.1 Het (R, S) model

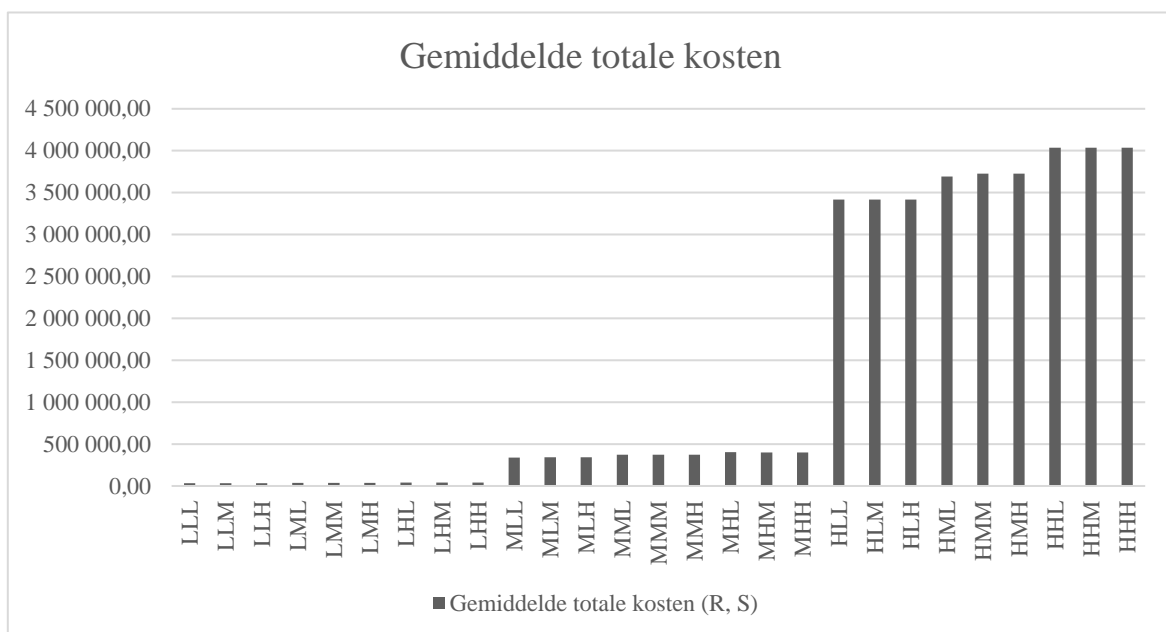
Wanneer de analyses worden uitgevoerd in het (R, S) model, kan men waarnemen dat er elke week is bijbesteld. Dit is het gevolg van het feit dat er elke week vraag is en de voorraadpositie dus elke week onder de maximum hoeveelheid is gedaald.

	Productprijs	Opslagkosten	Bestelkosten	S	# backorders	Gemiddelde TK
1	Laag	Laag	Laag	2232	20 = 5%	33 725,28
2	Laag	Laag	Middel	2241	15 = 3,75%	34 204,52
3	Laag	Laag	Hoog	2241	15 = 3,75%	34 254,52
4	Laag	Middel	Laag	2236	17 = 4,25%	37 047,25
5	Laag	Middel	Middel	2241	15 = 3,75%	37 309,48
6	Laag	Middel	Hoog	2241	15 = 3,75%	37 359,48
7	Laag	Hoog	Laag	2236	17 = 4,25%	40 133,69
8	Laag	Hoog	Middel	2241	15 = 3,75%	40 414,43
9	Laag	Hoog	Hoog	2239	15 = 3,75%	40 373,92
10	Middel	Laag	Laag	2233	18 = 4,5%	337 943,06
11	Middel	Laag	Middel	2241	15 = 3,75%	341 595,19
12	Middel	Laag	Hoog	2241	15 = 3,75%	341 645,19
13	Middel	Middel	Laag	2241	15 = 3,75%	372 604,75
14	Middel	Middel	Middel	2241	15 = 3,75%	372 644,75
15	Middel	Middel	Hoog	2237	16 = 4%	370 986,25
16	Middel	Hoog	Laag	2241	15 = 3,75%	403 654,31
17	Middel	Hoog	Middel	2234	17 = 4,25%	400 167,25
18	Middel	Hoog	Hoog	2232	20 = 5%	398 553,25
19	Hoog	Laag	Laag	2241	15 = 3,75%	3 415 461,88
20	Hoog	Laag	Middel	2241	15 = 3,75%	3 415 501,88
21	Hoog	Laag	Hoog	2241	15 = 3,75%	3 415 551,88
22	Hoog	Middel	Laag	2234	17 = 4,25%	3 693 400,00
23	Hoog	Middel	Middel	2241	15 = 3,75%	3 725 997,50
24	Hoog	Middel	Hoog	2241	15 = 3,75%	3 726 047,50
25	Hoog	Hoog	Laag	2241	15 = 3,75%	4 036 453,13
26	Hoog	Hoog	Middel	2241	15 = 3,75%	4 036 493,13
27	Hoog	Hoog	Hoog	2241	15 = 3,75%	4 036 543,13

Tabel 3: Analyses van het (R, S) model met een standaardafwijking van 100

Aan de hand van tabel 3 kan worden vastgesteld dat bij ongeveer 66,67% van de scenario's de optimale oplossing van de maximum voorraadpositie S, en dus ook het aantal backorders, gelijk is aan de startwaarde. De maximum voorraadpositie S varieert tussen 2232 eenheden en 2241 eenheden. De maximumwaarde die de maximum voorraadpositie aanneemt, is gelijk aan de startwaarde. Het aantal backorders varieert tussen 3,75% en 5%. De gemiddelde totale kosten variëren tussen 33 725,28 euro en 4 036 543,13 euro.

De productkosten van de eerste week zijn per prijscategorie altijd gelijk aan elkaar. Dit omdat de on hand voorraad bij start altijd gelijk is aan 2000 eenheden. Bij een lage productprijs zijn de productkosten van de eerste week altijd gelijk aan 50 000 euro, bij een gemiddelde productprijs zijn de productkosten van de eerste week altijd gelijk aan 500 000 euro en bij een hoge productprijs zijn de productkosten van de eerste week altijd gelijk aan 5 000 000 euro. De productkosten van de weken erna bedragen bij een lage productprijs gemiddeld 30 908,58 euro, bij een gemiddelde productprijs gemiddeld 308 749,31 euro en bij een hoge productprijs gemiddeld 3 097 184,63 euro. Een hoge productprijs heeft een sterke invloed op de gemiddelde totale kosten. Dit is duidelijk zichtbaar in figuur 4. De opslagkosten zijn bepaald in functie van de productprijs en hebben dus een invloed van ca. 10% tot ca. 30% op de totale kosten. De bestelkosten hebben zo goed als geen invloed op de gemiddelde totale kosten. Dit was te verwachten vermits de bestelkosten maar een klein deel uitmaken van de totale kosten.



Figuur 4: Gemiddelde totale kosten van het (R, S) model

5.2 Het (R, s, S) model

In het (R, s, S) model is het niet noodzakelijk dat er elke week wordt bijbesteld. Of er wordt bijbesteld is, zoals eerder aangehaald, afhankelijk van de vraag. In dit geval werd er in bijna al de scenario's elke week een bestelling geplaatst omdat de voorraad bijna elke week voldoende was gedaald zodat het bestelpunt s werd bereikt. In drie gevallen werd er echter één week niet bijbesteld. Dit is het geval 1) wanneer de productprijs en de opslagkosten laag zijn en de bestelkosten hoog; 2) wanneer de productprijs hoog is en de opslagkosten en de bestelkosten een gemiddelde waarde aannemen; en 3) wanneer de productprijs laag is, de opslagkosten hoog zijn, en de bestelkosten een gemiddelde waarde aannemen. Wanneer de analyses worden uitgevoerd in het (R, s, S) model, kan, aan de hand van tabel 4, worden vastgesteld dat bij ongeveer 71,07% van de scenario's de optimale oplossing gelijk is aan de startwaarde. Dit wil zeggen dat het bestelpunt s gelijk is gebleven aan 2100 eenheden, de maximum voorraadpositie S gelijk is gebleven aan 2241 eenheden en dat het aantal backorders gelijk is gebleven aan 3,75%.

Er zijn twee gevallen waarbij de maximum voorraadpositie S gelijk is gebleven aan de startwaarde van 2241 eenheden, maar waarbij het bestelpunt s wel een andere waarde heeft aangenomen. Dit is het geval 1) wanneer de productprijs en de opslagkosten laag zijn en de bestelkosten hoog zijn. Hierbij is het bestelpunt s gedaald tot 1841 eenheden. En 2) wanneer de productprijs laag is, er hoge opslagkosten zijn en de bestelkosten een gemiddelde waarde aannemen. Hierbij is het bestelpunt s gedaald tot 1996 eenheden. In beide gevallen blijft het aantal backorders gelijk aan 3,75% en dus gelijk aan de startwaarde.

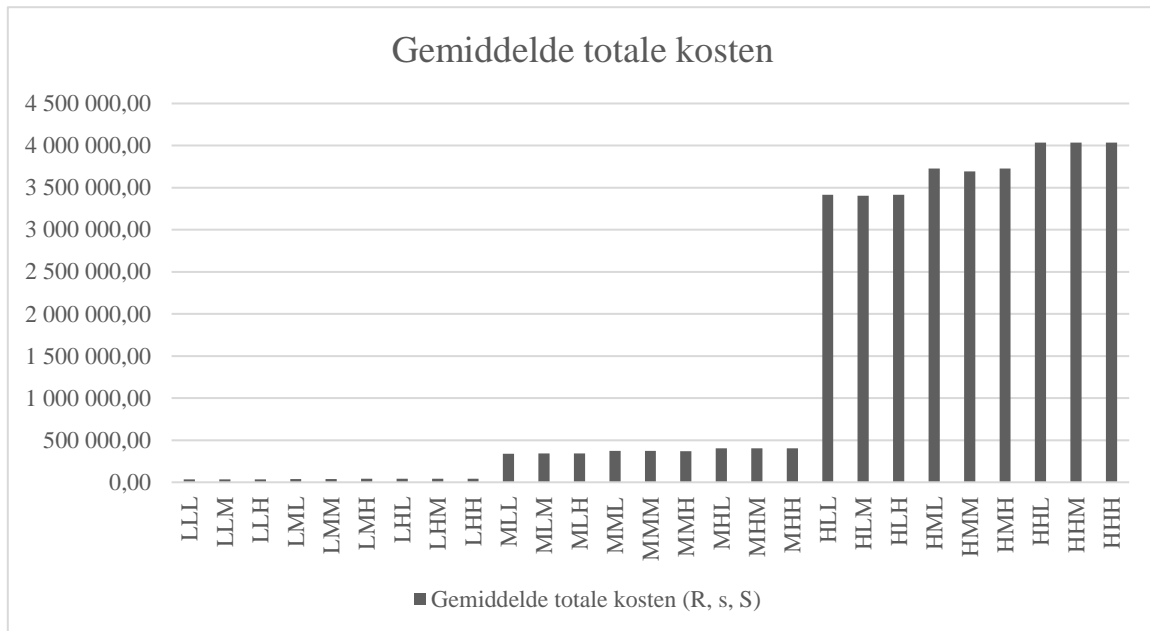
Het bestelpunt s varieert binnen deze analyse tussen 1841 eenheden en 2128 eenheden. De maximum voorraadpositie S varieert tussen 2232 eenheden en 2241 eenheden. Het aantal backorders varieert tussen 3,75% en 5%. Dit is net hetzelfde als bij het (R, S) model. De gemiddelde totale kosten variëren tussen 33 803,31 euro en 4 036 543,13 euro. De laagste gemiddelde totale kosten zijn hoger bij het (R, s, S) model dan bij het (R, S) model, maar de hoogste gemiddelde totale kosten zijn in beide modellen exact gelijk aan elkaar.

	Productprijs	Opslagkosten	Bestelkosten	s	S	# backorders	Gemiddelde TK
1	Laag	Laag	Laag	2116	2233	18 = 4,5%	33 803,31
2	Laag	Laag	Middel	2100	2241	15 = 3,75%	34 204,52
3	Laag	Laag	Hoog	1841	2241	15 = 3,75%	34 237,70
4	Laag	Middel	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	37 269,48
5	Laag	Middel	Middel	2100	2241	15 = 3,75%	37 309,48
6	Laag	Middel	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	37 359,48
7	Laag	Hoog	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	40 374,43
8	Laag	Hoog	Middel	1996	2241	15 = 3,75%	40 394,73
9	Laag	Hoog	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	40 464,43
10	Middel	Laag	Laag	2050	2237	15 = 3,75%	340 406,38
11	Middel	Laag	Middel	2100	2241	15 = 3,75%	341 595,19
12	Middel	Laag	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	341 645,19
13	Middel	Middel	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	372 604,75
14	Middel	Middel	Middel	2100	2241	15 = 3,75%	372 644,75
15	Middel	Middel	Hoog	2128	2232	20 = 5%	367 903,00
16	Middel	Hoog	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	403 654,31
17	Middel	Hoog	Middel	2100	2241	15 = 3,75%	403 694,31
18	Middel	Hoog	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	403 744,31
19	Hoog	Laag	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	3 415 461,88
20	Hoog	Laag	Middel	2083	2237	15 = 3,75%	3 404 013,75
21	Hoog	Laag	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	3 415 551,88
22	Hoog	Middel	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	3 725 957,50
23	Hoog	Middel	Middel	1923	2234	17 = 4,25%	3 691 684,88
24	Hoog	Middel	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	3 726 047,50
25	Hoog	Hoog	Laag	2100	2241	15 = 3,75%	4 036 453,13
26	Hoog	Hoog	Middel	2100	2241	15 = 3,75%	4 036 493,13
27	Hoog	Hoog	Hoog	2100	2241	15 = 3,75%	4 036 543,13

Tabel 4: Analyses van het (R, s, S) model met een standaardafwijking van 100

De productkosten van de eerste week zijn, net zoals bij het (R, S) model, per prijs categorie altijd gelijk aan elkaar. Dit omdat de on hand voorraad bij start altijd gelijk is aan 2000 eenheden. Bij een lage productprijs zijn de productkosten van de eerste week altijd gelijk aan 50 000 euro, bij een gemiddelde productprijs zijn de productkosten van de eerste week altijd gelijk zijn aan 500 000 euro en bij een hoge productprijs zijn de productkosten van de eerste week altijd gelijk zijn aan 5 000 000 euro. De productkosten van de weken erna bedragen bij een lage productprijs gemiddeld 30 962,14 euro, bij een gemiddelde productprijs gemiddeld 309 459,55 euro en bij een hoge productprijs gemiddeld

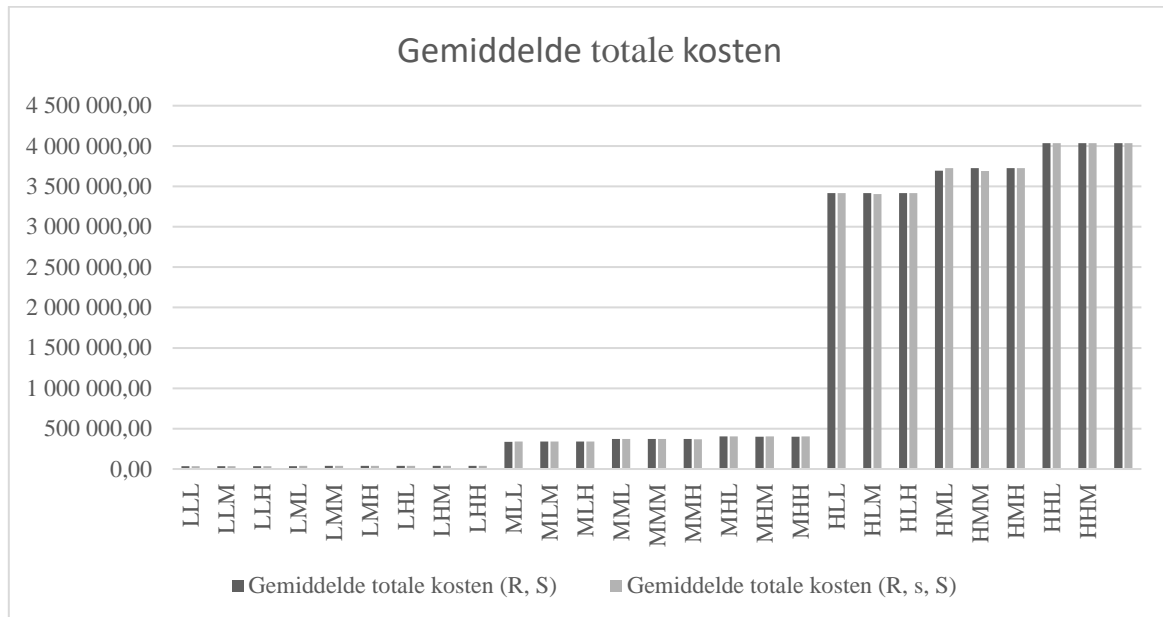
3 095 858,40 euro. Een hoge productprijs heeft, net zoals bij het (R, S) model, een sterke invloed op de gemiddelde totale kosten. Dit is duidelijk zichtbaar in figuur 5. Dit is logisch want de productprijs neemt binnen de drie verschillende kosten de grootste waarde aan. Ook hier varieert de invloed van de opslagkosten op de totale kosten tussen ca. 10% tot ca. 30% omdat de opslagkosten als een vast percentage van de productprijs zijn vastgelegd. De bestelkosten hebben, net zoals bij het (R, S) model, bijna geen invloed op de totale kosten.



Figuur 5: Gemiddelde totale kosten van het (R, s, S) model

5.3 Vergelijking tussen (R, S) en (R, s, S)

Wanneer de grafieken van het (R, S) model (figuur 4) en het (R, s, S) model (figuur 5) worden samengevoegd, wordt deze nieuwe grafiek (figuur 6) bekomen.



Figuur 6: Gemiddelde totale kosten van het (R, S) model en het (R, s, S) model ($\mu = 1000$, $\sigma = 100$)

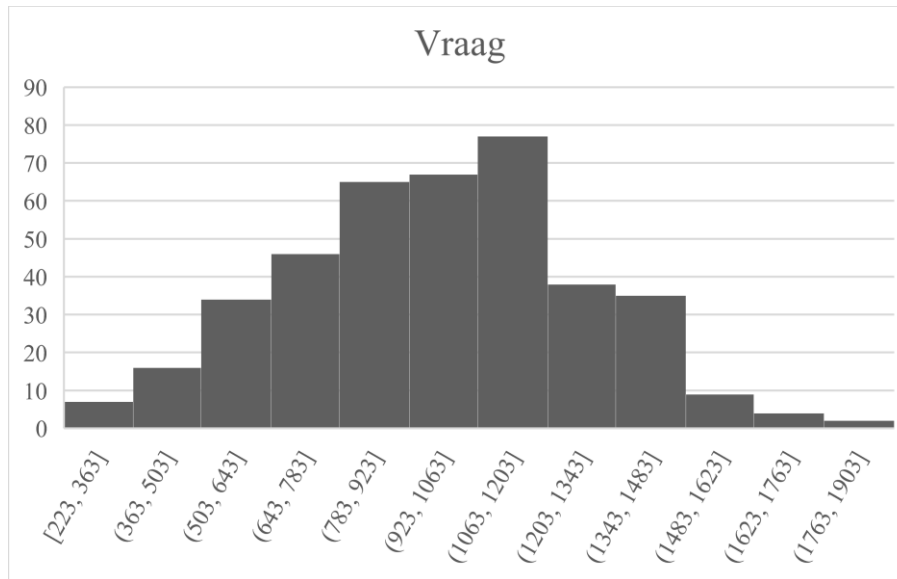
Er kan worden vastgesteld dat de gemiddelde totale kosten van de twee modellen over het algemeen vrij gelijk lopen. In 51,85% van de scenario's zijn het (R, S) model en het (R, s, S) model exact even duur. In 18,52% van de scenario's is het (R, S) model duurder en in 29,63% van de scenario's is het (R, s, S) model duurder. Het gaat echter over minieme verschillen. De verschillen liggen tussen 0% en 1,30%, dit is terug te vinden in tabel 5. Zoals eerder aangehaald is de evolutionary oplossingsmethode in staat om een goede oplossing te vinden, maar niet noodzakelijk een optimale oplossing. Dit heeft als gevolg dat er een kleine variatie optreedt van ongeveer drie procent in de mogelijke optimale oplossing. Deze drie procent is gebaseerd op het herhaaldelijk berekenen van dezelfde scenario's. Al de verschillen die binnen deze drie procent vallen, worden niet weerhouden als significant. Er is geen regelmaat terug te vinden over wanneer welk model duurder is. Dit is te wijten aan het feit dat het gaat over zeer kleine verschillen.

	Gemiddelde totale kosten		Verschil	Verschil %
	(R, S)	(R, s, S)		
LLL	33 725,28	33 803,31	78,03	+ 0,23%
LLM	34 204,52	34 204,52	0	+ 0%
LLH	34 254,52	237,70	-16,82	- 0,05%
LML	37 047,25	37 269,48	222,23	+ 0,60%
LMM	37 309,48	37 309,48	0	+ 0%
LMH	37 359,48	37 359,48	0	+ 0%
LHL	40 133,69	34 40 374,43	240,74	+ 0,60%
LHM	40 414,43	40 394,73	-19,7	- 0,05%
LHH	40 373,92	40 464,43	90,51	+ 0,22%
MLL	337 943,06	340 406,38	2463,32	+ 0,73%
MLM	341 595,19	341 595,19	0	+ 0%
MLH	341 645,19	341 645,19	0	+ 0%
MML	372 604,75	372 604,75	0	+ 0%
MMM	372 644,75	372 644,75	0	+ 0%
MMH	370 986,25	367 903,00	-3083,25	- 0,83%
MHL	403 654,31	403 654,31	0	+ 0%
MHM	400 167,25	403 694,31	3527,06	+ 0,88%
MHH	398 553,25	403 744,31	5191,06	+ 1,30%
HLL	3 415 461,88	3 415 461,88	0	+ 0%
HLM	3 415 501,88	3 404 013,75	-11 488,13	- 0,34%
HLH	3 415 551,88	3 415 551,88	0	+ 0%
HML	3 693 400,00	3 725 957,50	32 557,5	+ 0,88%
HMM	3 725 997,50	3 691 684,88	-34 312,62	- 0,92%
HMH	3 726 047,50	3 726 047,50	0	+ 0%
HHL	4 036 453,13	4 036 453,13	0	+ 0%
HHM	4 036 493,13	4 036 493,13	0	+ 0%
HHH	4 036 543,13	4 036 543,13	0	+ 0%

Tabel 5: Verschil gemiddelde totale kosten tussen (R, S) en (R, s, S) ($\mu = 1000$, $\sigma = 100$)

5.4 Spreiding van de vraag

Aangezien er in de vorige analyse, gebruikmakend van drie verschillende kosten met telkens drie verschillende waarden, niet veel variatie zichtbaar was, wordt er nu gevarieerd met de vraag om na te gaan of dit wel significante verschillen met zich meebrengt. Er wordt nog steeds met 400 vraaggegevens gewerkt, maar de vraag wordt aangepast door de standaardafwijking te verhogen van 100 naar 300. Hierdoor zal er meer variatie in de vraag zichtbaar zijn. De vraag blijft normaal verdeeld (zie figuur 7).



Figuur 7: Normaal verdeelde vraag met 400 gegevens ($\mu = 1000$, $\sigma = 300$)

Bij het maken van de analyses blijven de randvoorwaarden hetzelfde als voorheen. Voor het (R, S) model wordt ook nu gestart met een maximum voorraadpositie S van 2241 eenheden. Er kan worden vastgesteld dat wanneer er wordt gewerkt met een standaardafwijking van 300 in plaats van 100, een S van 2241 eenheden geen oplossing meer weergeeft die voldoet aan al de randvoorwaarden. Het aantal backorders is nu gelijk aan 77%. Om de resultaten éénduidig te kunnen vergelijken, zijn dezelfde startvoorwaarden gebruikt als in het vraagmodel met een standaardafwijking van 100.

Uit de analyses van het (R, S) model kan, aan de hand van tabel 6, worden vastgesteld dat de laagste gemiddelde totale kosten nu gelijk zijn aan 46 297,86 euro ten opzichte van 33 725,28 euro bij een standaardafwijking van 100. Vooral de hoogste gemiddelde totale kosten zijn sterk gestegen, van 4 036 543,13 euro naar 5 606 926,25 euro. Er kan dus gesteld worden dat de gemiddelde totale kosten over het algemeen gestegen zijn ten opzichte van wanneer de variatie in de vraag kleiner is. Ook zit er meer variatie op de maximum voorraadpositie S en op het aantal backorders. S varieert nu tussen 2697 eenheden en 2886 eenheden. De maximum voorraadpositie is sterk toegenomen. Dit geeft ook een verklaring voor de hogere gemiddelde totale kosten. Doordat de maximum voorraadpositie hoger is, zal er meer voorraad worden aangehouden en zullen de opslagkosten duurder zijn. Het aantal backorders varieert tussen 1% en 4,75%. Terwijl voorheen ongeveer bij 66,67% van de scenario's de optimale oplossing gelijk was aan de startwaarde, is dit nu geen enkele keer meer het geval.

(R, S)						
	Productprijs	Opslagkosten	Bestelkosten	S	# backorders	Gemiddelde TK
1	Laag	Laag	Laag	2699	18 = 4,5%	46 297,86
2	Laag	Laag	Middel	2700	18 = 4,5%	46 373,48
3	Laag	Laag	Hoog	2697	19 = 4,75%	46 324,75
4	Laag	Middel	Laag	2698	19 = 4,75%	50 471,43
5	Laag	Middel	Middel	2738	12 = 3%	52 263,95
6	Laag	Middel	Hoog	2704	17 = 4,25%	50 862,25
7	Laag	Hoog	Laag	2779	9 = 2,25%	58 051,83
8	Laag	Hoog	Middel	2698	19 = 4,75%	54 716,54
9	Laag	Hoog	Hoog	2735	13 = 3,25%	56 544,94
10	Middel	Laag	Laag	2705	17 = 4,25%	465 804,31
11	Middel	Laag	Middel	2704	17 = 4,25%	465 370,63
12	Middel	Laag	Hoog	2744	10 = 2,5%	480 602,00
13	Middel	Middel	Laag	2719	15 = 3,75%	514 647,25
14	Middel	Middel	Middel	2697	19 = 4,75%	504 320,00
15	Middel	Middel	Hoog	2720	15 = 3,75%	515 155,00
16	Middel	Hoog	Laag	2886	4 = 1%	616 939,63
17	Middel	Hoog	Middel	2703	17 = 4,25%	549 414,56
18	Middel	Hoog	Hoog	2705	17 = 4,25%	550 584,19
19	Hoog	Laag	Laag	2699	18 = 4,5%	4 628 796,25
20	Hoog	Laag	Middel	2706	17 = 4,25%	4 662 730,00
21	Hoog	Laag	Hoog	2701	18 = 4,5%	4 638 930,63
22	Hoog	Middel	Laag	2722	15 = 3,75%	5 158 915,00
23	Hoog	Middel	Middel	2708	17 = 4,25%	5 096 945,00
24	Hoog	Middel	Hoog	2715	15 = 3,75%	5 129 762,50
25	Hoog	Hoog	Laag	2726	15 = 3,75%	5 606 926,25
26	Hoog	Hoog	Middel	2702	17 = 4,25%	5 488 097,50
27	Hoog	Hoog	Hoog	2701	18 = 4,5%	5 482 354,38

Tabel 6: Analyses van het (R, S) model met een standaardafwijking van 300

Ook bij het (R, s, S) model worden terug dezelfde startvoorwaarden gebruikt als voorheen. Voor het bestelpunt s zijn dit 2100 eenheden en voor de maximum voorraadpositie S zijn dit 2241 eenheden. Ook hier geeft dit geen oplossing meer weer die voldoet aan al de randvoorwaarden, hetgeen voorheen wel het geval was. Het aantal backorders is nu, net zoals bij het (R, S) model, gelijk aan 77%.

Er kan ook hier, aan de hand van tabel 7, worden vastgesteld dat de gemiddelde totale kosten zijn gestegen ten opzichte van wanneer de variatie in de vraag kleiner is. Een grote verandering is dat er voorheen bijna elke week werd bijbesteld en dat dit nu niet meer het geval is. In 48,15% van de gevallen

wordt er nog elke week bijbesteld, in 51,85% van de gevallen wordt er minstens één week niet bijbesteld. Dit wil dus zeggen dat het bestelpunt s niet elke week wordt bereikt. Er zit geen regelmaat in het bijbestellen, dit is logisch vermits de vraag varieert en dus elke week anders is.

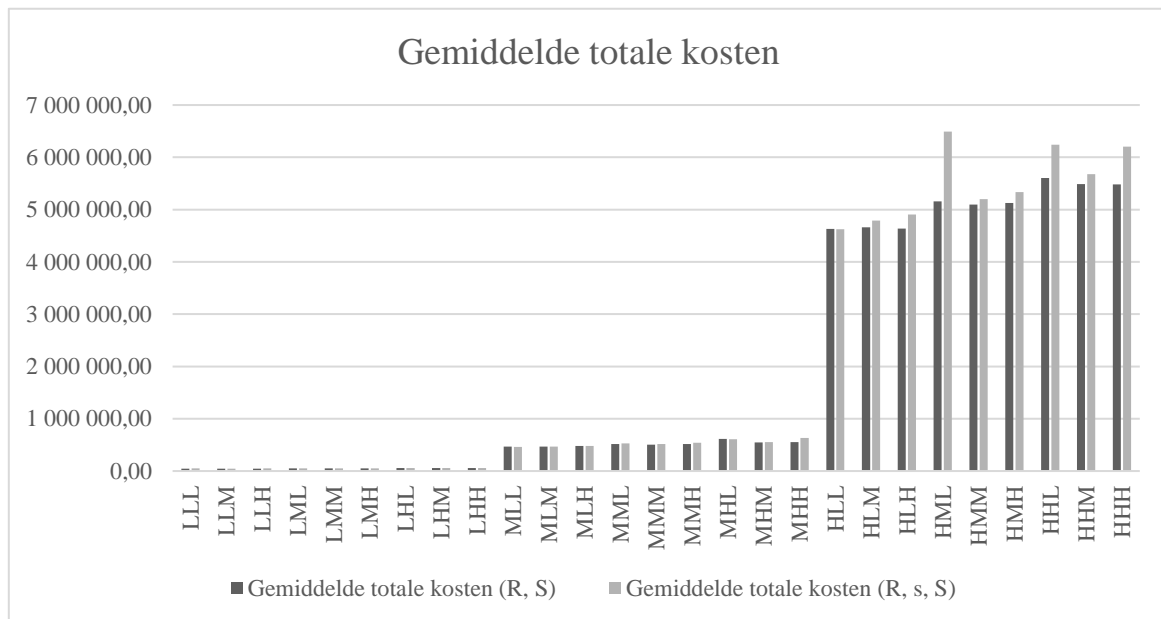
(R, s, S)							
	Productprijs	Opslagkosten	Bestelkosten	S	S	# backorders	Gemiddelde TK
1	Laag	Laag	Laag	2280	3085	14 = 3,5%	53 928,56
2	Laag	Laag	Middel	2416	2703	17 = 4,25%	46 519,24
3	Laag	Laag	Hoog	2740	2742	11 = 2,75%	48 088,74
4	Laag	Middel	Laag	2357	2701	18 = 4,5%	50 526,75
5	Laag	Middel	Middel	2357	2701	18 = 4,5%	50 566,35
6	Laag	Middel	Hoog	2748	2750	10 = 2,5%	52 717,75
7	Laag	Hoog	Laag	2536	2697	19 = 4,75%	54 639,25
8	Laag	Hoog	Middel	2705	2710	16 = 4%	55 378,33
9	Laag	Hoog	Hoog	2531	2732	14 = 3,5%	56 424,61
10	Middel	Laag	Laag	2468	2699	18 = 4,5%	462 735,29
11	Middel	Laag	Middel	2396	2709	17 = 4,25%	467 380,63
12	Middel	Laag	Hoog	2591	2733	13 = 3,25%	477 033,19
13	Middel	Middel	Laag	2437	2766	9 = 2,25%	531 090,20
14	Middel	Middel	Middel	2654	2725	15 = 3,75%	517 193,75
15	Middel	Middel	Hoog	2544	2788	8 = 2%	538 641,00
16	Middel	Hoog	Laag	2244	2994	20 = 5%	611 114,69
17	Middel	Hoog	Middel	2469	2713	15 = 3,75%	554 677,00
18	Middel	Hoog	Hoog	2425	2990	9 = 2,25%	634 927,00
19	Hoog	Laag	Laag	2501	2698	19 = 4,75%	4 625 640,63
20	Hoog	Laag	Middel	2565	2740	12 = 3%	4 792 695,00
21	Hoog	Laag	Hoog	2586	2777	9 = 2,25%	4 905 268,13
22	Hoog	Middel	Laag	3130	3150	1 = 0,25%	6 491 215,00
23	Hoog	Middel	Middel	2379	2737	14 = 3,5%	5 202 776,75
24	Hoog	Middel	Hoog	2686	2772	9 = 2,25%	5 334 655,00
25	Hoog	Hoog	Laag	2905	2907	2 = 0,5%	6 238 604,38
26	Hoog	Hoog	Middel	2361	2755	12 = 3%	5 679 675,50
27	Hoog	Hoog	Hoog	2778	2897	2 = 0,5%	6 205 950,63

Tabel 7: Analyses van het (R, s, S) model met een standaardafwijking van 300

Uit de analyses kan tevens worden vastgesteld dat zowel het bestelpunt s als de maximum voorraadpositie S een grotere variatie aannemen ten op zichte van de analyses met een

standaardafwijking van 100. Het bestelpunt varieert nu tussen 2244 eenheden en 3130 eenheden. De maximum voorraadpositie varieert tussen 2698 eenheden en 3150 eenheden. Ook het aantal backorders heeft een veel grotere variatie, namelijk tussen 0,25% en 5%. Net zoals bij het (R, S) model zijn ook hier de gemiddelde totale kosten gestegen. De laagste gemiddelde totale kosten bedragen nu 46 519,24 euro, dit is het geval wanneer de productprijs en de opslagkosten laag zijn en de bestelkosten een gemiddelde waarde aannemen. De hoogste gemiddelde totale kosten bedragen 6 491 215,00 euro, dit is het geval wanneer de productprijs hoog is, de opslagkosten een gemiddelde waarde aannemen en de bestelkosten laag zijn. Hierbij is het aantal backorders slechts gelijk aan 0,25%. Terwijl voorheen ongeveer bij 71,07% van de scenario's de optimale oplossing gelijk was aan de startwaarde, is dit nu, net zoals bij het (R, S) model, geen enkele keer meer het geval.

De grafiek van de gemiddelde totale kosten wanneer de standaardafwijking van de vraag gelijk is aan 300, ziet er als volgt uit (figuur 8).



Figuur 8: Gemiddelde totale kosten van het (R, S) en het (R, s, S) model ($\mu = 1000, \sigma = 300$)

Over het algemeen lopen de gemiddelde totale kosten van de twee modellen ook nu nog vrij gelijk. Toch kunnen er een paar kleine verschillen worden waargenomen. Terwijl bij de vorige analyses het (R, S) en het (R, s, S) model ongeveer voor de helft van de scenario's exact dezelfde kosten weergaven, is dit nu nergens meer het geval. In 25,93% van de scenario's is het (R, S) model duurder en in 74,07% van de scenario's is het (R, s, S) model duurder. In deze analyse waarbij de standaardafwijking van de vraag gelijk is gesteld aan 300, is de variatie van de verschillen veel ruimer dan voorheen toen de standaardafwijking van de vraag gelijk was gesteld aan 100. De verschillen liggen nu tussen 0,07% en 25,83%. Dit is terug te vinden in tabel 8. In 13 van de 27 scenario's is het verschil kleiner dan 3%. Deze

gevallen zijn net zoals bij de vorige analyse verwaarloosbaar omdat er bij het gebruik van Oplosser een variatie optreedt van ongeveer drie procent. Ook nu is er geen regelmaat terug te vinden over welk model wanneer duurder is. Wel kan er vastgesteld worden dat van de zeven keer dat het (R, S) model duurder is, de verschillen vijf keer onder de drie procent liggen.

	Gemiddelde totale kosten		Verskil	Verskil %
	(R, S)	(R, s, S)		
LLL	46 297,86	53 928,56	7630,70	+ 16,48%
LLM	46 373,48	46 519,24	145,76	+ 0,31%
LLH	46 324,75	48 088,74	1763,99	+ 3,81%
LML	50 471,43	50 526,75	55,32	+ 0,11%
LMM	52 263,95	50 566,35	-1697,6	- 3,25%
LMH	50 862,25	52 717,75	1855,50	+ 3,64%
LHL	58 051,83	54 639,25	-3412,58	- 5,88%
LHM	54 716,54	55 378,33	661,79	+ 1,21%
LHH	56 544,94	56 424,61	-120,33	- 0,21%
MLL	465 804,31	462 735,29	-3069,02	+ 0,66%
MLM	465 370,63	467 380,63	2010,00	+ 0,43%
MLH	480 602,00	477 033,19	-3568,81	- 0,74%
MML	514 647,25	531 090,20	16 442,95	+ 3,20%
MMM	504 320,00	517 193,75	12 873,75	+ 2,55%
MMH	515 155,00	538 641,00	23 486,00	+ 4,56%
MHL	616 939,63	611 114,69	-5824,94	- 0,94%
MHM	549 414,56	554 677,00	5262,44	+ 0,96%
MHH	550 584,19	634 927,00	84 342,81	+ 15,32%
HLL	4 628 796,25	4 625 640,63	-3155,62	+ 0,07%
HLM	4 662 730,00	4 792 695,00	129 965,00	+ 2,79%
HLH	4 638 930,63	4 905 268,13	266 337,50	+ 5,74%
HML	5 158 915,00	6 491 215,00	1 332 300,00	+ 25,83%
HMM	5 096 945,00	5 202 776,75	105 861,75	+ 2,08%
HMH	5 129 762,50	5 334 655,00	204 892,50	+ 3,99%
HHL	5 606 926,25	6 238 604,38	631 678,13	+ 11,27%
HHM	5 488 097,50	5 679 675,50	191 578	+ 3,49%
HHH	5 482 354,38	6 205 950,63	723 596,25	+ 13,20%

Tabel 8: Verskil gemiddelde totale kosten tussen (R, S) en (R, s, S) ($\mu = 1000$, $\sigma = 300$)

Er werd verwacht dat het (R, S) model, bij een stijging van de bestelkosten, over het algemeen duurder zou zijn dan het (R, s, S) model. Dit omwille van het feit dat er bij het (R, S) model elke keer

als er vraag is, zal worden bijbesteld en dit bij het (R, s, S) model niet het geval is. Er zullen bij het (R, S) model dus altijd bestelkosten plaatsvinden, ook wanneer het slechts over kleine hoeveelheden gaat. In het geval van dit simulatiemodel zal er echter bij het (R, s, S) model ook bijna elke week een bestelling geplaatst worden waardoor het eventuele kostenvoordeel dat het (R, s, S) model kon hebben met de bestelkosten zo goed als verdwijnt.

6. Conclusie

In deze masterproef is er onderzoek uitgevoerd naar de kostenefficiëntie van de periodieke voorraadmodellen (R, S) en (R, s, S).

Over het algemeen kan er geconcludeerd worden dat, zowel binnen het (R, S) model als binnen het (R, s, S) model, de productprijs de grootste invloed heeft op de totale kosten. Dit is logisch aangezien dit de grootste kostenfactor is binnen de totale voorraadkosten. Ook de opslagkosten spelen een belangrijke rol binnen de totale kosten. Op grote bedragen heeft een extra kost van 30% immers een belangrijke impact. De bestelkosten zijn echter zo goed als verwaarloosbaar. Het gaat over zeer kleine bedragen die (bijna) geen invloed hebben op de totale kosten.

Wanneer de spreiding van de vraag vrij klein is, kan er geen specifieke conclusie gemaakt worden over welk model in welke situatie het meest kostenefficiënt is. De verschillen tussen het (R, S) en het (R, s, S) model zijn in dit geval zeer klein en kunnen hierdoor buiten beschouwing gelaten worden. Ook het aantal backorders is zeer gelijklopend tussen de twee modellen. Bij beiden variëren deze namelijk tussen 3,75% en 5%. Op basis hiervan kan dus ook geen onderscheid gemaakt worden welk model eventueel het voordeligste is.

Om te weten welk model het beste is in welke situatie wanneer de spreiding van de vraag vrij klein is, zou de tool moeten gebruikt worden. Dit omdat er geen regelmaat terug te vinden is in de analyses en de twee modellen in ongeveer de helft van de scenario's exact dezelfde waarde aangeven. In de andere helft van de scenario's gaat het over zeer kleine verschillen. Wanneer het over zo een kleine verschillen gaat op zo een grote bedragen, zal het uiteindelijk niet veel uitmaken welk model er gebruikt zal worden.

Wanneer de spreiding van de vraag groter is, kunnen er wel meer verschillen worden vastgesteld. Men kan zien dat het (R, s, S) model in ongeveer drie vierde van de scenario's duurder is dan het (R, S) model. Wanneer het (R, S) model duurder is, zijn bijna al de verschillen zo klein dat ze verwaarloosbaar zijn. Het aantal backorders kent een grotere variatie ten opzichte van wanneer de spreiding van de vraag kleiner is, maar ook hier is de variatie van het aantal backorders van de twee modellen zeer gelijklopend. Niettegenstaande dat de variatie vrij gelijkend is, kan er worden vastgesteld dat het (R, s, S) model over het algemeen minder backorders heeft dan het (R, S) model. Dit is te wijten aan het feit dat bij het (R, s, S) model het bestelpunt s en de maximum voorraadpositie S vaak heel dicht bij elkaar liggen, waardoor er ook wekelijks wordt besteld. Doordat er vaak wordt bijbesteld is er minder kans op backorders, maar stijgt de voorraad met als gevolg dat de opslagkosten stijgen en zo ook de totale kosten.

Wanneer de spreiding van de vraag groter is, is het (R, s, S) model, in de meeste gevallen, duurder dan het (R, S) model en kan er op basis van de totale kosten in de meeste gevallen dus beter gekozen worden voor het (R, S) model.

Dankwoord

Ik wil iedereen bedanken die deze masterproef mogelijk heeft gemaakt. In het bijzonder, mijn promotor prof. dr. Inneke Van Nieuwenhuise om mij de mogelijkheid te geven om onderzoek te kunnen verrichten rond dit onderwerp. Mede door haar feedback heb ik deze masterproef tot een goed einde kunnen brengen. Bovendien wil ik ook graag de mensen in mijn naaste omgeving bedanken voor hun onvoorwaardelijke steun gedurende mijn opleiding.

Bibliografie

- Avinadav, T., Herbon, A., & Spiegel, U. (2013). Optimal inventory policy for a perishable item with demand function sensitive to price and time. *Int. J. Production Economics*, 2013(144)
- Bard, J.F., & Jensen, P.A. (2002). Inventory Theory: The (R, S) Inventory Policy. *Operations Research Models and Methods*.
- Bard, J.F., & Jensen, P.A. (2002). Inventory Theory: The (s, Q) Inventory Policy. *Operations Research Models and Methods*.
- Behrooz, D.A., & Boozarjomehry, R.B. (2017). Dynamic optimization of natural gas networks under customer demand uncertainties. *Energy*, 2017(134)
- Chen, H., & Nguyen, D.H. (2019). Optimization of a perishable inventory system with both stochastic demand and supply: comparison of two scenario approaches. *Croatian Operational Research Review*, 10 (2019), 175-186
- Frontline Solvers. (2019). Simulation models. Geraadpleegd op 16 oktober 2019 via <https://www.solver.com/simulation-models>
- Frontline Solvers. (2020). Excel solver – evolutionary solving method stopping conditions. Geraadpleegd op 3 mei 2020 via <https://www.solver.com/excel-solver-evolutionary-solving-method-stopping-conditions>
- Gijssen, B. (2011). *Voorraadbeheer in een supply chain met uitwisseling van informatie tussen de partners*. [scriptie]. Geraadpleegd via <https://bibliotheek.uhasselt.be/nl>
- Hua, G., Wang, S., & Cheng, T.C.E. (2009). Price and lead time decisions in dual-channel supply chains. *European Journal of Operational Research*, 2010(205)
- Janssen, F., Heuts, R., & de Kok, T. (1996). The value of information in an (R, s, Q) inventory model. *Research papers in Economics*
- Mely Permatasari, P., Santosa, B., & Yanuar Ridwan, A. (2017). Inventory Policy Determination for Raw Materials in ILY Pharmaceutical using Periodic Review (R, s, S) and Periodic Review (R, S) Method to Minimize Total Inventory Cost. *MATEC Web of Conferences*.
- Moors, J.J.A., & Strijbosch, L.W.G. (2002). Simulating an (R, s, S) Inventory System. *CentER Discussion Paper*, 2002(94)

Novotná, V. (2015). Numerical Solution of the Inventory Balance Delay Differential Equation. *International Journal of Engineering Business Management*.

Park, J.W., & Klabjan, D. (2014). Lot sizing with minimum order quantity. *Discrete Applied Mathematics*, 2015(181)

Peterson, R., Pyke, D.F., & Silver, E.A. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling (3rd ed.)*. VS: John Wiley & Sons.

Ramaswamy, S.E. (1999). 5897624. New York, United States: International Business Machines

Reid, R.D., & Sanders, N.R. (2013). *Inventory Management Policies: an integrated approach, international student version (5th ed.)*. VS: John Wiley & Sons.

Singha, K., Buddhakulsomsiri, J., & Parthanadee, P. (2017). Mathematical Model of (R, Q) Inventory Policy under Limited Storage Space for Continuous and Periodic Review Policies with Backlog and Lost sales. *Mathematical Problems in Engineering*, (2017)

Soric, K., Rosenzweig, V.V., & Kraljevic, J. (2017). Price changing and inventory sharing in supply chain management. *Croatian Operational Research Review*, 2017(8)