

Simulatie als instrument voor efficiëntiebepaling van de werking op een containerterminal

Bart CEYSSENS

promotor :

Prof. dr. Gerrit JANSSENS

Woord vooraf

Deze eindverhandeling heb ik geschreven ter afsluiting van mijn opleiding tot Handelsingenieur, optie Operationeel Management en Logistiek, aan de faculteit Toegepaste Economische Wetenschappen van de Universiteit Hasselt.

De titel van deze eindverhandeling luidt: 'simulatie als instrument voor efficiëntiebepaling van de werking op een containerterminal'. Ik heb voor dit onderwerp gekozen aangezien het aansluit bij mijn afstudeerrichting en omdat het me een interessant thema leek om me in te verdiepen.

Graag zou ik in dit voorwoord nog enkele mensen willen bedanken. Eerst en vooral mijn promotor, prof. dr. Gerrit K. Janssens, voor zijn goede begeleiding. Bij hem kon ik ook steeds terecht wanneer ik vragen had. Het was een aangename samenwerking die leidde tot de totstandkoming van deze eindverhandeling.

Verder een woord van dank aan mijn ouders die het hebben mogelijk gemaakt voor mij dat ik kon gaan studeren en mij hebben bijgestaan om mijn opleiding tot een goed einde te brengen en aan mijn vrienden voor hun steun tijdens mijn studentenperiode.

Bart Ceysens

Mei 2007

Samenvatting

Sinds de jaren '60, toen de container zijn intrede deed in het maritieme vervoer, valt de containerterminal niet meer weg te denken uit de logistieke keten. De containerterminal speelt een cruciale rol in het intermodale vervoer en zorgt voor een vlotte verbinding tussen de haven en het hinterland.

De laatste decennia kent de maritieme sector een enorme groei door de globalisering van de economie. Deze groei heeft ook gevolgen voor de containerterminal, die aan de huidige noden van de transportsector moet blijven voldoen. De containerterminal zal hiervoor zowel lange als korte termijn aanpassingen moeten ondergaan waarvan de uitvoering hoge kosten met zich mee kan brengen en het succes ervan niet met zekerheid op voorhand kan worden vastgesteld.

Om die reden is het interessant voor de terminalmanager om gebruik te maken van simulaties, zodat de reële wereld eerst wordt nagebootst, om het effect van de veranderingen te voorspellen voordat grote aanpassingen uitgevoerd worden.

Simulatie kent reeds tal van toepassingen in de maritieme sector en meer bepaald in containerterminals. Deze eindverhandeling maakt aan de hand van een literatuurstudie een indeling van de verschillende simulatietoepassingen in containerterminals en tracht op die wijze een overzicht te creëren. Vervolgens wordt aan de hand van een illustratief simulatiemodel onderzocht of een verandering in bepaalde parameters een invloed op de werking van de containerterminal uitoefent.

In de literatuurstudie wordt een indeling gemaakt op basis van verschillende factoren. De locatie waar de simulatie wordt toegepast, vormt de basis voor de drieledige hoofdindeling. Het transport over zee, de containerterminal zelf en de verbinding met het hinterland. Simulatie op de terminal zelf bestaat uit twee grote groepen. Enerzijds simulatie met het oog op optimalisatie en procesverbetering dat zowel op tactisch als op operationeel niveau kan voorkomen. Anderzijds met

het oog op analyse en evaluatie van de containerterminal, zowel van de activiteiten en het interne transportsysteem als van de toegepaste managementinformatiesystemen. Op het einde van de literatuurstudie wordt gebruik gemaakt van een tabel om een overzichtelijk beeld te scheppen.

In hoofdstuk 4 wordt een simulatiemodel van een containerterminal besproken dat is uitgewerkt aan de hand van het simulatieprogramma Arena. Het model laat toe zowel de activiteiten van het schip in de haven als de los- en laadactiviteiten op de terminal te simuleren. Het doel van het simulatiemodel bestaat erin het effect van veranderingen in externe en interne factoren te onderzoeken.

De externe factoren, zoals het aankomst ritme en de aankomstmix van de schepen, worden vastgelegd door derden. Op de externe factoren heeft het terminalmanagement geen invloed. Veranderingen in de interne factoren daarentegen, zoals de bepaling van het aantal aanlegplaatsen of het aantal kadekranen, heeft het management van een containerterminal wel zelf in de hand. Per simulatie, zowel van de externe als de interne factoren, worden de bezettingsgraad en de gemiddelde geschatte wachttijd voor de schepen besproken.

Tot slot worden op het einde van de eindverhandeling nog enkele algemene conclusies geformuleerd.

INHOUDSOPGAVE

Woord vooraf

Samenvatting

1	PROBLEEMSTELLING EN ONDERZOEKSOPZET	- 1 -
1.1	Probleemstelling.....	- 1 -
1.1.1	<i>Omschrijving en situering praktijkprobleem.....</i>	<i>- 1 -</i>
1.1.2	<i>Formulering van de centrale onderzoeksvraag.....</i>	<i>- 1 -</i>
1.1.3	<i>Formulering deelvragen.....</i>	<i>- 2 -</i>
1.2	Onderzoeksopzet.....	- 3 -
2	DEFINITIES EN VERKLARING VAN BEGRIPPEN	- 4 -
2.1	Gebruik van containers in het maritieme vervoer.....	- 4 -
2.2	Structuur en werking van een intermodale terminal	- 5 -
2.3	Definitie en toepassingen van simulatie	- 8 -
3	SIMULATIETOEPASSINGEN OP EEN TERMINAL	- 11 -
3.1	Transport over zee.....	- 11 -
3.2	De containerterminal.....	- 12 -
3.2.1	<i>Optimalisatie en procesverbetering op de terminal.....</i>	<i>- 12 -</i>
3.2.1.1	Het tactische niveau	- 13 -
3.2.1.1.1	<i>Simulatie voor een nieuwe terminal.....</i>	<i>- 13 -</i>
3.2.1.1.2	<i>Simulatie voor een bestaande terminal.....</i>	<i>- 16 -</i>
3.2.1.2	Het operationele niveau.....	- 18 -
3.2.1.2.1	<i>Simulatie van aparte subsystemen.....</i>	<i>- 19 -</i>

3.2.1.2.2	<i>Simulatie van subsystemen in relatie met elkaar</i>	- 22 -
3.2.2	<i>Analyse en evaluatie op de containerterminal</i>	- 25 -
3.2.2.1	Analyse van de activiteiten op de terminal	- 25 -
3.2.2.2	Analyse van interne transportsystemen	- 32 -
3.2.2.3	Evaluatie van managementinformatiesystemen.....	- 38 -
3.3	Verbinding met het hinterland	- 40 -
3.4	Overzichtstabel simulatietoepassingen	- 44 -
4	SIMULATIEMODEL VAN EEN CONTAINERTERMINAL	- 45 -
4.1	Uitgangspunt van het simulatiemodel	- 45 -
4.2	Beschrijving van het simulatiemodel	- 46 -
4.2.1	<i>Bemerkingen bij het simulatiemodel</i>	- 47 -
4.2.2	<i>Simulatie op schipniveau</i>	- 47 -
4.2.3	<i>Simulatie op containerniveau</i>	- 52 -
4.2.3.1	Simulatie van de losactiviteiten op de terminal	- 52 -
4.2.3.2	Simulatie van de laadactiviteiten op de terminal	- 60 -
4.3	De uitvoering van het simulatiemodel	- 63 -
4.3.1	<i>Omstandigheden van de simulaties</i>	- 64 -
4.3.2	<i>Simulaties met aanpassingen in de externe factoren</i>	- 64 -
4.3.2.1	Simulatie met verschillende aankomsttijden	- 65 -
4.3.2.2	Simulatie met een verandering van de mix primaire-secundaire schepen	- 67 -
4.3.3	<i>Simulatie met aanpassingen in de interne factoren</i>	- 71 -
4.3.3.1	Simulatie met aanpassingen in het aantal beschikbare aanlegplaatsen	- 72 -
4.3.3.2	Simulatie met aanpassingen in het aantal beschikbare kadekranen.....	- 73 -
5	CONCLUSIES EN SUGGESTIES VOOR BIJKOMEND ONDERZOEK	- 76 -
5.1	Conclusies	- 76 -
5.2	Suggesties voor bijkomend onderzoek	- 77 -

Lijst van geraadpleegde werken

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

BIJLAGEN

1 PROBLEEMSTELLING EN ONDERZOEKSOPZET

1.1 Probleemstelling

1.1.1 Omschrijving en situering praktijkprobleem

Het maritieme vervoer kent de laatste decennia een toenemende trend door de globalisering van de economie. Hierdoor vormen de havens en vooral de intermodale containerterminals een kritieke schakel in de huidige logistieke keten. De containerterminals dienen dus grondig bestudeerd te worden om aan de toekomstige noden te voldoen.

Verschillende terminals zullen zowel op lange als op korte termijn aanpassingen moeten ondergaan om in de toekomst aan de eisen van het toenemende vervoer over zee te voldoen. Aanpassingen op lange termijn houden vooral veranderingen of uitbreidingen van de infrastructuur in. Onderzoek naar lange termijn aanpassingen zoals de uitbreiding van een terminal zijn voor de terminalmanager echter minder interessant omdat er na verloop van tijd geen ruimte meer beschikbaar is. Op korte termijn wordt de focus vooral gelegd op de processen die uitgevoerd worden op een terminal. Deze processen bestaan uit het aanmeren van het schip, de in- en uitlaadactiviteiten en de behandeling van de containers op de terminal. De toekomst voor de containerterminals ligt in de verbetering van deze activiteiten en een optimale toewijzing van de middelen aan de schepen. Omdat aanpassingen meestal hoge kosten met zich meebrengen, zal aan dit adaptatieproces een grondig onderzoek moeten voorafgaan. Er dient dus naar een kostenefficiënte oplossing gezocht te worden die toelaat de vereiste veranderingen te onderzoeken.

1.1.2 Formulering van de centrale onderzoeksvraag

Simulatie van de containerterminals vormt een voor de hand liggende oplossingsmethode om de efficiëntie van de activiteiten op een containerterminal onder verschillende omstandigheden vast te stellen aangezien het onderzoek kan uitgevoerd worden in een artificiële realiteit. Er kan immers

een studie uitgevoerd worden zonder al te hoge kosten te maken of permanente veranderingen aan te brengen.

Dit leidt tot de volgende centrale onderzoeksvraag:

Op welke manier(en) kan simulatie van nut zijn bij de bepaling van de efficiëntie op een containerterminal?

1.1.3 Formulering deelvragen

Een overzichtelijke structuur is vereist om het praktijkprobleem aan te pakken. Hiertoe kunnen een aantal deelvragen worden opgesteld. Op die manier kan een duidelijk antwoord geformuleerd worden op de centrale onderzoeksvraag.

- ◆ Wordt er reeds gebruik gemaakt van simulatiemodellen in containerterminals?
- ◆ Voor welke doeleinden worden deze simulatiemodellen gebruikt in containerterminals?
- ◆ Hoe wordt een simulatiemodel van een containerterminal opgesteld?
- ◆ Op welke wijze kan de werking van een containerterminal beïnvloed worden door externe factoren?
- ◆ Op welke wijze kan de werking van een containerterminal beïnvloed worden door interne factoren?

1.2 Onderzoeksopzet

Om informatie over simulaties in containerterminals te verwerven, werden vooral wetenschappelijke artikels of congresverslagen geraadpleegd die enkel te vinden waren in universitaire bibliotheken of via elektronische zoekmachines op het internet. Andere bronnen zoals websites of boeken werden enkel gebruikt als achtergrondinformatie of als verduidelijking van bepaalde begrippen. De opzet van het werk bestaat uit de volgende hoofdstukken waarin de literatuurstudie en het onderzoek worden uiteengezet.

In een eerste hoofdstuk worden een aantal begrippen uit de maritieme sector verklaard. Verder wordt ook een woord uitleg gegeven over simulatie en de verschillende simulatietechnieken. Deze uitleg dient als een houvast tijdens het latere onderzoek.

Het volgende hoofdstuk bevat een literatuurstudie waarin de bestaande simulatietoepassingen in containerterminals worden weergegeven en ingedeeld om een overzicht te creëren. De simulatietoepassingen worden ingedeeld in drie grote delen om het overzicht te bewaren. Het transport over zee, de containerterminal en het hinterland.

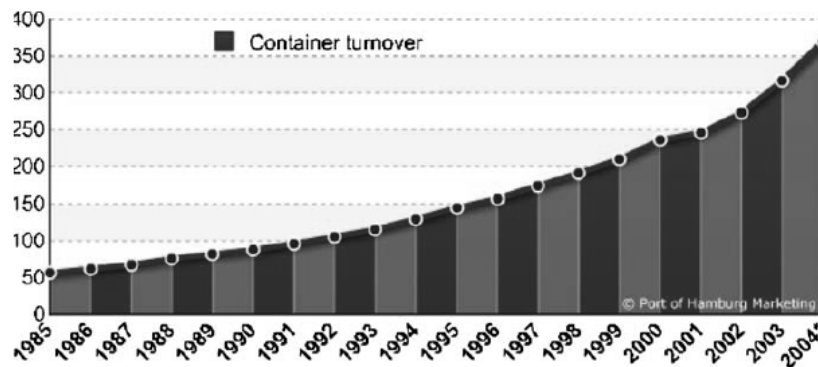
Vervolgens wordt in een derde hoofdstuk een illustratief simulatiemodel beschreven. Er worden een aantal simulaties uitgevoerd waarbij een aantal externe en interne factoren aangepast worden. De resultaten worden met elkaar vergeleken en besproken.

2 DEFINITIES EN VERKLARING VAN BEGRIPPEN

2.1 Gebruik van containers in het maritieme vervoer

Sinds hun introductie in de jaren '60 vertegenwoordigen containers de standaardeenheid voor het internationale vrachtvervoer. Een container wordt vervaardigd in standaardafmetingen. De aanduiding hiervoor is de TEU ('Twenty feet Equivalent Unit'), 1 TEU is dus een 20 'feet' (6,1 meter) container. De grootste schepen kunnen tegenwoordig tussen de 6.500 en de 10.000 TEU vervoeren. Door deze standaardafmetingen kunnen containers behalve via het water ook gemakkelijk via de weg als per spoor worden vervoerd. (Steenken et al., 2004)

De laatste jaren is het gebruik van containers voor intercontinentaal maritiem transport sterk gestegen. Figuur 1 toont de groei in het wereldwijde gebruik van containers. In 1985 werd nog gebruik gemaakt van 50 miljoen TEU, in 2004 was dit aantal al gestegen tot 350 miljoen TEU. De komende jaren wordt nog een verdere groei verwacht, vooral in Azië en in Europa. (Günther en Kim, 2006)



Figuur 1: ontwikkeling wereldwijde containeromzet in miljoen TEU (Günther en Kim, 2006)

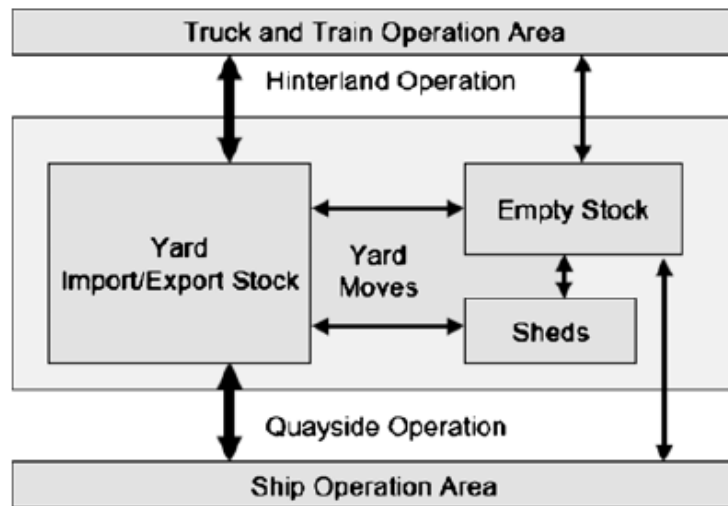
Op basis van de huidige trend wordt verwacht dat aan het einde van dit decennium meer dan 70% van al het goederentransport via containers gebeurt (Parola en Sciomachen, 2005). Het

toenemende maritieme transport en de opmerkelijke groei in de toepassingen van de gestandaardiseerde containers hebben belangrijke gevolgen voor de havens. Deze moeten immers uitgerust zijn met een intermodale containerterminal om aan de nationale en internationale behoeften te voldoen.

Een andere invalshoek die bevestigt dat de huidige terminals in de havens aangepast moeten worden aan het intermodale verkeer vertrekt van het feit dat er een radicale verandering in de 'supply chain' optreedt. Europa en de westerse landen veranderen hun positie van exportland meer en meer naar importland door de toenemende uitbesteding naar oosterse landen zoals China en India. Deze verandering brengt met zich mee dat ook de logistieke structuur in de havens moet worden aangepast. De terminal die eerder als opslagfaciliteit instond, evolueert meer en meer naar een geïntegreerde multimodale terminal waar goederen worden gesorteerd, vervoerd en eventueel getransformeerd tot gereed product. (Briano et al., 2005)

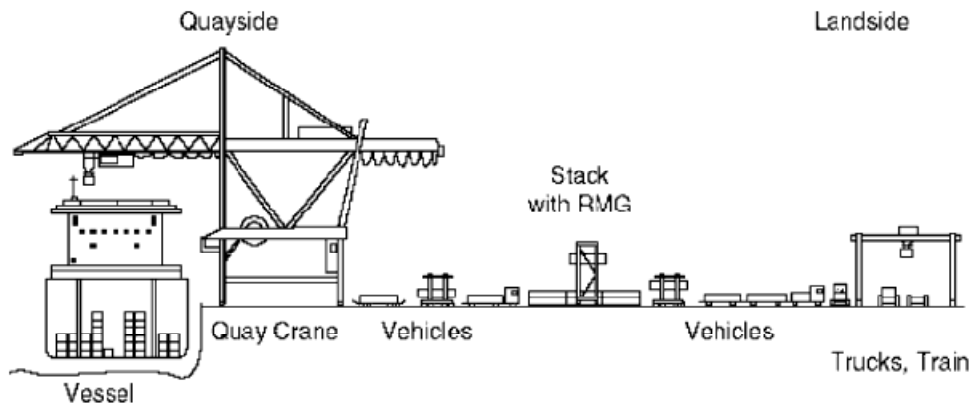
2.2 Structuur en werking van een intermodale terminal

Niettegenstaande dat de verschillende containerterminals in de havens aanzienlijk verschillen in grootte, functie en lay-out, bestaan ze hoofdzakelijk uit dezelfde subsystemen die kunnen ingedeeld worden in een aantal zones (figuur 2). Een terminal is verdeeld in meerdere kades, die op hun beurt onderverdeeld zijn in meerdere aanmeerzones. De aanmeerzone ('ship operation area') is uitgerust met kadekranen voor het laden en het uitladen van schepen. Import- en exportcontainers worden opgeslagen in een yard die opgedeeld is in een aantal blokken. De lege containers worden opgeslagen in een aparte zone ('empty stock'). Sommige terminals maken ook gebruik van een afzonderlijke plaats ('sheds') om containers te vullen en te ledigen of voor bijkomende logistieke activiteiten. De 'terminal gate' ('truck and train operation area') zorgt voor de link met het hinterland via de transportsystemen op het vasteland. (Günther en Kim, 2006)



Figuur 2: werkzones op een containerterminal en de stroom van transport (Steenken et al., 2004)

De ketting van operaties voor het exporteren van containers kan aan de hand van figuur 3 beschreven worden. Op het ogenblik dat de vrachtwagen of trein aankomt aan de terminal wordt een container geïdentificeerd door de belangrijkste data (inhoud, bestemming, schip en rederij) te registreren. Daarna wordt de betreffende container opgepikt door een intern vervoermiddel dat gespecialiseerd is in het heffen en vervoeren van containers, ook wel straddlecarrier genoemd, en verplaatst naar één van de opslagplaatsen in de yard. Dit interne vervoermiddel kan ofwel een handmatig bestuurd voertuig zijn, bijvoorbeeld een 'Multi Trailer System' (MTS), ofwel een machinaal bestuurd voertuig zoals een 'Automated Guided Vehicle' (AGV) of een 'Automated Lifting Vehicle' (ALV). Het verschil tussen beide types automatische voertuigen ligt in het feit dat ALV's in staat zijn om containers zelf van de grond te liften in tegenstelling tot de AGV die moet bediend worden door een kraan (Vis en Harika, 2004). Om een container op de yard op te slaan wordt gebruik gemaakt van een opslagkraan ('Rail-Mounted Gantry Crane' (RMG) op figuur 3). Wanneer het schip uiteindelijk aanmeert, wordt de container uit de yardblok opgepakt en getransporteerd naar de aanmeerplaats waar kadekranen de container op het schip laden. De activiteiten nodig voor de import van een container worden in omgekeerde richting uitgevoerd. (Günther en Kim, 2006)



Figuur 3: transport en bewerkingsketting van een container (Steenken et al., 2004)

Het transport van één container doorheen een terminal is vrij eenvoudig, maar in werkelijkheid moeten talrijke containers tegelijkertijd vervoerd worden en naar verschillende bestemmingen. Het opstellen van een schema voor deze gelijktijdige activiteiten met de verschillende types van transport en het gebruikte materiaal hiervoor is een uiterst complexe taak. Het management moet een oplossing zoeken om dit proces zo vlot mogelijk te laten verlopen. Hiertoe dient elk onderdeel van de havenfuncties te worden beschouwd. Van aanmeerplaats voor de schepen tot de opslag van goederen in het magazijn tot het transport dat in verbinding staat met het hinterland.

De complexiteit van dit proces en daarbij het steeds toenemende gebruik van containers voor internationaal vervoer zorgen ervoor dat de oplossingen niet voor de hand liggen. De kost van de implementatie van een voorstel tot oplossing in het reële systeem kan immers hoog oplopen waardoor een slecht voorstel dramatische gevolgen met zich mee kan brengen. De werking van containerterminals kan beschreven worden als een wachtrijmodel dat bestaat uit een netwerk van rijen. Dit netwerk is echter zo ingewikkeld dat er geen theoretische of analytische oplossing kan gevonden worden. (Shabayek en Yeung, 2002) Daarom is het gebruik van simulatie in havens een populaire methode voor dit doeleinde.

2.3 Definitie en toepassingen van simulatie

Hassan (1993) definieert het begrip *simulatie* als volgt: een wetenschappelijke methodologie om een complexe omgeving te bestuderen. Het omvat de techniek om een model van een reëel systeem te construeren en te laten draaien om op die manier het gedrag van de omgeving te analyseren zonder het reële systeem te onderbreken. De onderzoeker kan dan bepaalde parameters selectief wijzigen om verschillende alternatieven uit te proberen zonder dat de reële omgeving hierdoor beïnvloed wordt. Het houdt de volgende doelstellingen in (Hassan, 1993):

- ◆ Het begrijpbaar maken van sommige mechanismen van het bestudeerde proces
- ◆ Een voorspelling maken van het systeemgedrag in verschillende situaties
- ◆ Het ontwerp en evaluatie van systemen mogelijk maken
- ◆ Een schatting mogelijk maken van de procesvariabelen die niet direct meetbaar zijn
- ◆ De sensitiviteit van systeempparameters instellen
- ◆ Systeemgedrag optimaliseren
- ◆ Efficiënte foutendiagnose mogelijk maken
- ◆ Veilige en goedkope operator training mogelijk maken

Er bestaan twee uitgestrekte categorieën van simulatiemodellen: discrete-event simulatie en continue simulatie. Bij discrete-event simulatie komen veranderingen in de toestand van het systeem ogenblikkelijk voor op willekeurige tijdstippen als een gevolg van discrete gebeurtenissen. Wanneer de toestand bijvoorbeeld het aantal klanten in een systeem voorstelt, stellen de aankomst en het vertrek van klanten de discrete gebeurtenissen voor. De klant is de entiteit in het systeem, het object dat de veranderingen en bewerkingen ondergaat. Bij continue simulatie verandert de toestand van het systeem continu over de tijd. Bijvoorbeeld wanneer het systeem een vliegtuig in de lucht voorstelt en de toestand ervan gedefinieerd wordt als de huidige positie van het vliegtuig, dan verandert de toestand continu in de tijd. De meeste toepassingen van simulaties in de bedrijfspraktijk zijn discrete-event simulaties. (Hillier en Lieberman, 2001)

Verder kunnen simulaties via verschillende aanpakken benaderd worden. Er zijn de traditionele technieken, die gezien kunnen worden als een verzameling van functies of instructies aan de computer. De data en de programmacode zijn als het ware in elkaar verstrengeld waardoor het overzicht verloren gaat. Hierdoor wordt het echter moeilijk om de veiligheid en de integriteit van de data te waarborgen met als gevolg dat één procedure een sneeuwbaaleffect kan veroorzaken wanneer er data veranderd wordt. Dit effect komt echter niet voor bij de objectgeoriënteerde techniek. Bij deze benadering worden alle data en procedures die behoren tot een enkele entiteit (object) opgeslagen per object dat interageert met andere objecten. Het model kan ook opnieuw gebruikt worden om complexere modellen te creëren. Objectgeoriënteerde simulatie kan dus gezien worden als een verzameling aparte, samenwerkende objecten. Op die manier wordt de data-integriteit gewaarborgd. (iBright Solutions, 2006) Volgens Choi (2000) komt het door het werken met deze modules en de herbruikbaarheid van het model dat objectgeoriënteerde simulatie het beste alternatief is om de processen in containerterminals te simuleren.

Om een simulatiemodel te ontwikkelen, moet gebruik gemaakt worden van een of andere vorm van software. Er bestaan twee basisaanpakken die als volgt ingedeeld worden (Ball, 1996):

- ◆ **Programeertalen:** dit zijn 'high level' programmeertalen die een snelle ontwikkeling toelaten. Simulatie via deze weg is wel een relatief trage aanpak, maar zeer universeel en flexibel. Enkele voorbeelden zijn: SLAM, ECSL, SIMAN.
- ◆ **Simulatoren:** Dit zijn simulatieprogramma's waarin weinig of niet geprogrammeerd moet worden. Het is een snelle en eenvoudige aanpak, maar meer gelimiteerd in toepassingen. Met het behulp van zo een gebruiksvriendelijk simulatieprogramma kan de gebruiker zelf een model bouwen zonder de hulp van een expert. Voorbeelden zijn: Witness, ProModel, Taylor II.

Uit deze twee basisaanpakken kan nog een derde benadering afgeleid worden:

- ♦ **Hybride systeem:** dit systeem combineert de flexibiliteit van een simulatietaal met de gebruiksvriendelijkheid van een simulatieprogramma. De gebruiker buit snelheid en flexibiliteit uit de verschillende onderdelen. Bijvoorbeeld ARENA dat gebruik maakt van de simulatietaal SIMAN.

Simulatie kent talloze toepassingen, van ruimtevaart en luchtvaart tot schepen en auto's en van nucleaire energie tot de procesindustrie. Simulatie kent reeds toepassingen in studies over verschillende systemen zoals populatie, economie, business, productie, biologie, transport, gezondheidszorg, sociale systemen en vele andere. Op maritiem gebied kent simulatie verschillende doeleinden zoals havenontwerp, havenplanning, verbetering van de productiviteit, capaciteitsuitbreiding van de haven, economische impact, navigatie risico-evaluatie, management- en werknemerstraining, simulatie van schepen en cargoactiviteiten, korte en lange termijn studies, havenactiviteit simulatie en simulatie van een containerterminal. (Hassan, 1993)

3 SIMULATIETOEPASSINGEN OP EEN TERMINAL

De maritieme containerterminal maakt deel uit van een logistieke keten. De containers die de terminal aandoen, worden immers verzonden van de leverancier naar de klant. Deze containers kunnen in twee richtingen op de terminal aankomen. Ze worden ofwel geïmporteerd via de zee en verlaten de terminal vervolgens per trein, vrachtwagen of binnenvaartschip naar het hinterland. Ofwel worden ze geëxporteerd vanuit het binnenland en verlaten ze de terminal per schip naar het buitenland. In de logistieke keten neemt de containerterminal dus als het ware een centrale positie in, omringd door enerzijds de zee en anderzijds het hinterland.

Op basis van deze indeling worden de verschillende toepassingen van simulaties in dit werk besproken. De rest van dit hoofdstuk ziet er als volgt uit. Eerst volgt een kort woord over het transport via de zee, daarna een bespreking over de simulaties op de terminal zelf en als laatste een beschrijving over de toepassingen van simulatie met betrekking tot het vervoer naar het hinterland. Op het einde van dit hoofdstuk worden de beschreven artikels die de indeling verduidelijken, weergegeven in een overzichtstabel.

3.1 Transport over zee

Wanneer gesproken wordt over simulaties in een containerterminal, wordt abstractie gemaakt van het vervoer via de zee. De zee kan gelijkgesteld worden met de buitenhaven en wordt beschouwd als een buffer van oneindige capaciteit waar de schepen wachten tot er een aanmeerplaats aan de kade van de terminal vrijkomt (Paolucci en Testa, 1999). In simulaties met betrekking tot containerterminals wordt in de meeste gevallen geen rekening gehouden met de aankomsten van schepen via de zee. De zee dient enkel als bron of eindpunt van de simulatie. In tegenstelling tot de zeehavens speelt het aankomstritme in rivierhavens wel een rol. Dit wordt aangekaart door Thiers en Janssens (1998) die het verkeer op de rivier de Schelde in België simuleren. Uit hun resultaten blijkt dat een stijging in het schipverkeer leidt tot een groter aantal manoeuvres en bijgevolg tot een verhoogde belemmering van de schepen.

3.2 De containerterminal

Simulatie kent verschillende toepassingen op de containerterminal zelf. Deze toepassingen zijn erg uiteenlopend en kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden. Steenken et al. (2004) maken een indeling van drie types simulatiesystemen die het gros van de toepassingen in containerterminals beheersen, namelijk strategische, tactische en operationele simulaties. Strategische simulaties worden toegepast om verschillende soorten van terminal lay-out en materialen te bestuderen en te vergelijken met het oog op efficiëntie en verwachte kosten. Deze simulaties dienen voor lange termijn beslissingen en worden enkel uitgevoerd wanneer de strategie van de terminal bepaald wordt. Tactische en operationele simulaties zijn echter interessanter om te onderzoeken. Daarom wordt in dit werk ook een andere indeling gehanteerd dan die van Steenken et al. De toepassingen worden in twee grote klassen verdeeld. De eerste klasse bevat toepassingen met betrekking tot optimalisatie. Hieronder vallen de tactische en operationele simulaties. De tweede klasse bestaat uit simulaties die dienen als middel om de processen op de terminal te analyseren en te evalueren. Verschillende simulaties overlappen elkaar echter in hun toepassing of kunnen gebruikt worden voor meerdere doeleinden.

3.2.1 Optimalisatie en procesverbetering op de terminal

Deze simulaties kunnen worden ingedeeld op twee niveaus, het tactische niveau en het operationele niveau. Een tactische simulatie bevat de integratie van simulatiesystemen in het werkingssysteem van de terminal. Mogelijke scenario's worden parallel met de uitvoering van het huidige systeem gesimuleerd. Wanneer tijdens dit proces storingen optreden in het reële systeem zullen nieuwe alternatieven voorgesteld worden. Reële data moeten dan worden geïmporteerd en gelijktijdig met de werking van het systeem worden geanalyseerd. Tactische simulatie komt voor op lange termijn en wordt slechts zelden uitgevoerd in containerterminals. (Steenken et al., 2004)

Een operationele simulatie test de optimalisatiemethoden en de logistiek in de terminals. De werking en de logistiek zijn zeer complex in de grote terminals en het effect van alternatieven moet worden getest met betrouwbare methoden. Daarom worden de verschillende alternatieven eerst uitgetest in een simulatieomgeving voordat ze worden geïmplementeerd in de controle- en sturingssystemen van de reële terminal. (Steenken et al., 2004)

3.2.1.1 Het tactische niveau

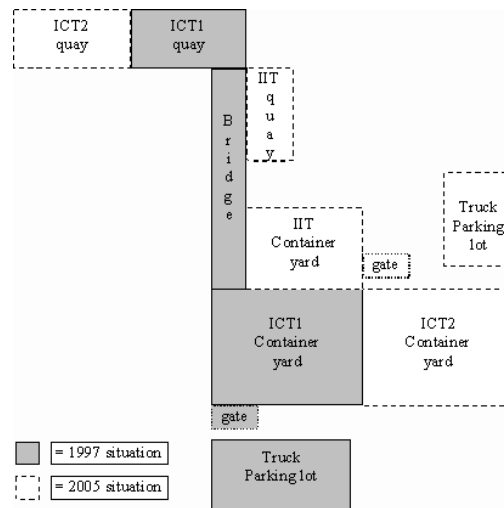
De nood aan simulaties op het tactische niveau ontstaat wanneer zich een verandering in het systeem voordoet of wanneer een nieuw systeem ontwikkeld moet worden. Ook op containerterminals is dit het geval. De laatste jaren is het maritieme transport immers sterk toegenomen en veel terminals moeten worden aangepast. Bij de aanpassing van een terminal is simulatie op het tactische niveau nuttig voor het management om beslissingen te kunnen nemen.

Door gebruik te maken van simulatiemodellen kan het management de uit te breiden delen van de terminal gemakkelijk bestuderen. Uitbreiding van een containerterminal kan op verschillende manieren gebeuren. Enerzijds kan een nieuwe terminal ontwikkeld worden om aan de toekomstige groei te voldoen waarvoor een planning noodzakelijk is, anderzijds is ook een planning noodzakelijk wanneer een bestaande terminal moet worden uitgebreid of aangepast.

3.2.1.1.1 *Simulatie voor een nieuwe terminal*

Groenveld en Wanders (1999) bestuderen de containerterminal in Surabaya (Indonesië) die de groeiende containerstroom niet meer kon verwerken. Het doel van het werk houdt een simulatiestudie in om de capaciteit te bepalen van de toekomstige containerterminal na de afwerking van de geplande uitbreiding in 2005. Bovendien trachten de auteurs ook de mogelijke beperkingen te identificeren en de maatregelen te analyseren om de terminalcapaciteit verder te verhogen in de toekomst. Het nieuwe terminalcomplex zal uit drie onafhankelijke, operationele delen bestaan (figuur 4), dus worden drie simulatiemodellen opgesteld. Eerst stellen de auteurs

een model op van de huidige situatie (ICT1) dat wordt geverifieerd en gevalideerd. In een tweede fase worden de twee modellen van de nieuwe delen (ICT2 en IIT) ontwikkeld. De drie terminals maken gebruik van één en dezelfde brug, dus wordt ook een model gebouwd van de brug om de toegenomen verkeersdruk te onderzoeken.



Figuur 4: de containerterminal van Surabaya (Groenveld en Wanders, 1999)

De drie modellen worden ontwikkeld in Prosim software dat de procesgeoriënteerde methode hanteert. Het eerste model beschrijft de werking van de terminal. Schepen en vrachtwagens worden gegenereerd voor de export en de import van containers. De schepen krijgen een plaats toegewezen door de 'berthmaster' en vervolgens zal de 'portainermaster' het aantal kranen toewijzen voor dat schip. Het schip wordt eerst uitgeladen en daarna pas ingeladen. De 'tractor-trailer-master' bepaalt het aantal voertuigen om de containers te vervoeren. Een 'trafficmaster' staat in voor de route die de voertuigen moeten volgen en de drie 'trafficlighths' staan in om het verkeer op de brug te regelen. Uiteindelijk worden de containers naar de trucks vervoerd en krijgen de 'masters' een nieuwe opdracht of worden op passief gezet.

Het tweede model (ICT2) is een replica van het eerste model. Het enige verschil betreft de langere rijafstanden tussen de kades en de yard. Ook het derde model (IIT) heeft dezelfde structuur als de twee vorige modellen. De drie modellen vormen de grenscondities voor het brugverkeer. Het

brugmodel creëert via een generator voertuigen die moeten wachten op de 'trafficlights' tot ze toelating krijgen om de brug te gebruiken. Uit de resultaten van het brugmodel blijkt dat de verkeersdrukke op de brug geen negatieve invloed heeft op de drie terminals wanneer deze op hun theoretisch maximale capaciteit werken. De resultaten van de modellen tonen echter aan dat zowel de capaciteit van de containerkranen als die van de opslagplaatsen op de yard de totale capaciteit van de terminal beïnvloedt. Vooral de verblijftijd van de containers op de yard kan de totale capaciteit van deze terminal ernstig beïnvloeden. Verder wordt nog opgemerkt dat het procesgeoriënteerde programma Prosim goed aan de verwachtingen van het te ontwikkelen model voldeed. De meer hedendaagse objectgeoriënteerde programma's zouden veel meer problemen veroorzaakt hebben bij het formuleren van de modellen.

Een andere studie valt binnen het simulatieproject van de HHLA Container Terminal Altenwerder in Hamburg, Duitsland en heeft als doel de opslagstrategieën te testen en te verbeteren. De studie wordt uitgevoerd in de planningfase van de containerterminal, dus reële data zijn niet aanwezig. Er wordt een simulatiemodel opgesteld om de containeraankomsten en het vertrek van de containers in een realistische omgeving te analyseren. Het verwachte aantal containers dat de terminal per jaar aandoet en de aankomsttijden worden gegenereerd en samen met de karakteristieken van de containers (grootte, inhoud, ...) ingevoerd in het simulatiemodel. Elke simulatie run beslaat een horizon van enkele weken (de impact van een opslagstrategie kan niet worden geobserveerd binnen een kortere tijd omdat de ene container al langer blijft staan dan de andere). (Hartmann, 2004)

Het simulatiemodel, ontwikkeld onder de emPlant software, gaat als volgt te werk. Eerst wordt er per scenario een lijst van aankomst ('arrival event') en vertrek ('pick-up event') gebeurtenissen geconstrueerd. Bijvoorbeeld voor de aankomst van een truck met een aanvraag voor een specifieke container wordt een 'pick-up event' gecreëerd bij de aankomsttijd van de truck. Vervolgens gaat de simulator deze lijst af en wordt een container, geassocieerd met een 'arrival event', in de opslagplaats gezet en een container, geassocieerd met een 'pick-up event', uit de opslag gehaald. De optimale opslagstrategie wordt berekend aan de hand van de gebeurtenissen

en na elke gebeurtenis wordt een update van de opslagdata weergegeven. Op deze wijze wordt voor elk scenario een optimale opslagstrategie berekend. De gegenereerde scenario's ondergaan een groot aantal simulatieruns om deze opslagstrategieën te testen en uiteindelijk te verbeteren. Op die manier leidt simulatie tot een verbeterde opslagstrategie alvorens de terminalactiviteiten in werking treden. (Hartmann, 2004)

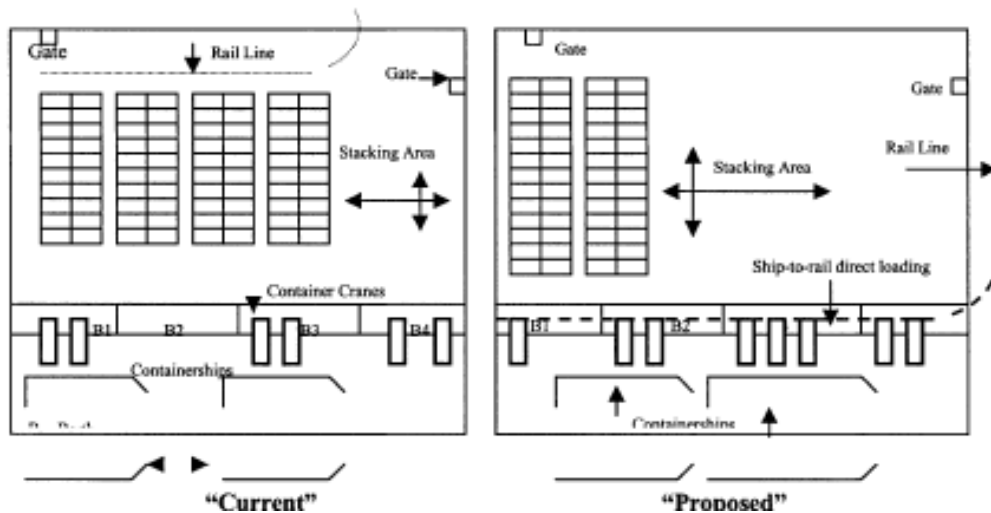
3.2.1.1.2 Simulatie voor een bestaande terminal

Ook op een bestaande terminal worden simulatiemodellen gebruikt op het tactische niveau. Deze modellen hebben vooral betrekking op de infrastructuur van de terminal. Investerings in nieuwe aanmeerzones, ruimere opslagplaatsen of automatische voertuigen vallen onder deze klasse.

Shabayek en Yeung (2002) hebben in dit opzicht een simulatiemodel ontwikkeld dat kan worden gebruikt voor de planning van toekomstige aanvragen om aan te meren. Door het stijgende maritieme transport moeten de terminals immers uitgerust worden met nieuwe aanmeerzones om een optimale service te kunnen aanbieden. Het model maakt gebruik van voorspelde gemiddelde tussenaankomsttijden van containerschepen en de servicetijden die de operatoren nodig hebben bij de behandeling van elk schip. Aan de hand van deze gegevens berekent het simulatiemodel de gemiddelde wachttijden voor de schepen. Het ligt voor de hand dat hoge gemiddelde wachttijden de noodzaak van toekomstige aanmeerzones aanduiden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de software Witness waarmee de Kwai Chung containerterminal in Hong Kong wordt beschreven. Witness heeft enkele voordelen ten opzichte van andere simulatieprogramma's. De software is in staat om de situatie te simuleren waarin de servers verschillende schepen met elkaar delen.

Om de capaciteit te verhogen, bestuderen Kia et al. (2002) een containerterminal waar de opslagplaats een knelpunt vormt. Hiertoe hanteert Kia een simulatieprogramma, Taylor II, om twee verschillende operationele systemen (huidig en voorgesteld) statistisch te onderzoeken en te vergelijken. In het huidige systeem ('current' in figuur 5) wordt gebruik gemaakt van een spoor 'rail line') dat de terminal verbindt met het hoofdnetwerk en wordt een groot deel van de

containers opgeslagen in de opslagplaats. Het voorgestelde systeem ('proposed' in figuur 5) werkt met een directe spoorlijnverbinding naar de binnenlandse distributiecentra. Op deze wijze wordt slechts gebruik gemaakt van een klein deel van de capaciteit.



Figuur 5: basisplan voor het simulatiemodel (Kia et al., 2002)

Het simulatiesysteem maakt het mogelijk om de positieve impact van de directe verbinding tussen de terminal en de distributiecentra (voorgesteld systeem) op de capaciteit van een containerterminal te onderzoeken door reële data in te voeren. Met het model kunnen ook de overbelaste zones van de terminal worden bepaald. Verder leidt het model tot een significante besparing in havenexpansie, de verblijftijd van schepen in de haven en de voorraadkost van de vracht. (Kia et al., 2002)

Een andere situatie waarin simulatie op het tactische niveau wordt gehanteerd, houdt de planning van een kade transportsysteem in. Om aan de uitdaging van het groeiende internationale containertransport te kunnen voldoen, moet ook het transport op de kade gemoderniseerd worden. Tegenwoordig bestaan er jumbo containerschepen die tot 8.000 TEU of meer kunnen vervoeren. Deze stroom van containers kan niet altijd verwerkt worden door het transportsysteem op de kade. (Duinkerken en Ottjes, 2000)

Voor dit probleem ontwikkelen Duinkerken en Ottjes (2000) een model voor een kade transportsysteem dat wordt uitgevoerd door 'Automated Guided Vehicles' (AGV's). De ontwikkeling van het model is gebaseerd op TRACES, een route- en controlesysteem dat alle mogelijke routes voor de voertuigen bepaalt. De TRACES software bouwt een simulatiemodel van een volledige terminal dat alle hoofdelementen en de lay-out van de terminal bevat. Het model wordt toegepast in de Delta Sealand containerterminal van Rotterdam en wordt gebruikt om parameters zoals het aantal AGV's, de snelheid van AGV's, de kraan capaciteit en de opslag capaciteit te bepalen.

Uit de experimenten blijkt dat het transport op de kade één van de grote knelpunten is voor de stijgende containerstroom in de terminal. Het model kan gebruikt worden als startpunt voor verder onderzoek en hieruit blijkt dat er verschillende mogelijkheden bestaan. Ten eerste kunnen de lay-out en routing op de kade verbeterd worden. Ten tweede moet het opslagbeleid ontwikkeld en getest worden om de verhoogde transport- en kraan capaciteit te kunnen volgen. (Duinkerken en Ottjes, 2000)

3.2.1.2 Het operationele niveau

De toename van het maritieme containervervoer brengt met zich mee dat de containerterminals niet kunnen achterblijven. Dus naast het tactische niveau moeten de terminals ook op het operationele niveau verbeterd worden. Simulatiesystemen op dit niveau worden vooral toegepast om de optimalisatiemethoden te ondersteunen. Operationele simulatie komt voor op korte termijn en kent dagelijkse toepassingen in containerterminals.

De competitiviteit van een terminal wordt vooral gemeten in termen van een adequaat serviceniveau aangeboden aan de bezoekende scheepsbedrijven. Deze service begint vanaf het tijdstip dat het schip de haven binnenvaart, namelijk in de aanmeerzones. Dus een eerste doel voor de terminalmanager bestaat er in de wachttijden van de schepen te reduceren vanaf dit ogenblik tot ze de terminal verlaten. Dit doel kan bereikt worden door een beter management van de huidige middelen. (Legato en Mazza, 2001)

Volgens Bontempi et al. (1997) komen er drie grote problemen voor op een containerterminal, die moeten worden opgelost om de wachttijd in de havens te reduceren en bijgevolg het containertransport zo optimaal mogelijk te laten verlopen. Ten eerste de opslag van containers in de yard. Ten tweede de verdeling van de middelen in de terminal. Ten slotte de in- en uitlaadoperaties van schepen. Deze problemen worden met uiteenlopende optimalisatiemodellen benaderd en door simulatiemodellen ondersteund. De subsystemen kunnen elk afzonderlijk bekeken worden of de terminal kan in zijn geheel bestudeerd worden.

3.2.1.2.1 Simulatie van aparte subsystemen

Met het oog op de vermindering van de wachttijd van de schepen in de haven spitsen Legato en Mazza (2001) zich toe op het aanlegplanningsysteem. Ze stellen een aanmeerbeleid met prioriteiten voor en spreken van primaire en secundaire schepen. Het opgestelde wachtrijmodel schat het congestie-effect van zowel de primaire als de secundaire schepen op de verblijftijd in de haven. De primaire schepen hebben een vast tijdsvenster en worden bevoordeeld ten opzichte van de secundaire schepen. Telkens een primair schip arriveert in de haven moeten alle middelen (aanmeerplaats, kranen, ...) ter beschikking staan. Indien een secundair schip ligt te wachten aan de haven moet het een aankomend primair schip laten voorgaan.

Omdat het opgestelde netwerkmodel niet via een analytische methode kan worden opgelost, bestaat de noodzaak om dit model aan te pakken met een simulatieprogramma. Het opgestelde netwerkmodel kan worden ingedeeld in een aantal interacterende simulatieprocessen. Het dynamische gedragspatroon van elk proces houdt een tijdsgeordende opeenvolging van gebeurtenissen, beslissingen en activiteiten in die de evolutie van het systeem tijdens de simulatietijd beschrijven. (Legato en Mazza, 2001)

De implementatie van het model kan gebaseerd worden op een traditionele programmeertaal. Deze aanpak vereist echter veel programmeerwerk en is nogal complex. Simulatietalen die gebaseerd

zijn op een traditionele programmeertaal laten geen directe communicatie tussen de verschillende processen toe. Recente simulatietalen, gebaseerd op het objectgeoriënteerde paradigma, laten wel directe interactie tussen de processen toe. Daarom wordt hier gebruik gemaakt van een objectgeoriënteerde implementatie die zowel voorziet in krachtige visualisatie-interfaces als in een eenvoudigere ontwikkelingsomgeving. Om het gebruik van zulk model mogelijk te maken, moet het simulatiemodel wel eerst worden aangepast naar een objectgeoriënteerd model. Legato en Mazza maken gebruik van Visual SLAM, een discrete-event simuleertaal, om deze lastige taak te vermijden. (Legato en Mazza, 2001)

Een andere aanpak om het verloop op de terminal te optimaliseren, wordt voorgesteld door Ramani (1996). Hij ontwikkelt een systeem om de prestatie-indicatoren, zoals de doorlooptijd van het schip en de bezetting van de aanmeerzones, te schatten en verder te gebruiken voor verschillende werkingsstrategieën. Een werkingsstrategie alloceert aan een gegeven schip de kadekranen, yardkranen en voertuigen om containers te verplaatsen ('prime movers'). Deze strategie wordt gebaseerd op de karakteristieken van het schip zoals de prioriteit en het aantal containers dat moet worden in- of uitgeladen.

Het simulatie-experiment start met de generatie van schepen die in de haven binnenvaren door gebruik te maken van de verdeling van de tussenaankomsttijden tussen schepen. Ook hier worden prioriteiten gegeven aan de schepen. Indien geen prioriteitsschip aanwezig is, wordt het FIFO (First-In, First-Out) systeem gehanteerd. Het schip krijgt een aanmeerplaats toegewezen en krijgt een aantal middelen (kranen, voertuigen, ...) ter beschikking om de los en laadactiviteiten te starten. De hoeveelheid middelen dat het schip krijgt, hangt af van de werkingsstrategie. Per werkingsstrategie worden een aantal simulaties uitgevoerd en genereert het model een waarschijnlijkheidsverdeling voor elke prestatie-indicator. Uit deze waarschijnlijkheidsverdelingen kunnen een aantal conclusies getrokken worden over de prestaties van de haven onder de gegeven werkingsstrategie. Uit de verdeling van bijvoorbeeld de doorlooptijd van het schip kan de gemiddelde doorlooptijd, de standaardafwijking van de doorlooptijd, de kans dat de doorlooptijd binnen een gegeven interval valt, geschat worden onder de gesimuleerde werkingsstrategie. Dit

experiment wordt herhaald voor de andere werkingsstrategieën zodat de prestatie-indicatoren van de haven ook voor de andere werkingsstrategieën geschat kunnen worden. Door een vergelijking van de resultaten kan de meest efficiënte en effectieve strategie gekozen worden. (Ramani, 1996)

Briskorn en Hartmann (2005) bestuderen een geautomatiseerde terminal met kadekranen, AGV's en automatische opslagkranen met de focus op de verplaatsingen van de AGV's. De functie van AGV's houdt het bevoorraden van de kadekranen met containers in of omgekeerd. Er moet dus gezorgd worden voor een constante instroom van AGV's aan de kadekranen. Het aantal AGV's dat onderweg is naar of van een kadekraan vormt het voorraadniveau. De kadekranen met het laagste voorraadniveau, en dus het kleinste aantal toegewezen AGV's, moeten als eerste over de volgende beschikbare AGV kunnen beschikken. De auteurs ontwikkelen twee planningsstrategieën om de toewijzing van AGV's ('Automated Guided Vehicles') aan de kadekranen te optimaliseren zodat de terminalproductiviteit (het gemiddeld aantal geloste en geladen containers per kadekraan en per uur) verhoogd wordt:

- ◆ Weinig AGV's: neemt enkel de AGV's in beschouwing die vrij zijn en onmiddellijk de volgende job kunnen uitvoeren.
- ◆ Meer AGV's: alle AGV's die vrij zijn en diegene die binnen een bepaalde tijdshorizon hun job uitgevoerd hebben worden in beschouwing genomen.

Het toegepaste simulatiemodel bevat zowel het gedrag van de werkmiddelen zoals de kadekranen, AGV's en RMG's ('Rail Mounted Gantry Cranes') als de strategieën van het terminal controlesysteem. Het model maakt gebruik van tijdsverdelingen die de handelingstijden van de werkmiddelen bevatten. Dit model wordt samen met de twee strategieën geïmplementeerd in een Java-gebaseerd simulatiekader om de twee strategieën te testen. Hieruit blijkt dat de variant met 'meer AGV's' superieur is ten opzichte van de strategie met 'weinig AGV's' in termen van terminalproductiviteit. (Briskorn en Hartmann, 2005)

3.2.1.2.2 *Simulatie van subsystemen in relatie met elkaar*

In contrast met de hierboven besproken auteurs, pakken Bruzzone en Signorile (1998) niet één enkel onderdeel van de terminalactiviteiten aan. Zij zoeken een oplossing voor het aanlegplanningssysteem samen met het probleem van de opslag van containers op de yard. Zij spreken hierbij van 'dock' planning (aanlegplanning) en yard planning. De plaats waar het schip aanmeert, heeft volgens hen effect op alle operaties op de yard. Een slechte plaatstoewijzing aan een schip vertraagt dus het laden en het uitladen van de schepen omdat voertuigen bijvoorbeeld grotere afstanden moeten afleggen en langer moeten wachten, wat ook de kosten doet stijgen. De betrokken parameters bij 'dock' planning (geschatte aankomsttijd van het schip, type cargo en containerlocatie) komen overeen met gelijkaardige parameters in andere planningactiviteiten van het havenmanagement, namelijk yard planning.

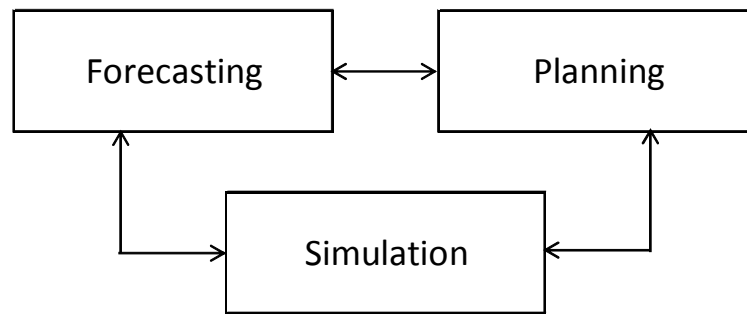
Yard planning houdt in dat de yard wordt opgedeeld in een aantal containerclusters. Een cluster bestaat uit een groep containers en wordt samengesteld uit containers met een vergelijkbare grootte en een vergelijkbaar type cargo. Verder wordt de locatie van deze clusters uitgekozen op basis van ruimteplanning op de yard en geschatte aankomsttijd van de schepen in de haven. Slecht clusterontwerp resulteert in hoge wachttijden en doet de kosten stijgen. Yard management is dus even belangrijk voor een efficiënt verloop van de terminalactiviteiten als de toewijzing van de kades aan de schepen. (Bruzzone Signorile, 1998)

Aangezien 'dock'- en yardplanning overeenstemmende parameters bevatten, wordt in dit werk gebruik gemaakt van een simulatie die beide planningen beheerst. Om dit te bereiken, wordt een simulatie-instrument ontwikkeld in ARENA dat twee genetische algoritmen (GA's) integreert. Eén voor de schipallocatie en een ander voor het creëren van clusters in een yard. In tegenstelling tot de klassieke planners genereert de GA-planner (voor schipallocatie) geen vast schema van gebeurtenissen, maar eerder een volgorde van gebeurtenissen op basis van prioriteit. De aankomsttijden van de schepen kunnen als stochastisch beschouwd worden waardoor het mogelijk wordt een hypothese te maken over de geschatte aankomsttijden die gebaseerd zijn op historische data. Dus het doel van de GA-planners is niet het vinden van een vast schema voor aankomsten

van schepen, maar om een schipvolgorde met prioriteiten te vinden die kan worden gebruikt door de scheepswerfmanager om clusters op de yard te ontwerpen. De scheepswerfmanager gebruikt deze output van de GA planner als input voor de GA cluster generator. Dit genetische algoritme vindt de beste locatie op de yard voor de clusters.

De gevonden scheepsyardlay-out is een onderdeel van de initiële condities voor de eerste simulatie. De simulator voorziet de generators in operationele parameters (schipaankomsten, beschikbare middelen, type en grootte van de cargo, ...) en toont de effecten van de clustervorming door de GA's. Wanneer de simulatie bezig is, worden beide GA's opnieuw uitgevoerd rekening houdende met de resultaten uit de simulatie. Het planning algoritme creëert een geordende lijst van alle schepen met een geschatte aankomsttijd in de bepaalde tijdsperiode. Het lay-out algoritme gebruikt dan de geordende lijst van schepen en genereert een gereserveerde zone op de scheepswerf voor de verwachte containers. De resulterende locaties worden geboekt voor de schepen en genereren zodoende een ge-update scheepswerflay-out die wordt getest in een volgende simulatie. Dus de simulatie voedt de GA's met resultaten die deze op hun beurt gebruiken om nieuwe input te genereren voor de simulatie. Het resultaat is een volledig 'dock'- en yardplanning schema in een traditioneel simulatiemodel. (Bruzzone en Signorile, 1998)

Bontempi et al. (1997) presenteren een beslissingsondersteunend systeem om het management van intermodale containerterminals te verbeteren. Het systeem bevat een voorspellingsmodel om historische data te analyseren en om toekomstige gebeurtenissen te voorspellen. Verder bestaat het uit een planner die de gegenereerde data van de voorspeller gebruikt om de in- en uitlaadoperaties, de allocatie van de middelen en het opslagbeleid te optimaliseren. Een derde module van het systeem bevat een simulatiemodel die de hele terminal in entiteiten en processen beschrijft en de prestatie van het managementbeleid vaststelt (zie figuur 6). Deze architectuur laat terminaloperatoren toe om 'what-if' scenario's vast te stellen, bijvoorbeeld wat er gebeurt wanneer een terminal meer schepen moet verwerken op hetzelfde tijdsinterval.



Figuur 6: de modulaire architectuur van het systeem (Bontempi et al., 1997)

Ook Bontempi et al. erkennen dat de planning van verschillende activiteiten (aanlegplanning, yardplanning, ...) op een containerterminal strikt met elkaar verbonden zijn. Het is echter moeilijk om deze in hun geheel aan te pakken en om dit te overkomen, wijzen de auteurs aan elk probleem een andere tijdshorizon toe. De oplossing van het langere tijdshorizon probleem (opslagbeleid) wordt gebruikt als de input van het middellange termijn probleem (allocatie van de middelen) waarvan de oplossing op zijn beurt de input van het korte termijn probleem (in- en uitlaadprobleem) vormt.

Het doel van de lange termijn optimalisatie bestaat er in een efficiënter opslagbeleid te vinden. Eerst wordt een 'job-shop' probleem (een verzameling van machines verwerken een reeks jobs) opgelost om de yard configuratie (plaatsing van containers op de yard) te bepalen, daarna worden de containers zo op de yard geplaatst dat de deviatie met de gevonden configuratie minimaal blijft. De middellange termijn optimalisatie vertrekt van deze gegevens en probeert de middelen optimaal toe te wijzen voor de in- en uitlaadoperaties van de schepen. De korte termijn optimalisatie gebruikt deze output om de dagelijkse in- en uitlaad operaties te plannen. Dit proces op korte termijn kan worden onderverdeeld in twee stappen. Een eerste stap is het 'off-line scheduling'. Deze is gebaseerd op de veronderstelling van een complete a-priori kennis van de terminaltoestand. Spijtig genoeg kan de correctheid van de informatie niet gegarandeerd worden. Daarom moet deze informatie aangepast kunnen worden aan onverwachte gebeurtenissen. Hiervoor wordt stap 2 'reactive scheduling' gebruikt. 'Reactive scheduling' treedt in werking op het moment dat de in- en uitlaadoperaties werkelijk plaatsvinden en staat in voor de 'real-time'

supervisie van de in- en uitlaadprocedure. Initieel wordt dus de 'off-line schedule' planning gevolgd om de in- en uitlaadoperaties uit te voeren. Wanneer zich echter een onverwacht gebeurtenis voordoet wordt dit opgemerkt door de 'reactive scheduling' en moet de in- en uitlaadprocedure aangepast worden. (Bontempi et al., 1997)

De resultaten van de planningsmodule worden in het simulatiemodel ingevoerd. Het simulatiemodel is het belangrijkste onderdeel om de 'what-if' analyse uit te voeren. Het simuleert de oplossingen gevonden onder de planningsmodule en kiest de meest geschikte oplossing. Op die manier wordt de werking van de terminal geoptimaliseerd.

3.2.2 Analyse en evaluatie op de containerterminal

De meeste toepassingen van simulatie op de containerterminals handelen over de evaluatie of de analyse van containerterminals. Dit kan voorkomen op verschillende niveaus. Eerst en vooral kunnen met behulp van simulatiemodellen de activiteiten op de terminal geanalyseerd worden. Verder worden de transportsystemen op de terminal vaak bestudeerd door middel van simulatie om te analyseren welk systeem het beste aan de eisen van de terminal voldoet. Een ander punt waar simulaties veel voor gebruikt worden houdt de evaluatie van management informatiesystemen in omdat de manager deze niet blindelings wil vertrouwen.

3.2.2.1 Analyse van de activiteiten op de terminal

Simulatie wordt toegepast om de activiteiten op de terminal te analyseren met als finaal doel de werking hiervan te verbeteren. Zo kunnen de logistieke activiteiten van een terminal geanalyseerd worden om voorstellen tot verbeteringen te bekomen. Andere studies zoeken uit welke factoren de grootste invloed hebben op de productiviteit van de terminal.

Bielli et al. (2006) onderzoeken hoe de efficiëntie van containerterminal management kan verbeterd worden door een DSS ('Decision Support System') te ontwikkelen. Bij de ontwikkeling

van dit systeem wordt een met Java geïmplementeerd simulatiemodel gehanteerd. Het simulatiemodel concentreert zich op drie belangrijke doeleinden:

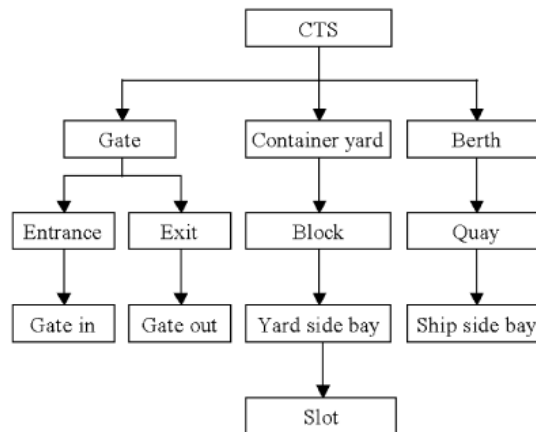
- ◆ Evaluatie van alternatieve laad- en uitlaadactiviteiten in termen van tijd en kost,
- ◆ Evaluatie van verschillende opslagstrategieën,
- ◆ Evaluatie van de procedures om middelen toe te wijzen.

De simulator wordt gebruikt als controlemiddel om het managementbeleid te evalueren en bevat een realistische reproductie van de activiteiten en stromen die op de terminal voorkomen. Het model stelt managers in staat met verschillende beleidsvormen en technieken te experimenteren en te vergelijken voordat ze geïmplementeerd worden. Verder zorgt de simulator voor een grafische interface waardoor het model van de gesimuleerde terminal gemakkelijk te interpreteren is. (Bielli et al., 2006)

Yun en Choi (1999) analyseren het containerterminalstelsel in Pusan, Zuid-Korea om te onderzoeken of de huidige containerterminal efficiënt genoeg is om de grote containerstroom te verwerken. Zij vergelijken dit systeem met een systeem dat gebruik maakt van transferkranen en kadekranen. Het model dat de auteurs toepassen, voorziet in schattingen voor containerterminal prestatie-indicatoren en in schattingen voor prestatie-indicatoren van de middelen die de container behandelen (kranen, voertuigen, ...). Het model beschouwt een vereenvoudigde voorstelling van het reële containerterminalstelsel in Pusan. Verondersteld wordt dat het terminalstelsel bestaat uit een 'gate', containeryard en aanmeerzone. Verder omvat het systeem transferkranen, kadekranen en yard tractors om de containers te vervoeren tussen de containeryard en de aanlegkades.

Het simulatiemodel is gebaseerd op de objectgeoriënteerde aanpak en wordt ontwikkeld onder de simulatietaal SIMPLE++. De objectgeoriënteerde aanpak laat toe om hiërarchisch te modelleren (figuur 7). Dit heeft als voordeel dat het model op verschillende niveaus kan worden

gemanipuleerd. Onder het containerterminalsysteem (CTS) kunnen drie subsystemen ('Gate', 'Container yard' en 'Berth' op figuur 7) worden onderscheiden.



Figuur 7: systeem hiërarchie (Yun en Choi, 1999)

Het model wordt gesimuleerd en de totale werkingstijd van de transferkranen en de kadekranen kunnen ingedeeld worden in de wachttijd, reistijd en werktijd voor de laad- en losactiviteiten. Op basis hiervan worden de volgende criteria gebruikt voor de evaluatie van de systeemeffectiviteit en de analyse van de operaties op de terminal. De bezettingsgraad van kade- en transferkranen, de benuttingsindex van de yard tractors en de bezettingsgraad van de containeryard. De totale wachttijd van een schip levert het criterium van de gemiddelde wachttijd van een schip. Uit de analyse blijkt dat een aantal parameters voorkomen in het containerterminalsysteem (CTS) die de prestatie ervan beïnvloeden. Het model kan gemakkelijk aangepast of uitgebreid worden en een meer reëel terminalsysteem kan bekomen worden door het aanpassen van de parameters (aantal kadekranen, operatietijd van transferkranen, snelheid van transferkranen) en door het model herhaaldelijk te simuleren zodat de resultaten uit het simulatiemodel worden verworven. (Yun en Choi, 1999)

Dzielinski et al. (2003) maken gebruik van een simulatiemodel om de containerterminal van Gdansk, Polen te bestuderen. De studie heeft als doel een simulatiegebaseerde analyse van de containerterminaloperaties te maken, mogelijke verbeteringscriteria te identificeren en te

evalueren en een simulatiegebaseerde verbetering van de logistieke processen te verwerven. Het simulatiemodel gaat uit van de vijf hoofdprocessen van de containerterminal. (Dzielinski et al., 2003)

- ◆ Import/export cargo's van zee- tot landzijde (in- en uitladen)
- ◆ Het verplaatsen van cargo's tussen schip en yard
- ◆ Het verplaatsen van cargo's tussen yard en landvoertuigen
- ◆ Scheepsactiviteiten (aanleggen aan de kade)
- ◆ Landvoertuigactiviteiten (containers vervoeren van en naar de terminal)

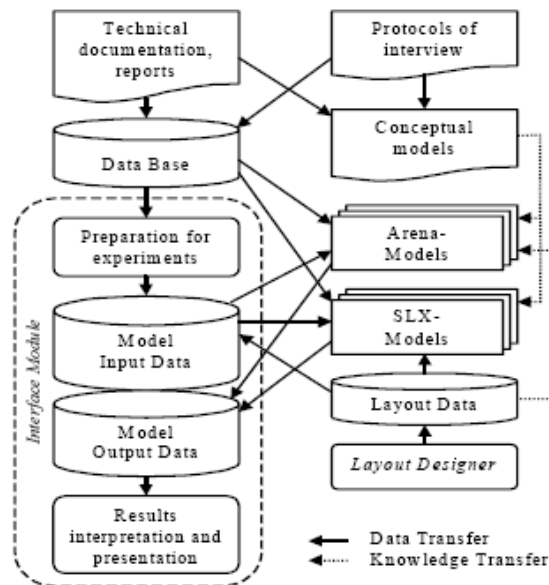
Het simulatieprogramma verwerkt de gegevens over de processen en genereert outputbestanden die data bevatten over het opslaggebruik, materiaalgebruik, gebruik van voertuigen en bijkomende informatie. De output data maken het mogelijk een statistische analyse te maken van de terminalprocessen. Nadat het model geverifieerd is met de reële data wordt het model gebruikt om de activiteiten van de terminal te simuleren. Deze resultaten vormen het referentiepunt voor verdere simulaties. Verschillende scenario's kunnen worden uitgewerkt door telkens één variabele te veranderen, zonder de andere parameters te veranderen. Dit maakt het mogelijk om aanbevelingen te formuleren over hoe de werking en de logistiek van de terminal verbeterd kunnen worden. (Dzielinski et al., 2003)

Merkuryev et al. (2000) stellen een simulatiemodel op van de Baltic containerterminal (BCT) in Riga, Letland om de logistieke processen op de terminal te analyseren en te verbeteren. Deze logistieke processen bevatten transport-, verwerking- en opslagoperaties (uit- en inladen van schepen, treinen, truck, intern/extern transport, containeropslag) Het doel van de simulatie van de logistieke processen houdt de ondersteuning van de volgende taken in (Merkuryev et al., 2000):

- ◆ het verbeteren van de lay-outbenutting.
- ◆ de regeling van transportroutes in de terminal door verschillende verkeersstromen te scheiden.

- ◆ de analyse en impact van weersomstandigheden op terminaloperaties

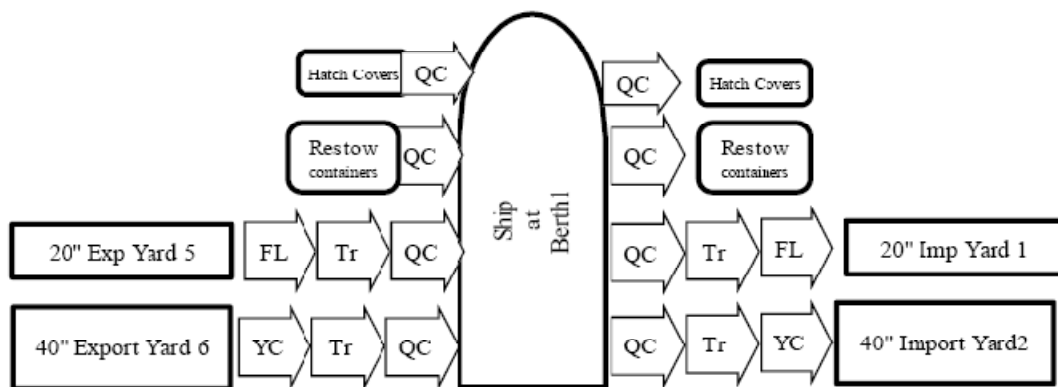
Er worden twee simulatiepakketten gebruikt voor de simulatie. De eerste twee taken worden met Arena gesimuleerd. Dit simulatiemodel analyseert de impact van het interne transport op de werking van de terminal. SLX wordt gebruikt om de impact van het weer op de terminaloperaties te analyseren. Hierdoor kan het BCT management de logistieke processen op een efficiënte manier controleren, rekening houdende met de weersomstandigheden op dat ogenblik. Beide modellen gebruiken hetzelfde lay-outbestand, een gezamenlijke databank en maken gebruik van dezelfde aanpak om data in te voeren in het model en om de simulatieresultaten weer te geven. Figuur 8 geeft de basisarchitectuur van het BCT simulatiesysteem weer. (Merkuryev et al., 2000)



Figuur 8: basisarchitectuur van het BCT simulatiemodel (Merkuryev et al., 2000)

Merkuryev et al. (2003) ontwikkelen een simulatiemodel van de logistieke activiteiten op een terminal om de belangrijkste productiviteitskarakteristieken te schatten en weer te geven, namelijk de productieve en de niet-productieve tijden, netto-productiviteit en benutting van de beschikbare middelen (kadekranen, aanlegplaatsen, voertuigen, ...). Een grondige simulatie en analyse van deze waarden laat toe mogelijkheden tot eventuele verbetering te zoeken. Het model van

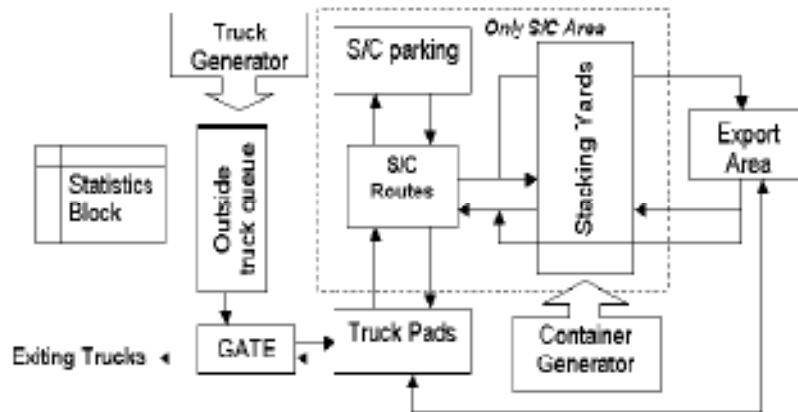
Merkuryev et al. (2000) dient als vertrekpunt. Dit model geeft een goede representatie van de terminal processen weer, maar de werking wordt beperkt door een trage werking, complexiteit van de data-invoer en onvoldoende gebruiksvriendelijkheid. Het model wordt aangepast om het te kunnen gebruiken bij de planning op dagelijkse basis. Deze aanpassing leidt tot een 'multi-level' simulatiemodel van de logistieke processen dat toelaat het juiste controleniveau te kiezen om te experimenteren met het simulatiemodel. Het hoogste niveau illustreert de scheepsroutes tussen BCT en andere havens, het middelste niveau beschrijft de verwerking van de schepen aan de terminalkade en het laagste niveau stelt de verwerking van een enkele container eenheid voorop. Dit laatste niveau wordt nog verder onderverdeeld in aparte 'resource units' waardoor de flexibiliteit van het systeem verhoogt (figuur 9). Deze gedetailleerde aanpak maakt het mogelijk een nauwkeurige schatting te maken van de technologische inefficiënties wanneer containers worden overgebracht tussen de verschillende 'resource units'.



Figuur 9: ketting van resource units in het laagste niveau (Merkuryev et al., 2003)

In tegenstelling tot de meeste simulatiestudies op terminals die vertrekken van de diensten voor de schepen, richten Sgouridis en Angelides (2002) zich tot de importzone van de terminal, namelijk de services voor vrachtwagens aan de 'gates'. De auteurs beschrijven de bouw en het gebruik van een discrete-event simulatiemodel van de processen rond deze service voor vrachtwagens in een containerterminal, meer bepaald de containerterminal in Thessaloniki, Griekenland. De eigenlijke opzet van de studie houdt de creatie van een flexibel model in dat in staat is om meerdere

werkdagen van de importzone op een containerterminal te simuleren. Het model wordt gebruikt om de huidige situatie van de terminal vast te stellen en potentiële verbeteringen voor te stellen. De structuur van het model bestaat uit verschillende secties, zoals afgebeeld in figuur 10.



Figuur 10: algemene structuur van het simulatiemodel (Sgouridis en Angelides, 2002)

De blokken op figuur 10 hebben allemaal een aparte functie. De 'truck generator' genereert trucks die de terminal bereiken aan de 'gate' en de 'container generator' genereert containers die vier attributen meekrijgen: bedrijf, vertreknummer, aankomsttijd en identificatienummer. Het aantal containers correleert met het aantal truckaankomsten anders zouden de yards constant volzet of constant bijna leeg zijn. De 'outside truck queue' aan de 'gate' wordt gevormd wanneer er geen plaatsen in het 'truck pad' beschikbaar zijn. Eenmaal op de terminal laat de blok 'truck pad' de vrachtwagens wachten tot ze bediend worden, zoekt naar beschikbare straddlecarriers en informeert deze over hun volgende opdracht. De 'truck pad' blok berekent ook hoe lang de straddlecarriers nodig hebben om een vrachtwagen te laden. De 'stacking' yard blok genereert een truck item (virtuele vrachtwagen) met data over de container toegewezen aan de betreffende vrachtwagen. De blok 'S/C routes' berekent de tijd die een straddlecarrier nodig heeft om te bewegen tussen de 'truck pads' of van 'truck pad' naar de 'stacking' yards. De blok 'export area' berekent de tijd die de straddlecarrier nodig heeft om de containers te transporteren naar de opslagplaatsen in de exportzone.

Er worden reële data ingevoerd in het model zodat het model de tekorten van het systeem visualiseert. Verder kan het model gebruikt worden voor planning op middellange termijn. Het model is immers in staat het optimale aantal straddlecarriers te berekenen en kan verschillende lay-out oplossingen onderzoeken. Overigens kan het simulatiemodel ingezet worden om de effectiviteit van voorgestelde plannen omtrent de verbetering van het serviceniveau te evalueren. (Sgouridis en Angelides, 2002)

3.2.2.2 Analyse van interne transportsystemen

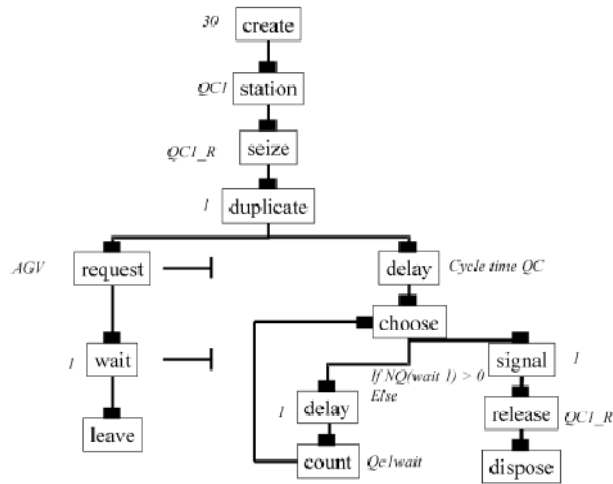
Een antwoord op de steeds groter wordende volumes die in dezelfde tijdspanne moeten worden getransporteerd naar de grote containerhavens wereldwijd is de automatisering van de processen. De laatste jaren duiken meer en meer geautomatiseerde containerterminals op (ACT's). Uit de praktijk blijkt echter dat veel onproductieve en kostbare tijd wordt verloren in deze geautomatiseerde terminals ten opzichte van de manuele terminals. Dit komt omdat de AGV's ('Automated Guided Vehicles') die niet zelfstandig containers kunnen hijsen, moeten wachten op de container kranen en dit in tegenstelling tot de manueel bediende yard tractor. Een oplossing voor dit probleem in de ACT's kan de ALV ('Automated Lifting Vehicle') zijn. Een ALV kan zelfstandig containers hijsen en hoeft niet te wachten op een beschikbare kraan. Bij de vergelijking en evaluatie van deze verschillende opties wordt vaak gebruik gemaakt van simulatiemodellen.

Saenen et al. (2003) vergelijken de operationele productiviteit van de AGV-RMG ('Automated Guided Vehicles-Rail Mounted Gantry'), de ALV-RMG ('Automated Lifting Vehicles') terminal en een manueel bestuurd systeem. De analyse bestaat uit drie delen. Eerst wordt de productiviteit van de verschillende systemen vergeleken. De resultaten hiervan worden door middel van dynamische simulatie beschreven. Daarna worden de kosten van de drie alternatieven voor het horizontale transportsysteem beschreven en uiteindelijk worden de productiviteit en de kostenresultaten gecombineerd met een aantal andere aspecten in een multi-criteria analyse. De dynamische simulatie wordt als volgt beschreven.

Het model voorziet in twee scenario's. Het eerste stelt een piekscenario voor en komt minder dan 5% van de tijd voor. Hieruit kan worden nagegaan hoeveel materiaal nodig is om te voldoen aan de productiviteitsvereisten. Het tweede scenario kan geclassificeerd worden als een drukke maar regelmatig optredende operatie. Op basis van dit scenario kan bepaald worden welk systeem uiteindelijk het beste presteert. De belangrijkste output van het model is de materiaalproductiviteit van de transportvoertuigen en van de RMG's aan water- en landzijde. Uit de resultaten blijkt dat de drie systemen ongeveer hetzelfde productiviteitsniveau bereiken. Dit niveau wordt door de drie alternatieven echter met een verschillende inzet van middelen behaald. In het algemeen kan worden gesteld dat ofwel 3 manueel bediende voertuigen ofwel 4 ALV's ofwel 5,5 AGV's nodig zijn per kadekraan in dit systeem. Op basis van de productiviteitsvergelijking scoort het manueel bediende systeem het beste. Uit de verdere analyse blijkt dit wel veruit de duurste methode te zijn. (Saanen et al., 2003)

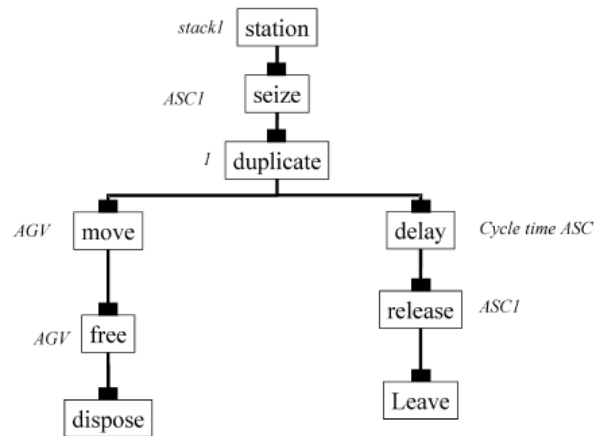
Vis en Harika (2004) gebruiken de ARENA simulatiesoftware om de effecten te onderzoeken van het gebruik van respectievelijk AGV's en ALV's op de lostijd van een schip. De studie beschouwt de wachttijden en de bezettingsgraad van de kranen, de lostijd van het schip, de bezettingsgraad van de voertuigen en het aantal vereiste voertuigen als criteria. Het simulatiemodel bevat twee modellen, het AGV en het ALV model. Per model worden de processen aan de kadekranen en aan de opslagkranen opgenomen. In figuur 11 wordt de implementatie van AGV processen voorgesteld. De blok 'create' genereert containers om de 30 seconden zodat er altijd een container beschikbaar is om uit te laden. De kadekranen worden voorgesteld door de blokken 'station' (fysieke locatie), 'seize' (activeert de kraan), 'delay' (cyclustijd) en 'release' (geeft de kraan vrij). De blok 'duplicate' kopieert de entiteit (container) zodat de kraan twee taken tegelijk kan uitvoeren, namelijk het lossen met een cyclustijd ('delay') en het aanvragen van een AGV ('request'). De blok 'dispose' verwijdert de kopie uit het model. Wanneer een AGV wordt aangevraagd door een kadekraan moet deze wachten ('wait') tot de kraan klaar is met zijn taak. Op dat ogenblik ontvangt de AGV een signaal ('signal'). In het omgekeerde geval moet de kraan wachten ('delay') op de AGV en telt de wachttijd ('count') zodat de totale wachttijd van de kadekraan kan berekend worden. Wanneer een container op de AGV geplaatst wordt, wordt de kraan vrijgegeven ('release') en kan de kraan

gebruikt worden om een nieuwe container te lossen. De geladen AGV kan dan op zijn beurt naar de opslagplaats rijden ('leave'). (Vis en Harika, 2004)

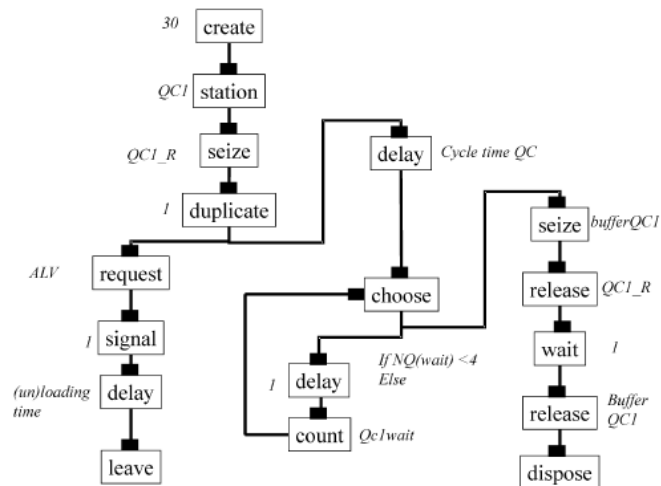


Figuur 11: implementatie van processen aan de kadekranen in ARENA voor AGV's (Vis en Harika, 2004)

Net zoals de kadekranen worden de opslagkranen voorgesteld door de blokken 'station', 'seize', 'delay' en 'release' die hier dezelfde betekenis hebben (figuur 12). Nadat een container een opslagkraan krijgt toegewezen wordt de container gekopieerd. De originele container wordt gebruikt om de AGV door te sturen naar de wachtrij ('move') en deze uiteindelijk vrij te geven ('free'). De container wordt vrijgegeven in de blok 'dispose'. De kopij wordt gebruikt om de opslag van de container te modelleren. De opslagkraan wordt vrijgegeven ('release') nadat de container is opgeslagen. Nu kan de opslagkraan een nieuwe container opslaan. (Vis en Harika, 2004)



Figuur 12: implementatie van processen aan opslagcontainers in ARENA voor AGV's (Vis en Harika, 2004)

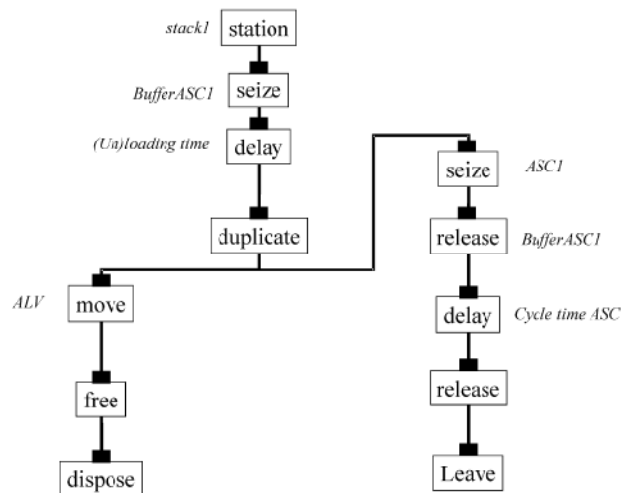


Figuur 13: implementatie van processen aan de kadekraan in ARENA voor ALV's (Vis en Harika, 2004)

Figuur 13 stelt de processen van de ALV's aan de kadekranen voor in het model. Deze processen zijn vergelijkbaar met die van de AGV's. Het verschil tussen de twee modellen volgt uit het feit dat een ALV zelf een container kan opnemen. De kraan kan de container op de grond (bufferzone) plaatsen. De blok 'choose' zorgt er voor dat er hoogstens vier containers in de bufferzone komen te staan. Indien volzet, begint de wachttijd van de kadekranen te lopen. Door de blokken 'delay' en 'count' wordt continu gecontroleerd of een plaats vrijkomt in de bufferzone. Indien dit het geval is,

claimt de kraan deze positie ('seize buffer QC') en zet de container in de buffer zodat een nieuwe container kan gelost worden ('release'). De container in de bufferzone moet wachten ('wait') op de aankomst van een ALV in de bufferzone, een signaal geeft ('signal') en de container meeneemt zodat de plaats in de bufferzone terug vrijkomt ('Release BufferQC'). (Vis en Harika, 2004)

De ALV vervolgt zijn weg naar de opslagplaats (figuur 14) en controleert eerst of een opslagplaats beschikbaar is in de bufferzone. Indien volzet wacht de ALV tot deze vrijkomt zodat de containers in de buffer geplaatst kunnen worden ('seize'). Vervolgens heft de opslagkraan de container uit de bufferzone zodat de bufferzone terug vrijkomt ('release'). De rest van de blokken uit figuur 14 zijn gelijkaardig aan die van figuur 12 (AGV). (Vis en Harika, 2004)

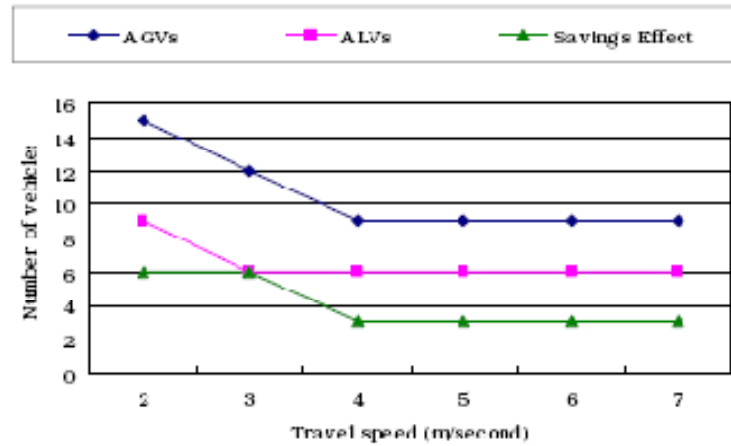


Figuur 14: implementatie van processen aan de opslagkranen in ARENA voor ALV's (Vis en Harika, 2004)

Uit de resultaten leiden Vis en Harika (2004) af dat het gebruik van ALV's of AGV's resulteert in gelijkaardige lostijden en bezettingsgraden van de voertuigen en de kranen. Het aantal vereiste AGV's hiervoor ligt wel gevoelig hoger dan het aantal ALV's. Wat betreft de kadekranen zal de wachttijd hoger liggen bij het gebruik van AGV's om de reden dat er geen gebruik gemaakt kan worden van een bufferzone.

Een gelijkaardige studie wordt uitgevoerd door Yang et al (2004). Zij proberen de mate vast te stellen waarin een verhoogd aantal ALV's in vergelijking met AGV's de productiviteit van een ACT verbetert. Een simulatiemodel wordt ontwikkeld in Visual BASIC dat rekening houdt met de karakteristieken van een ACT. Het model veronderstelt dat de cyclustijd van voertuigen bestaat uit de rijtijd tussen de aanmeerzone en de yard, de wachttijd in de bufferzones en de wachttijd om te laden en te lossen bij de containerkraan en de automatische transferkraan (ATC). Dit model maakt het mogelijk de reissnelheid van de voertuigen te analyseren, het juiste aantal voertuigen (ALV's) uit te rekenen en hierdoor de uitgespaarde tijd te berekenen.

De simulatie begint met het genereren van schepen die de aanmeerzone binnenvaren. Elk schip krijgt containerkranen, ATC's, AGV's en ALV's toegewezen en wordt achtereenvolgens uitgeladen en ingeladen. Wanneer de uitlaadoperaties voltooid zijn, stopt de simulatie. De productiviteit van de containerkranen aan de kade wordt beschouwd als één van de belangrijkste factoren die de doorstromingstijd beïnvloedt. De productiviteit wordt daarom gebruikt als evaluatiemaatstaf. Verder wordt de snelheid van de voertuigen bepaald via een voorbereidende test. Door de beperkingen in de productiviteit van de containerkranen wordt deze snelheid een noodzakelijke determinant om het verschil van het aantal toegewezen voertuigen (AGV en ALV) te maximaliseren en het aantal voertuigen in gebruik te minimaliseren. (Yang et al., 2004)



Figuur 15: vereiste aantal voertuigen voor een gegeven containerkraan productiviteit (Yang et al., 2004)

Uit figuur 15 kan het verschil tussen beide types voertuigen, rekening houdende met de beperking van de cyclustijd en de productiviteit van de containerkranen, en het spaareffect worden afgeleid. Wat betreft het aantal voertuigen komen de auteurs tot dezelfde conclusie als Vis en Harika (2004), namelijk dat er bij dezelfde snelheid meer AGV voertuigen nodig zijn als ALV voertuigen voor hetzelfde werk. Verder bevinden ze nog dat combinatie van de twee types voertuigen voor een spaareffect kan zorgen. (Yang et al., 2004)

3.2.2.3 Evaluatie van managementinformatiesystemen

Management informatiediensten en dataverwerkende systemen hebben het de terminalmanagers eenvoudiger gemaakt om het hele proces te controleren. Toch moeten de ruwe data geanalyseerd en behandeld worden om inzicht te verkrijgen in de prestaties van de werking op een terminal. Simulatiemodellen en operationele onderzoekstechnieken hebben bewezen een betrouwbaar en praktisch middel te zijn bij de ondersteuning van de beslissingsnemers in hun dagelijkse activiteiten. (Hayuth et al, 1994; Blümel, 1997; Bruzzone en Signorile, 1997, in Mastrolilli et al., 1998)

Het management van een intermodale containerterminal is een complexe taak. Het houdt een groot aantal beslissingen in op verschillende niveaus, van strategische ontwikkeling tot een enkele verplaatsing van een container. De meeste terminals vertrouwen op management informatie systemen om beslissingen te nemen. De grote hoeveelheid aan informatie maakt het haast onmogelijk voor het menselijke brein om de terminal in zijn gehele complexiteit te vatten. Het proces bevat immers vele interacties van de verschillende gelijktijdige processen zoals yardplanning, allocatie van de middelen, in- en uitladen van schepen. Om het beleid te evalueren en om te tonen welke impact de beslissingen van het management kunnen hebben, stellen Rizzoli et al. (1999) een simulatiemodel van de containerterminal op. Het terminalmodel is niet alleen in staat om de huidige beslissingen van het management te repliceren, maar het implementeert ook de beleidsmaatregelen om hun effect met de huidige managementpraktijk te vergelijken. Net zoals Rizzoli et al. (1999), spitsen Gambardella et al. (1998) en Mastrolilli et al. (1998) zich toe op de evaluatie van zulke computersystemen. Ze maken gebruik van hetzelfde model.

Het model is gebaseerd op het principe dat externe gebeurtenissen (vb. aankomst van een vrachtwagen op de terminal) een reactie van de simulatieagenten genereert, die op hun beurt de simulatiecomponenten bewerken. De handelingen van de agenten worden bepaald door het ingevoerde beleid. Schepen, treinen en vrachtwagens die aankomen op de terminal hebben een laad- (importcontainers) en een uitlaadlijst (exportcontainers) bij. Deze lijsten worden gebruikt door de schip- en de yardplanner. De schipplanner is een simulatieagent die de in- en uitlaadoperaties van een schip organiseert en heeft de volgende taken (Rizzoli et al., 1999):

- ◆ Alloceert de kadekranen gebaseerd op de import- en exportlijst van de schepen
- ◆ Werkt een baaiplan uit voor de kadekranen
- ◆ Vraagt aan de yardplanner om een bestemming voor de uit te laden containers te zoeken
- ◆ Communiqueert met de yardplanner welke containers geladen moeten worden
- ◆ Zet de kadekranen in werking volgens het eerder bepaalde baaiplan

De yardplanner staat in voor de organisatie van de containerallocatie op de yard. Deze planner gebruikt de lijsten van de import- en exportcontainers om een schema op te stellen voor de opslagkranen en voert volgende taken uit (Rizzoli et al., 1999):

- ◆ De opslagkranen alloceren op basis van de lijst van de in- en uit te laden containers
- ◆ De yardruimte organiseren volgens een gegeven beleid
- ◆ Het 'job-shop' probleem van de opslagcontainers oplossen door de data over de in- en uit te laden treinen, vrachtwagens en schepen te gebruiken.

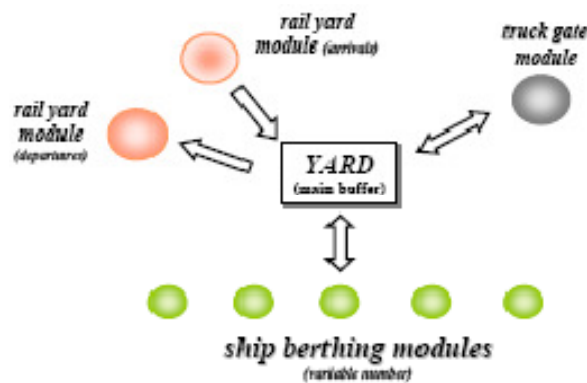
Naast deze agenten die betrekking hebben op de hele terminal zijn agenten actief zoals de kranen en de interne vervoermiddelen die lokale beslissingen moeten nemen. Zij krijgen hun orders toegewezen van de yard- en de schiplanner. Na de uitwerking van hun model implementeren Rizzoli et al. de verschillende computergegenereerde beleidsmaatregelen in het simulatiemodel om na te gaan of deze geschikt zijn. Op die wijze kan nagegaan worden hoe de werking op de terminal zou reageren op de implementatie van zulk beleid en kan de voorgestelde politiek vergeleken worden met het huidige beleid. (Rizzoli et al., 1999)

3.3 Verbinding met het hinterland

Het begrip *hinterland* kan op verschillende manieren geïnterpreteerd worden. Er bestaat een onderscheid tussen het transport naar andere terminals, interterminal transport, en het directe transport naar distributiecentra of bedrijven op het vasteland. De verbinding van de containerterminal met het hinterland kan door verschillende vervoersmodi verzorgd worden. Transport via het spoor, de weg en de binnenvaart zijn de meest gebruikte vervoersmiddelen om de containers te vervoeren. Ook voor het interterminal transport kunnen deze modi gebruikt worden, indien de terminals tot dezelfde haven horen kan dit transport ook geregeld worden door interne vervoermiddelen zoals AGV's, ALV's en MTS. Simulaties kunnen gebruikt worden bij het vergelijken van de alternatieven.

Om de impact van het toenemende zeevervoer op de landinfrastructuur te onderzoeken, beschouwen Parola en Sciomachen (2005) een aantal maritieme terminals en meer specifiek de interconnecties tussen de betreffende terminals en de verbinding met het hinterland. Hiervoor maken de auteurs gebruik van het softwarepakket Witness (2000). De studie wordt toegepast op de intermodale keten tussen de Italiaanse havens van Genua (opgesplitst in oude en nieuwe haven) en La Spezia om de stroom in de keten te analyseren met als uiteindelijke doel de verbindingen, vooral het spoornetwerk, te decentraliseren.

Simulatie wordt gebruikt om sommige strategische beslissingen te ondersteunen die teveel variabelen bevatten om zonder hulp te verwerken. Zodoende wordt de graad van verzadiging van de spoorwegen en het niveau van congestie aan de 'truck gates' weergegeven. Het simulatiemodel maakt gebruik van de modules die gerelateerd zijn aan de in- en outputstroom van containers in het systeem, namelijk het aanmeren van schepen, de vrachtwagen 'gate' en de spoorweg yards, waarvan één voor aankomst en één voor vertrek, zoals voorgesteld op figuur 16. Het model wordt gevalideerd door de reële data van de huidige situatie in te voeren.



Figuur 16: simulatiemodules binnen elke maritieme containerterminal (Parola en Sciomachen, 2005)

Na de validatie van het model wordt het gebruikt om toekomstige scenario's, waarin de containerstroom toeneemt, te bestuderen in overeenstemming met drie verschillende hypothesen. De resultaten van elk scenario worden vergeleken met de simulaties van de huidige

omstandigheden. De drie scenario's worden verwerkt in het model door de parameters in de 'truckgate' en spoorweg modules te veranderen. De parameters van de aanmeermodule worden niet aangepast omdat er een constante groei van de maritieme stroom verondersteld wordt. In tabel 1 stellen Parola en Sciomachen (2005) de drie scenario's voor, elk met hun eigen kenmerken.

Tabel 1: hypothesen voor toekomstige scenario's (Parola en Sciomachen, 2005)

2012 Scenario's		
Beste	Tweede beste	Slechtste
Nieuwe spoorlijn en verdubbeling van de Pontremolese lijn	Nieuwe spoorlijn	Enkel verbouwing van de hoofdspoorlijnen
Technologische update van de bestaande spoorlijnen Nieuwe spoorweg in de Genoa hub Reorganisatie van de belangrijkste vrachtstations de 'truck gate' 24 uur per dag openen in de belangrijkste terminals		

Uit de output van het simulatiemodel kunnen per scenario de gevolgen voor de landinfrastructuur afgeleid worden zodat de toenemende groei van het zeetransport op een geschikte manier kan aangepakt worden. In tabel 1 wordt weergegeven welk scenario het beste lijkt. (Parola en Sciomachen, 2005)

Net zoals Parola en Sciomachen (2005) onderzoeken Ottjes en Duinkerken (1996) het containervervoer tussen de terminals om in de toekomst aan de stijgende containerstroom te voldoen, maar dan binnen hetzelfde havengebied. De onderzoekers vergelijken de mogelijke transportmodi voor het 'Inter Terminal Transport' (ITT), het transport tussen de terminals, op de Maasvlakte in Rotterdam, Nederland. De taken van ITT bestaan uit de punctuele afhaling en levering van containers (niet te vroeg en niet te laat). De belangrijkste prestatie-indicator is het percentage van containers dat te laat op de ITT bestemming aankomt. Dit wordt uitgedrukt als het 'non-performance' percentage. Op het heden wordt ITT uitgevoerd door MTS ('Multi Trailer System'). Dit systeem wordt vergeleken met systemen die gebruik maken van automatische voertuigen. Hiertoe wordt een objectgeoriënteerd simulatiemodel ontwikkeld van het 'Inter

Terminal Transport' (ITT). De data over de containerstroom worden gegenereerd door een generatormodel en vormen de input voor het simulatiemodel dat het gehele ITT proces simuleert. Het model bevat als hoofdentiteiten containers, containerterminals en voertuigen voor het transport van containers. Drie systemen worden gemodelleerd: AGV, ALV en MTS (het huidige systeem) en worden met elkaar vergeleken om het meest kostenefficiënte systeem te bepalen.

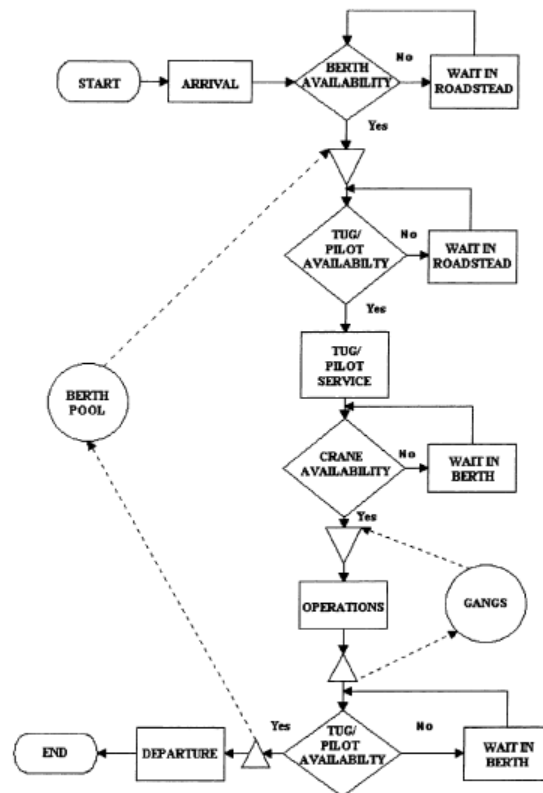
4 SIMULATIEMODEL VAN EEN CONTAINERTERMINAL

In dit hoofdstuk wordt een illustratief simulatiemodel uitgewerkt van een fictieve containerterminal. Het doel hiervan is aan te tonen of met behulp van simulatie bepaald kan worden welke verdeling van de beschikbare middelen op een terminal een verbetering is en in welke mate dit kan. De uitwerking van het model gebeurt met de studentenversie van de simulatiesoftware Arena, versie 7.01.00. Het gebruik van deze versie van Arena (Kelton et al., 2004) brengt echter een aantal beperkingen met zich mee die op een gepaste manier moeten opgelost worden. De gehanteerde oplossingen hiervoor zullen in het verdere verloop van dit hoofdstuk besproken worden bij de beschrijving van het model.

Het vervolg van dit hoofdstuk is als volgt ingedeeld. Eerst wordt het uitgangspunt en de beschrijving van het model besproken. Nadien volgt een woord over de uitvoering van het model en de bekomen resultaten.

4.1 Uitgangspunt van het simulatiemodel

Het model van Legato en Mazza (2001) wordt als uitgangspunt gebruikt voor de uitwerking van het simulatiemodel dat wordt voorgesteld in het vervolg van dit werk. Dit model (figuur 17) beschrijft de aanlegprocedure voor de schepen aan de containerterminal in Gioia Tauro te Italië. Deze procedure staat in voor de toewijzing van de beperkte aanlegplaatsen aan de schepen die de haven binnenvaren. De schepen worden verdeeld in twee categorieën: primaire en secundaire schepen. Primaire schepen hebben een vast aankomstschema en krijgen voorrang op de secundaire schepen die aankomen op willekeurige tijdstippen. Een secundair schip zal eveneens moeten wachten aan de rede wanneer zijn aankomst te dicht voorafgaat aan de aankomst van een primair schip. Op die manier wordt verhinderd dat de primaire schepen aan de rede moeten wachten en kunnen ze onmiddellijk hun aanlegplaats innemen. De auteurs voeren een scenarioanalyse uit om de gemiddelde wachttijden voor kadekranen tot nul te reduceren voor de primaire schepen en de wachttijden voor secundaire schepen zoveel mogelijk te beperken. (Legato en Mazza, 2001)



Figuur 17: schip activiteitenproces (Legato en Mazza, 2001)

4.2 Beschrijving van het simulatiemodel

Legato en Mazza (2001) maken abstractie van het 'operations' proces in hun model. Dit proces beschrijft de activiteiten die de containers ondergaan op de terminal. In dit werk worden deze activiteiten in meer detail uitgewerkt. De beschrijving van de activiteiten wordt in verschillende stappen uitgevoerd. Eerst worden de activiteiten beschreven die het schip moet ondergaan om bediend te worden in de haven. Daarna wordt dieper ingegaan op de los- en laadactiviteiten van de schepen op de terminal. Van de opslagactiviteiten wordt abstractie gemaakt en de verdere activiteiten in verband met het vervoer richting hinterland of omgekeerd het vervoer vanuit het vasteland worden niet opgenomen in het model. Vóór de beschrijving van het model volgen eerst een paar voorafgaande bemerkingen bij het simulatiemodel.

4.2.1 Bemerkingen bij het simulatiemodel

In de inleiding van dit hoofdstuk werd vermeld dat het simulatiemodel opgesteld is met de studentenversie van Arena. De beperkingen van het pakket hebben een aantal gevolgen voor de opmaak van het simulatiemodel. Het simulatiemodel zou immers gebruik moeten maken van verschillende entiteiten (schepen en containers). Door het feit dat slechts 150 entiteiten op hetzelfde moment in het systeem mogen voorkomen, kan niet gewerkt worden met verschillende 'create' modules voor de creatie van de entiteiten *ship* en *container*. In wat volgt, wordt een simulatiemodel beschreven dat enkel gebruik maakt van de entiteit *ship*. Deze entiteit zal op bepaalde plaatsen in het model als het ware als een container beschouwd moeten worden, al is dit in werkelijkheid niet zo. Op die manier kan het probleem worden omzeild en kan de werking op de containerterminal op een gepaste wijze gesimuleerd worden.

4.2.2 Simulatie op schipniveau

Een schema van het model op schipniveau is terug te vinden in bijlage 1. Aan de hand hiervan wordt het simulatiemodel op schipniveau besproken. Dit algemene model beschrijft de weg die het schip aflegt vanaf de aankomst in de haven tot het schip de haven verlaat. Als eerste wordt de aankomst van de schepen gecreëerd in twee 'create' modules. De eerste module genereert primaire schepen. Deze schepen hebben een constant aankomstschema. De tweede 'create' module creëert secundaire schepen. De tussenaankomsttijden van de secundair schepen volgen een exponentiële verdeling. In tabel 3 worden twee mogelijke aankomststrides weergegeven. De schepen komen één voor één aan en krijgen een aankomsttijdstip (aankomsttijd = TNOW) toegewezen in de 'assign' module om later toe te laten de verblijftijd in de haven per schip te berekenen.

Tabel 3: gegevens van de 'create' modules

Create - Basic Process								
	Name	Entity Type	Type	Value	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
1	Aankomst primaire schepen	Primair schip	Constant	1.75	Days	1	Infinite	0
2	Aankomst secundaire schepen	secundair schip	Random (Expo)	4,363636	Hours	1	Infinite	1

Tabel 4: aankomstverdeling scheepstypes van de primaire schepen

Type	Attribute Name	New Value
Attribute	Aankomsttijd	TNOW
Attribute	Scheepstype	DISC(0.67, 1, 1.0, 2)

Tabel 5: aankomstverdeling scheepstypes van de secundaire schepen

Type	Attribute Name	New Value
Attribute	Aankomsttijd	TNOW
Attribute	Scheepstype	DISC(0.36, 1, 0.75, 2, 0.95, 3, 1.0, 4)

In de eerste 'assign' module krijgen de primaire en secundaire schepen het attribuut *scheepstype* toegewezen. De scheepstypes worden toegewezen omdat niet elk schip op dezelfde manier mag worden behandeld in de terminal. De kans dat een scheepstype voorkomt, wordt in de 'assign' module weergegeven met een discrete verdeling (tabel 4 en 5). Zo bestaat de kans dat een primair schip met scheepstype 1, respectievelijk scheepstype 2 gecreëerd wordt uit 67% en respectievelijk 33%. Zowel het aankomstschema van de schepen als de verdeling van de verschillende types worden uit het werk van Legato en Mazza (2001) overgenomen bij de beschrijving van dit model.

In het model wordt door middel van een 'decide' module per type van entiteit (primair of secundair schip) bepaald welk scheepstype precies gecreëerd werd. Per scheepstype is er een verschillende behoefte aan middelen zoals het aantal sleepboten, het aantal kadekranen en het aantal 'berth slots' (de kade wordt niet opgedeeld in vaste aanlegplaatsen). Een schip heeft bijgevolg behoefte aan meerdere 'berth slots' om aan te meren. Tabel 6 geeft de indeling van de middelen weer.

Tabel 6: toewijzing van de middelen voor de verschillende scheepstypes

Scheepsrang	Scheepstype	# aanlegplaatsen ('berth slots')	# sleepboten	# kadekranen
Primair	1	8	2	2
	2	11	3	3
Secundair	1	5	1	1
	2	6	1	1
	3	7	2	1
	4	8	2	1

Verder bevat de 'assign' module ook het aantal importcontainers dat het schip met zich meebrengt en het aantal exportcontainers dat na het lossen op het schip moet worden geladen. Deze aantallen hangen af van het scheepstype en worden willekeurig bepaald via een triangulaire verdeling (Tabel 7). De laagste en de hoogste waarde in de functie stellen respectievelijk de minimum- en maximumwaarde voor. De middelste waarde stelt de modus voor, de waarde die het vaakst voorkomt. De 'ANINT' functie voor elke verdeling zorgt ervoor dat enkel gehele getallen gegenereerd worden omdat de triangulaire verdeling een continue verdeling is en bijgevolg ook gebroken getallen genereert.

Tabel 7: aantal import- en exportcontainers per scheepstype

Scheepsrang	Scheepstype	# importcontainers	# exportcontainers
Primair	1	ANINT(TRIA(400; 750; 900))	ANINT(TRIA(500; 600; 800))
	2	ANINT(TRIA(700; 850; 1000))	ANINT(TRIA(700; 750; 950))
Secundair	1	ANINT(TRIA(50; 120; 180))	ANINT(TRIA(80; 120; 180))
	2	ANINT(TRIA(100; 180; 280))	ANINT(TRIA(100; 150; 250))
	3	ANINT(TRIA(200; 250; 400))	ANINT(TRIA(200; 250; 350))
	4	ANINT(TRIA(300; 400; 600))	ANINT(TRIA(300; 350; 500))

Eenmaal de behoeften van de schepen bekend zijn, kunnen de middelen op een optimale wijze aan de schepen worden toegewezen. Een schip dat de haven wil binnenvaren, vraagt, afhankelijk van het scheepstype, een aantal 'berth slots' (aanlegplaatsen) en een aantal sleepboten aan om te kunnen aanleggen. Indien één van deze twee middelen niet beschikbaar is, moet het schip wachten

aan de rede buiten de haven tot zowel het in de 'assign' module opgegeven aantal aanlegplaatsen als het aantal sleepboten beschikbaar zijn. Op dat ogenblik wordt het schip naar de aanlegplaatsen gesleept en kan het aanleggen aan de kade. Hierbij geldt de voorrangsregel in verband met de primaire en de secundaire schepen. Deze voorrangsregel wijkt af van de voorrangsregel voorgesteld in het model van Legato en Mazza (2001). Wanneer een primair en secundair schip op hetzelfde moment een aanlegplaats en sleepboot nodig hebben, krijgt het primaire schip de vereiste middelen als eerste toegewezen zodra de middelen beschikbaar zijn. Omwille van de prioriteitsregel gebeurt het aanleggen in het simulatiemodel via twee 'process' modules waar de aanlegplaatsen en de sleepboten een 'seize delay' actie ondergaan. De twee middelen worden als het ware aangegrepen ('seize') en een actie wordt uitgevoerd waardoor de middelen voor een bepaalde tijd bezet zijn ('delay'). De 'process' module voor de primaire schepen krijgt een hogere prioriteit toegewezen dan die voor de secundaire schepen zodat de primaire schepen eerder recht hebben op de middelen dan de secundaire schepen.

De tijd die de sleepboten nodig hebben om de sleepboten van de schepen naar de aanlegplaatsen te slepen, wordt weergegeven door een triangulaire verdeling met een modus van 20 minuten. In tabel 8 wordt de triangulaire verdeling weergegeven per 'process' module, ook is de prioriteit per module af te lezen. Na deze processen worden de sleepboten terug vrijgegeven in het volgende proces ('delay release'). Dit proces volgt ook een triangulaire verdeling met een modus van 4 minuten, een minimumwaarde van 2 en een maximumwaarde van 6 minuten. De ingenomen aanlegplaatsen worden pas vrijgegeven wanneer het schip de haven verlaat.

Tabel 8: prioriteit en triangulaire tijdsverdeling van de 'process' modules *schepen naar de aanlegplaatsen slepen*

Name	Type	Action	Priority	Delay Type	Units	Minimum	Value	Maximum
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen	Standard	Seize Delay	High(1)	Triangular	Minutes	15	20	25
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen	Standard	Seize Delay	Medium(2)	Triangular	Minutes	15	20	25

Het aantal middelen ('resources') dat wordt toegewezen aan de schepen is af te lezen in tabel 9. Dit aantal wordt gelijkgesteld aan *aanlegplaatsen* en *sleepboten*. Door deze notatie wordt het

aantal toegewezen middelen een variabele en kan per scheepstype aan het vereiste aantal voldaan worden. Dit vereiste aantal kan in tabel 6 worden afgelezen.

Tabel 9: vereiste aantal middelen voor de schepen om aan te leggen

	Type	Resource Name	Quantity
1	Resource	#aanlegplaatsen	aanlegplaatsen
2	Resource	#sleepboten	sleepboten

Eenmaal het schip aan de kade ligt, wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen primaire en secundaire schepen. Op dit ogenblik moet het schip aan de kade wachten tot het de vereiste kranen krijgt toegewezen om de containers te lossen. De verdeling van de kranen wordt verder uitgediept in de volgende paragraaf waar het model besproken wordt op containerniveau.

Op schipniveau gaat het model verder wanneer het lossen en laden voltooid is. Nadat deze activiteiten voltooid zijn, ligt het schip klaar om te vertrekken en heeft het opnieuw nood aan sleepboten om de kadeplaats te verlaten. Dit aantal ligt vast per scheepstype (zie tabel 6) en is dus gelijk aan het aantal sleepboten dat het schip naar de kade gebracht heeft. De sleepboten worden aangevraagd onder een 'seize delay release' actie zodat de sleepboten dadelijk beschikbaar zijn voor het volgende schip. Dit proces volgt dezelfde tijdsverdeling als het slepen naar de aanlegplaatsen. Als laatste worden de aanlegplaatsen aan de kade opnieuw vrijgegeven ('delay release') en kan het volgende schip met de aanlegprocedure aan deze aanlegplaatsen beginnen (tabel 10). Het proces om de aanlegplaatsen vrij te geven volgt een constante tijdsverdeling met waarde nul, aangezien de aanlegplaatsen in werkelijkheid automatisch vrijkomen wanneer het schip uit de haven is weggesleept. Als laatste stroomt de entiteit in het model in een 'dispose' module, wat betekent dat de entiteit het model verlaat.

Tabel 10: gegevens van de 'process' module *aanlegplaatsen vrijgeven*

Name	Type	Action	Delay Type	Units	Value
Aanlegplaatsen vrijgeven	Standard	Delay Release	Constant	Minutes	0

Over de activiteiten die de containers ondergaan op de terminal zelf wordt in dit model op schipniveau abstractie gemaakt. In de volgende paragrafen wordt de module '*operations*' verder uitgediept.

4.2.3 Simulatie op containerniveau

Het '*operations*' proces, waarvan in de bespreking over het model op schipniveau abstractie werd gemaakt, stelt in de implementatie een submodel voor. In dit submodel worden de activiteiten op de terminal gesimuleerd. De activiteiten op een terminal kunnen van start gaan eenmaal de schepen aangemeerd hebben. Eerst moeten de vereiste middelen toegewezen worden om de schepen te lossen. Vervolgens worden de containers opgeslagen op de yard en uiteindelijk wordt het schip weer geladen.

4.2.3.1 Simulatie van de losactiviteiten op de terminal

De losprocedure van de schepen bestaat uit twee delen, namelijk het lossen zelf en het vervoer van de containers naar de containeryard. Het submodel begint met de toewijzing van de kranen aan de aangemeerde schepen. Dit gebeurt in een '*process*' module waar een '*seize delay*' actie ondergaan wordt aangezien de kadekranen pas mogen vrijgegeven worden op het ogenblik dat het schip terug geladen is. Het toewijzen van de kadekranen neemt geen tijd in beslag. De tijdsverdeling wordt dus uitgedrukt als een constante met waarde nul. Het aantal kranen dat wordt toegewezen, werd reeds per scheepstype bepaald (zie Tabel 6) en wordt dus als variabele ingevuld (tabel 11). Eenmaal de kranen ter beschikking staan van het schip, kan de losprocedure van het schip beginnen. In werkelijkheid worden de containers per kraan één voor één van het schip gehaald en op een voertuig gezet dat de containers naar de opslagyard brengt. In het simulatiemodel wordt deze procedure aangepakt zoals beschreven in de volgende paragraaf. Het volledige losproces wordt afgebeeld in bijlage 2.

Tabel 11: aantal toegewezen kadekranen per schip

	Type	Resource Name	Quantity
1	Resource	#kadekranen	kadekranen

Op het ogenblik dat het schip over de kadekranen beschikt, worden de importcontainers uitgeladen. Op dat ogenblik wordt de entiteit *ship* (primair of secundair) als het ware omgevormd tot entiteit *container* meer bepaald een *importcontainer*. In tegenstelling tot het schip heeft de container slechts één kadekraan nodig en moet tijdens dit proces dus ook maar één kadekraan per container toegewezen worden (tabel 12). In feite betekent dit dat gelijktijdig een aantal kadekranen worden toegewezen aan de schepen (zie tabel 6) en slechts één kadekraan per container (tabel 12). Aangezien de schepen en containers door één en dezelfde entiteit worden voorgesteld, vormt zich hier een probleem. Om dit probleem op te lossen, wordt gebruik gemaakt van artificiële *importkranen* waarvan een oneindige voorraad is zodat deze steeds beschikbaar zijn. Doch, er mogen niet meer importkranen tegelijk bezet zijn als het aantal kadekranen toegewezen per schip. Om dit probleem op te lossen, wordt gebruik gemaakt van de volgende methode.

Tabel 12: aantal vereiste importkranen per container

	Type	Resource Name	Quantity
1	Resource	#importkranen	1

De importkranen ondergaan in de 'process' module *importcontainers toewijzen* een 'seize delay' actie die geen tijd in beslag neemt aangezien dit in werkelijkheid niet van toepassing is (de tijd is een constante met waarde nul). Vervolgens gaat de entiteit door de 'assign' module *teller importkraan* die verhoogd wordt telkens er een entiteit doorheen stroomt (tabel 13). De importkraanteller is een attribuut net zoals alle volgende tellers in het model en is dus entiteitgebonden zodat een entiteit met andere eigenschappen deze teller niet kan verhogen. Na de teller worden de entiteiten, die beschouwd worden als containers, verdubbeld in de 'separate' module *importcontainers dupliceren* (tabel 14).

Tabel 13: teller importkranen

	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	importkraanteller	importkraanteller + 1

Tabel 14: duplicatie van importcontainers

Name	Type	# of Duplicates
importcontainers dupliceren	Duplicate Original	1

De nieuw gecreëerde entiteit (duplicaat) maakt een lus zodat het aantal containers per schip gecreëerd kan worden. Eerst passeert het duplicaat een 'process' module *teller importcontainers*. In deze 'assign' module krijgen de entiteiten een attribuut *importcontainerteller* toegewezen. Deze teller wordt verhoogd met waarde één telkens een entiteit de module aandoet (tabel 15).

Tabel 15: teller importcontainers

	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	importcontainerteller	importcontainerteller + 1

Vervolgens passeert de geduplicateerde entiteit de 'decide' module *aantal importcontainers bereikt?*, waar bepaald wordt of het aantal containers dat een bepaald schip moet afzetten reeds bereikt is. Dit gebeurt door te testen of het attribuut *containerteller* gelijk is aan het aantal importcontainers dat moet worden afgezet (tabel 16). Indien het aantal importcontainers nog niet bereikt is, wordt in een volgende 'decide' module onderzocht of er nog importkranen beschikbaar zijn. De voorraad importkranen is oneindig, maar het aantal importkranen dat per schip wordt toegewezen, is beperkt tot het aantal toegewezen kadekranen per schip zodat slechts dit vooraf toegewezen aantal beschikbaar is (zie tabel 6). In de 'decide' module *importkranen beschikbaar?* wordt getest of de importkraanteller kleiner of gelijk is aan het aantal kadekranen toegewezen aan het schip (tabel 17).

Tabel 16: test importcontainers

Name	Type	If	Attribute Name	Is	Value
Aantal importcontainers bereikt?	2-way by Condition	Attribute	importcontainerteller	==	importcontainers

Tabel 17: test importkranen

Name	Type	If	Attribute Name	Is	Value
importkranen beschikbaar ?	2-way by Condition	Attribute	importkraanteller	<=	kadekranen

Indien er importkranen vrij zijn, wordt de entiteit terug juist voor de 'assign' module *importkranen toewijzen* in het model gebracht en wordt nadien weer gedupliceerd. Indien geen importkranen vrij zijn, stroomt de entiteit via een 'hold' module en de 'assign' module *teller importkraan verminderen* terug tot voor de 'assign' module *importkranen toewijzen*. De entiteit moet in de 'hold' module wachten op een signaal (waarde 20) dat gegeven wordt telkens wanneer een importkraan vrijgegeven wordt (tabel 18).

Tabel 18: gegevens van de 'hold' module wachten tot importkranen vrij zijn

Name	Type	Wait for Value	Limit
wachten tot importkranen vrij zijn	Wait for Signal	20	1

Vanaf het ogenblik dat een importkraan vrijkomt, verlaat één entiteit (tabel 18) de 'hold' module en vervoegt het model via de 'assign' module *teller importkraan verminderen* (tabel 19), waar de importkraanteller met één wordt verminderd, vlak voor de 'process' module *importkranen toewijzen*.

Tabel 19: teller importkranen verminderen

	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	importkraanteller	importkraanteller - 1

De originele entiteit verlaat de separate module *importcontainers dupliceren* en vervolgt de weg die elke container moet afleggen op een containerterminal. Eerst passeert deze de 'process' module *importcontainers lossen*. Hier worden de importkranen terug vrijgegeven nadat alle importcontainers van het schip gelost zijn ('delay release'). Dit proces neemt een tijd in beslag die een triangulaire verdeling volgt met een modus van twee minuten en een minimum en maximum van 1,8 respectievelijk 2,4 minuten. Op het ogenblik dat de importkraan wordt vrijgegeven, passeert de entiteit een 'signal' module die een signaal (waarde 20) geeft aan de 'hold' module *wachten tot importkranen vrij zijn* (tabel 20). Indien daar een entiteit staat te wachten wordt deze vrijgegeven.

Tabel 20: signaal om importkranen vrij te geven

Name	Signal Value	Limit
signaal om importkranen vrij te geven	20	1

Vervolgens worden de importcontainers vervoerd naar de containeryard door een intern vervoermiddel. De entiteit ondergaat in de 'process' module *importcontainers vervoeren* een 'seize delay' actie. Dit proces volgt een triangulaire tijdsverdeling met een modus van 1,5 minuten. De uiterste waarden bedragen respectievelijk 1 minuut en 2 minuten. Omdat een vervoermiddel dat een container vervoerd heeft naar zijn vertrekplaats moet terugkeren en dit ook een bepaalde tijd in beslag neemt, wordt de entiteit vervolgens verdubbeld in de 'separate' module *duplicaat voertuigen*. Het duplicaat ondergaat onder de 'process' module een 'delay release' actie met een triangulaire tijdsverdeling met een modus van 1 minuut en 0,8 en 1,2 minuten als uiterste waarden. Dit proces neemt iets minder tijd in beslag dan het vorige omdat de voertuigen in dit geval niet geladen zijn. Na dit proces staan de vervoermiddelen opnieuw ter beschikking voor de volgende containers. De originele entiteit, waarvan het duplicaat de voertuigen voorstelde, stelt nog steeds de geloste container voor en wordt in een 'process' module *importcontainers opslaan* opgeslagen op de yard. Van dit proces wordt abstractie gemaakt en stelt een 'delay' actie voor zonder toegewezen middelen. Deze actie volgt een triangulaire verdeling (1,5 - 2,0 - 2,5 minuten).

Om te weten of het aantal geloste importcontainers zijn opgeslagen, wordt gebruik gemaakt van een 'assign' module waar nogmaals de *importcontainerteller* verhoogd wordt (zie tabel 15). Dit wordt ook weer getest door een 'decide' module (tabel 21). Totdat het vereiste aantal importcontainers is opgeslagen, verlaten de entiteiten de 'decide' module via de 'false' uitgang en stromen dadelijk naar een 'dispose' module waar ze het systeem verlaten. Indien het aantal importcontainers wel bereikt is, verlaat deze laatste entiteit (importcontainer) de 'decide' module via de 'true' uitgang. Op dit moment mag een signaal gegeven worden om het laadproces te starten. Voordat dit proces beschreven wordt, wordt de beschrijving terug aangevat bij de eerste test waar getest werd of het aantal importcontainers reeds bereikt is (tabel 16).

Tabel 21: test opslag importcontainers

Name	Type	If	Attribute Name	Is	Value
aantal importcontainers opgeslagen	2-way by Condition	Attribute	importcontainerteller	==	importcontainers

Onder de eerste test werd gecontroleerd of het aantal importcontainers bereikt was. Indien dit het geval is, zijn alle containers van het schip gelost en kan de laadprocedure beginnen vanaf het ogenblik dat alle geloste containers op de yard geplaatst zijn. Wanneer de entiteit de 'decide' module *aantal importcontainers bereikt?* verlaat, wordt deze opgesplitst door een 'separate' module (analoog aan tabel 14). De originele entiteit stelt nog steeds de container voor, het duplicaat stelt terug het schip voor.

De originele entiteit verandert op dit moment als het ware van *importcontainer* in *exportcontainer*. Deze *exportcontainer* staat klaar op de yard en wacht om opgepakt te worden. Om precies te weten voor welk schip de container bestemd is, wordt de entiteit aan de volgende test onderworpen. De entiteit passeert eerst een 'decide' module waarin de scheepsrang (primair of secundair) van het schip bepaald wordt (tabel 22). De entiteit verlaat de 'decide' module via de 'true' uitgang indien het een primair schip voorstelt, anders via de 'false' uitgang. Vervolgens stroomt de entiteit door een volgende 'decide' module waar het scheepstype (tabel 23 en 24)

bepaald wordt. Bij de primaire schepen verlaat scheepstype 1 de 'true' zijde en scheepstype 2 de 'false' zijde. Voor de secundaire schepen wordt gebruik gemaakt van een 'N-way by condition'. Scheepstypes 1, 2 en 3 verlaten de module elk via een andere uitgang aan de 'true' zijde. Indien niet aan de voorwaarden voldaan wordt, stelt de entiteit scheepstype 4 voor en verlaat deze de 'decide' module via de 'else' zijde.

Tabel 22: bepaling van de scheepsrang

Name	Type	If	Entity Type
Welke scheepsrang?	2-way by Condition	Entity Type	Primair schip

Tabel 23: bepaling van het scheepstype voor primaire schepen

Name	Type	If	Attribute Name	Entity Type	Is	Value
Scheepstype ?	2-way by Condition	Attribute	Scheepstype	Entity 1	==	1

Tabel 24: bepaling van het scheepstype voor secundaire schepen

If	Attribute Name	Is	Value
Attribute	Scheepstype	==	1
Attribute	Scheepstype	==	2
Attribute	Scheepstype	==	3

Zoals wordt afgebeeld in bijlage 2 komen de *exportcontainers* op die manier elk in een aparte 'hold' module waar ze wachten op het signaal om de laadprocedure te beginnen. Dit signaal wordt uitgezonden nadat de laatste importcontainer wordt weggezet. Dit proces werd reeds beschreven. De manier waarop het signaal bekomen wordt, is analoog aan de manier waarop de exportcontainers elk in een aparte 'hold' module worden ingedeeld. Eenmaal het signaal gegeven, worden de exportcontainers vrijgegeven en kan de laadprocedure van start gaan (tabel 25 en 26).

Tabel 25: exportcontainers laten wachten tot importcontainers opgeslagen zijn

Name	Type	Wait for Value	Limit
Primair scheepstype 2 laten wachten om te laden	Wait for Signal	12	
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden	Wait for Signal	14	
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden	Wait for Signal	15	
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden	Wait for Signal	16	
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden	Wait for Signal	13	
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden	Wait for Signal	11	

Tabel 26: signaal wanneer het vereiste aantal importcontainers opgeslagen is

Name	Signal Value	Limit
signaal om primair scheepstype 1 te laden	11	
signaal om primair scheepstype 2 te laden	12	
Signaal om secundair scheepstype 1 te laden	13	
Signaal om secundair scheepstype 2 te laden	14	
Signaal om secundair scheepstype 3 te laden	15	
Signaal om secundair scheepstype 4 te laden	16	

Vooraleer overgegaan wordt op de beschrijving van de laadactiviteiten, dient nog één route besproken te worden. Na de 'separate' module *schakel import naar export* wordt het duplicaat terug opgevat als de entiteit *primair of secundair schip*. Eenmaal het schip gelost is, moet het wachten tot het volledig geladen is voordat het zijn reis kan verderzetten. Daarom moet de entiteit wachten in een 'hold' module tot een signaal gegeven wordt dat het schip geladen is, vooraleer de entiteit het submodel kan verlaten en zijn weg kan vervolgen op schipniveau (tabel 27). Ook hier wordt per scheepsrang en per scheepstype een onderscheid gemaakt en dit gebeurt op dezelfde manier als beschreven bij de exportcontainers en de importcontainers. Hoe en wanneer het signaal wordt verkregen, wordt beschreven onder de simulatie van de laadactiviteiten op de terminal.

Tabel 27: schepen laten wachten om te vertrekken tot ze geladen zijn

Name	Type	Wait for Value	Limit
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is	Wait for Signal	1	1
Primair scheepstype 2 laten wachten tot schip geladen is	Wait for Signal	2	1
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is	Wait for Signal	4	1
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is	Wait for Signal	5	1
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is	Wait for Signal	6	1
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is	Wait for Signal	3	1

4.2.3.2 Simulatie van de laadactiviteiten op de terminal

Het vervolg van het simulatiemodel, het laadproces, wordt weergegeven in bijlage 3. Nadat het signaal is gegeven dat alle importcontainers van het toegekomen schip op de containeryard staan, start het laadproces. In werkelijkheid begint dit proces waar het losproces geëindigd is, aan de containeryard. In het model stelt de entiteit, die door de 'hold' module in tabel 25 wordt losgelaten, vanaf dit moment als het ware een exportcontainer voor. Deze entiteit passeert de 'assign' module *teller exportcontainers* die verhoogd wordt met waarde één telkens een entiteit met dezelfde kenmerken deze module passeert (tabel 28).

Tabel 28: teller exportcontainers

Type	Attribute Name	New Value
Attribute	exportcontainerteller	exportcontainerteller + 1

Wanneer de teller verhoogd wordt, vloeit de entiteit verder naar een 'separate' module waar een volgende lus begint. Het duplicaat stroomt net zoals bij de importcontainers door de lus. In tegenstelling tot de importcontainers wordt in deze lus enkel rekening gehouden met het feit of het aantal exportcontainers bereikt is aangezien de exportkranen pas later het model vervoegen. De test of het juiste aantal exportcontainers uit de yard genomen zijn (zie tabel 7), gebeurt op dezelfde manier als bij het losproces. Namelijk in de 'decide' module *aantal exportcontainers bereikt?* (tabel 29). Indien het vereiste aantal exportcontainers om van de yard af te nemen nog niet bereikt is, moet de geduplicateerde entiteit de lus afmaken. Voordat de entiteit de lus mag

verlaten en de exportcontainers dus door de yardkranen van de yard mogen genomen worden, moet de entiteit in een 'hold' module wachten (tabel 30) op een signaal (waarde 30) dat gegeven wordt nadat een exportcontainer van de yard genomen is. Op het ogenblik dat het vereiste aantal exportcontainers bereikt wordt, verlaat het duplicaat zowel de lus als het model via een 'dispose' module.

Tabel 29: test of het aantal vereiste exportcontainers bereikt is

Name	Type	If	Attribute Name	Is	Value
aantal exportcontainers bereikt?	2-way by Condition	Attribute	exportcontainerteller	==	exportcontainers

Tabel 30: wachten om exportcontainers uit de yard te 'picken'

Name	Type	Wait for Value	Limit
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken	Wait for Signal	30	1

De originele entiteit ondergaat, net zoals bij het losproces, de activiteiten zoals ze op een containerterminal gebeuren. De exportcontainers worden van de yard genomen en vervolgens richting kade vervoerd. Telkens een exportcontainer van de yard wordt genomen, wordt een signaal (waarde 30) gegeven om de volgende exportcontainer vrij te geven (tabel 31). Deze processen gebeuren op identiek dezelfde wijze als onder de losactiviteiten, enkel in omgekeerde richting.

Tabel 31: signaal om exportcontainers uit de yard te 'picken'

Name	Signal Value	Limit
signaal om volgende exportcontainer uit te pikken	30	1

Eenmaal de exportcontainers aan de kade afgezet zijn, start het eigenlijke laadproces. Dit proces verschilt echter van het losproces aangezien de entiteiten (exportcontainers) in dit geval één voor één aankomen en allemaal op één schip geladen moeten worden. Dit in tegenstelling tot het losproces waar er één entiteit aankwam die moest gedupliceerd worden tot het vereiste aantal

importcontainers bereikt werd. In het laadproces worden eerst de scheepsrang en het scheepstype bepaald, zoals eerder beschreven (zie tabellen 22, 23 en 24). Op die wijze wordt het laadproces voorgesteld door zes verschillende 'process' modules. Het laadproces neemt per container minimaal 1,8 minuten en maximaal 2,4 minuten in, de modus ligt op 2 minuten. In het model maakt het laadproces gebruik van *exportkranen* onder een 'seize delay release' actie. Deze exportkranen zijn net zoals de importkranen artificieel en hun voorraad is ongelimiteerd. Om te zorgen dat niet meer exportcontainers tegelijkertijd op het schip geladen worden dan er kadekranen zijn toegewezen (zie tabel 6), staat voor elk apart laadproces een 'hold' module. In deze module moet de entiteit wachten indien het aantal toegewezen kadekranen bezet is. Dit wordt gerealiseerd door enkel een entiteit vrij te geven wanneer het aantal containers in de wachtrij van het laadproces kleiner of gelijk is aan het aantal toegewezen kadekranen voor het betreffende scheepstype (tabel 32).

Tabel 32: wachten tot exportkranen vrij zijn

Name	Type	Condition
wachten tot exportkranen voor primair schip 1 vrij zijn	Scan for Condition	NQ(exportcontainers primair scheepstype 1 laden.Queue) <= Kadekranen
wachten tot exportkranen voor primair schip 2 vrij zijn	Scan for Condition	NQ(exportcontainers primair scheepstype 2 laden.Queue) <= Kadekranen
wachten tot exportkranen voor secundair schip 4 vrij zijn	Scan for Condition	NQ(exportcontainers secundair scheepstype 4 laden.Queue) <= Kadekranen
wachten tot exportkranen voor secundair schip 1 vrij zijn	Scan for Condition	NQ(exportcontainers secundair scheepstype 1 laden.Queue) <= Kadekranen
wachten tot exportkranen voor secundair schip 2 vrij zijn	Scan for Condition	NQ(exportcontainers secundair scheepstype 2 laden.Queue) <= Kadekranen
wachten tot exportkranen voor secundair schip 3 vrij zijn	Scan for Condition	NQ(exportcontainers secundair scheepstype 3 laden.Queue) <= Kadekranen

Na het laadproces ondergaan de entiteiten een test of het aantal te laden exportcontainers bereikt is. In een 'decide' module wordt hiervoor nogmaals de exportcontainerteller (zie tabel 28) getest zoals in tabel 16 bij de importcontainers. De exportcontainers verlaten de 'decide' module via de 'false' zijde en worden weggezet in een 'dispose' module zolang het vereiste aantal niet bereikt is. Wanneer een schip volgeladen is, neemt de entiteit de 'true' uitgang en passeert een 'separate' module die de schakel tussen de exportcontainer en het schip voorstelt. Het duplicaat blijft als het ware de exportcontainer en verlaat het model via een 'dispose' module.

De originele entiteit stelt terug een primair of secundair schip voor. Om het juiste schip te laten vertrekken dat staat te wachten na het losproces (tabel 27) wordt nogmaals gebruik gemaakt van de methode om de juiste scheepsrang en het juiste scheepstype te onderscheiden (zie tabel 22, 23

en 24). Eenmaal het juiste schip bepaald is, kan een signaal gegeven worden aan de overeenstemmende 'hold' module (tabel 33). De vrijgegeven entiteit verlaat op dat moment het submodel en vervolledigt zijn weg in het model op schipniveau.

Tabel 33: signaal om schepen te laten vertrekken

Name	Signal Value	Limit
signaal om primair sloopstypetype 1 te laten vertrekken	1	1
signaal om primair sloopstypetype 2 te laten vertrekken	2	1
Signaal om secundair sloopstypetype 1 te laten vertrekken	3	1
Signaal om secundair sloopstypetype 2 te laten vertrekken	4	1
Signaal om secundair sloopstypetype 3 te laten vertrekken	5	1
Signaal om secundair sloopstypetype 4 te laten vertrekken	6	1

Als laatste worden de kadekranen terug vrijgegeven in een 'process' module. Dit proces zelf neemt geen tijd in beslag, maar alle processen in het submodel vallen tussen het toewijzen en het vrijgeven van de kadekranen zodat de tijd die de entiteit in het submodel verblijft de tijd voorstelt dat de kadekranen aan een schip zijn toegewezen. Nadat de kadekranen zijn vrijgegeven verlaat de entiteit het model via een 'dispose' module.

4.3 De uitvoering van het simulatiemodel

Het hierboven besproken simulatiemodel wordt een aantal keer uitgevoerd met als doel de efficiëntie van de werking op de terminal te bepalen. Hiertoe krijgen een aantal factoren steeds een andere waarde toegewezen. Dit kunnen zowel interne als externe factoren zijn. De interne factoren hebben de managers van een terminal zelf in de hand, veranderingen in externe factoren worden van buitenaf bepaald. Door de factoren te veranderen, kunnen verschillende resultaten met elkaar vergeleken worden om zo de meest efficiënte werking vast te stellen.

In wat volgt, worden de uitvoeringen van het simulatiemodel besproken. Eerst worden kort de omstandigheden uiteengezet waarin elke simulatietoepassing wordt uitgevoerd. Vervolgens worden

de simulaties met aanpassingen in de externe factoren besproken en ten slotte de simulaties waarin de interne factoren worden veranderd.

4.3.1 Omstandigheden van de simulaties

Om een stabiele simulatie te bekomen, moet de simulatie lang genoeg duren. In dit werk wordt gekozen om voor de duur van de simulaties een periode van één maand uit te trekken. Verondersteld wordt dat de schepen enkel overdag tussen 6 uur en 21 uur de containerterminal bezoeken. Zo wordt het aantal uren dat de simulatie per dag loopt, beperkt tot 15 uur. Per simulatie worden vijf replicaties (herhalingen) uitgevoerd om de variabiliteit van de resultaten te beperken. De gegevens per schip in verband met het aantal benodigdheden en het aantal containers dat ze moeten lossen en laden, zijn terug te vinden in tabel 6 en 7 op pagina 50.

4.3.2 Simulaties met aanpassingen in de externe factoren

Veranderingen in externe factoren heeft de terminalmanager zelf niet in de hand en worden toegebracht door derden. In wat volgt, wordt de invloed van de drie externe factoren op de containerterminal onderzocht. Eerst wordt een wijziging in het aankomstritme van zowel de primaire als de secundaire schepen gesimuleerd. Hieruit wordt het effect op de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd onderzocht. Vervolgens wordt de mix van primaire en secundaire schepen gewijzigd en wordt per scenario het effect op de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd afgeleid.

Omdat in de hierboven beschreven gevallen enkel externe factoren kunnen veranderen, blijft het aantal middelen dat op de terminal ter beschikking staat voor de schepen gelijk voor de verschillende simulaties. Het aantal aanlegplaatsen, sleepboten, kadekranen en voertuigen op de kade wordt weergegeven in tabel 34. Dit aantal beschikbare middelen wordt ruim gekozen zodat geen problemen veroorzaakt worden door interne factoren omdat de simulaties gericht zijn op veranderingen in de externe factoren.

Tabel 34: beschikbare middelen op de terminal

aanlegplaatsen	20
sleepboten	10
kadekranen	20
voertuigen	50

4.3.2.1 Simulatie met verschillende aankomstrijtmes

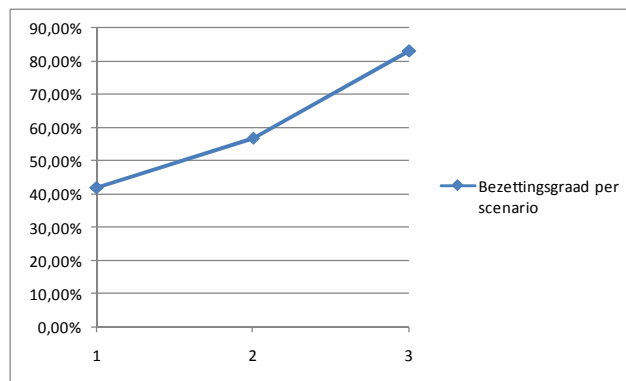
Drie scenario's van het simulatiemodel worden uitgevoerd met telkens een ander aankomstrijtme. De verhouding tussen de aankomsttijden, dit is de aankomstmix, van de primaire en secundaire schepen blijft wel gelijk, namelijk 10 op 1. Dit betekent dat in de tijdspanne dat een primair schip in de haven aankomt, tien secundaire schepen aankomen. De bezettingsgraad van de kade en de geschatte wachttijden per scenario worden onderzocht en nadien vergeleken met de gevonden waarden uit de andere scenario's. Op die wijze kan het effect op de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd afgeleid worden. De ritmes gaan van een trage naar een snelle opeenvolging van de schepen. De primaire schepen komen per scenario aan om de respectievelijk 90, 60 en 30 uur volgens een constant schema. De secundaire schepen komen aan volgens een exponentiële verdeling met respectievelijke gemiddelden van 9, 6 en 3 uur. Tabel 35 geeft de ritmes voor de drie scenario's weer.

Tabel 35: aankomstrijtme per scenario

	Aankomstratio's	
	primaire schepen	secundaire schepen
Scenario 1	90 uur	9 uur
Scenario 2	60 uur	6 uur
Scenario 3	40 uur	4 uur

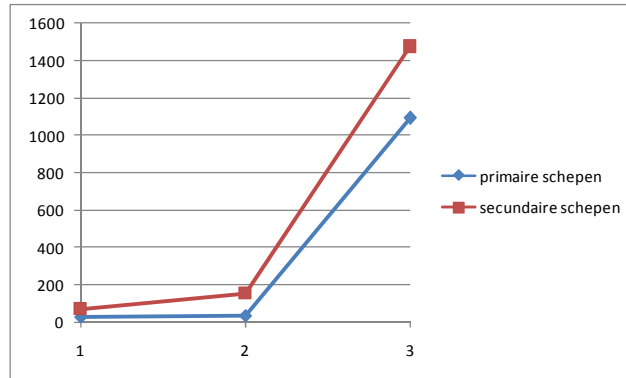
Uit de rapporten van de drie scenario's kan de bezettingsgraad van de kade worden afgeleid. Uit de resultaten blijkt dat deze bezettingsgraad toeneemt naarmate het aankomstrijtme stijgt, met

andere woorden naarmate de opeenvolging van schepen sneller plaatsvindt. Uit de simulatie van het eerste scenario blijkt dat gemiddeld 8,41 van de 20 beschikbare aanlegplaatsen bezet worden, wat overeenkomt met een percentage van 42,06%. In het tweede scenario stijgt dit aantal naar een gemiddelde van 11,41 bezette aanlegplaatsen, dus 57,03%. In het derde scenario waar de schepen elkaar nog sneller opvolgen, stijgt dit percentage tot 83,03% wat overeenstemt met een gemiddelde van 16,60 bezette aanlegplaatsen. Figuur 18 stelt dit voor in een grafiek. De rapporten van de drie scenario's zijn terug te vinden in bijlage 4.



Figuur 18: bezettingsgraad per aankomst ritme

Per scenario kunnen ook de wachttijden voor de schepen voordat ze een aanlegplaats krijgen toegewezen, berekend worden. Deze tijden verschillen per scheepsrang. In scenario 1 moeten de primaire schepen gemiddeld 28,55 minuten wachten om naar een aanlegplaats gesleept te worden. De secundaire schepen hebben een gemiddelde wachttijd van 71,79 minuten. In scenario 2 moeten de primaire schepen 38,00 minuten wachten, de secundaire schepen 157,02 minuten. In scenario 3 bedraagt de gemiddelde wachttijd respectievelijk 1092,41 en 1474,08 minuten voor de primaire en secundaire schepen. De gemiddelde wachttijd wordt per scenario afgebeeld in figuur 19.



Figuur 19: geschatte wachttijd (in minuten) per aankomst ritme

Uit figuur 18 blijkt dat hoeveel te sneller de schepen elkaar opvolgen, hoeveel te hoger de bezetting van de aanlegplaatsen wordt. Uit figuur 19 blijkt dat ook de gemiddelde wachttijd een stijgend verloop kent. De primaire schepen kennen een lichte stijging van de gemiddelde wachttijd in scenario 2 ten opzichte van scenario 1, in scenario 3 volgt echter een duidelijke stijging van de gemiddelde wachttijd. De geschatte wachttijden van de secundaire schepen volgen dezelfde curve als die van de primaire schepen maar liggen per scenario hoger dan die van de primaire schepen. Dit niveauverschil is een gevolg van de prioriteitsregel voor de primaire schepen.

4.3.2.2 Simulatie met een verandering van de mix primaire-secundaire schepen

In bovenstaande simulaties werd de mix tussen de aankomsttijden van de primaire en secundaire schepen gelijk gehouden op. De mix bedroeg 10 op 1. In de tijdspanne dat één primair schip aankomt, komen tien secundaire schepen aan. In de volgende simulaties wordt deze mix aangepast. In de drie scenario's wordt rekening gehouden met een mix van 15 op 1, 10 op 1 en 8 op 1. Per scenario staat het aankomst ritme van de secundaire schepen vast (3, 6 en 9) en verandert het aankomst ritme van de primaire schepen (tabel 36). Net zoals bij de vorige simulaties worden de bezettingsgraad van de kades en de geschatte wachttijden om te kunnen aanleggen, onderzocht. De rapporten zijn terug te vinden in bijlage 4.

Tabel 36: aankomstmix en aankomstrijtmes per scenario

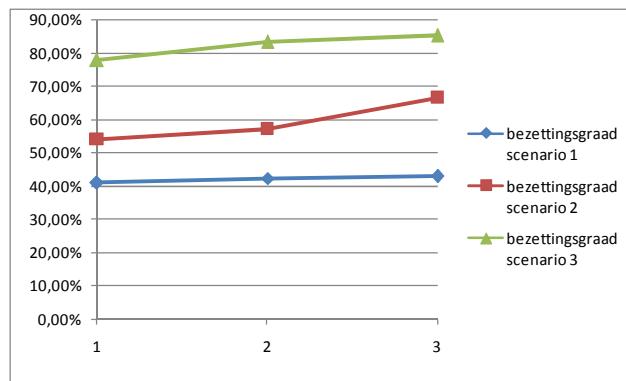
	aankomstmix					
	15 op 1		10 op 1		8 op 1	
	primaair	secundair	primaair	secundair	primaair	secundair
scenario 1	135	9	90	9	72	9
scenario 2	90	6	60	6	48	6
scenario 3	60	4	40	4	32	4

Tabel 37: bezettingsgraad en geschatte wachttijd per mix

	mix	Bezettingsgraad	geschatte wachttijd (in minuten)	
			primaair	secundair
scenario 1	15 op 1	40,73%	14,56	78,91
	10 op 1	42,06%	28,55	71,79
	8 op 1	42,69%	55,73	71,73
scenario 2	15 op 1	53,84%	73,67	93,05
	10 op 1	57,03%	38,00	157,02
	8 op 1	66,46%	141,07	262,79
scenario 3	15 op 1	77,62%	289,83	611,4
	10 op 1	83,03%	1092,41	1474,08
	8 op 1	84,99%	1194,72	1956,48

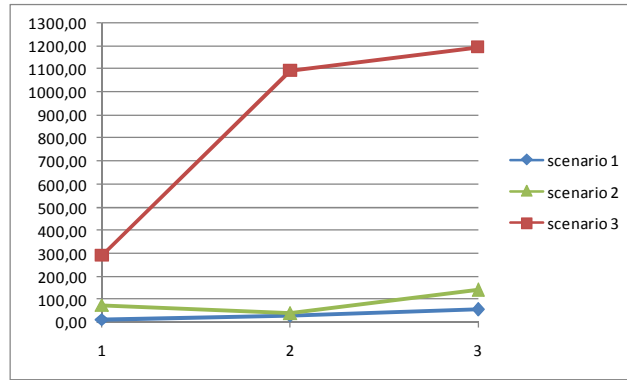
In het eerste scenario wordt het aankomstrijtme van de secundaire schepen vastgesteld op een gemiddelde tussenaankomsttijd van 9 uur. De tussenaankomsttijden van de primaire schepen variëren in dit scenario van 135 uur tot 72 uur. Met een mix van 15 op 1, dus een gemiddelde tussenaankomsttijd van 135 uur voor de primaire schepen, bedraagt de bezettingsgraad van de aanlegplaatsen 40,73% wat overeenkomt met 8,15 van de 20 aanlegplaatsen. De primaire schepen zouden gemiddeld 14,56 minuten moeten wachten op een aanlegplaats wanneer ze aankomen in de haven en de secundaire schepen zouden gemiddeld 78,91 minuten moeten wachten aan de rede. Met een mix van 10 op 1, stijgt de bezettingsgraad tot 42,06%. Dit percentage komt overeen met een gemiddeld aantal bezette aanlegplaatsen van 8,41. De geschatte wachttijd van een primair schip stijgt naar 28,55 minuten. Voor een secundair schip daalt de geschatte wachttijd lichtjes tot 71,79 minuten. Onder een mix van 8 op 1 wijst de simulatie uit dat gemiddeld 42,69% of 8,54 van de 20 aanlegplaatsen bezet zijn. De geschatte wachttijden voor de primaire en

secundaire schepen bedragen respectievelijk 55,73 minuten en 71,73 minuten. De resultaten van dit eerste scenario worden ondergebracht in tabel 37 samen met de resultaten van de andere scenario's. De bezettingsgraad per scenario wordt in figuur 20 in een grafiek weergegeven. De resultaten van het besproken scenario 1 worden weergegeven door de donkerblauwe lijn. De getallen 1 tot en met 3 op de X-as stellen respectievelijk de mixen 1 op 15, 1 op 10 en 1 op 8 voor.



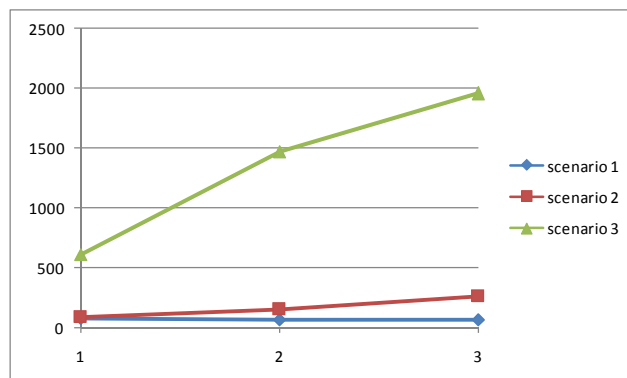
Figuur 20: bezettingsgraad per mix

Uit de figuur blijkt dat een mix met kleinere verhoudingen een hogere bezettingsgraad met zich meebrengt, wat ook logisch lijkt. Des te sneller de schepen elkaar opvolgen, des te hoger de bezettingsgraad ligt.



Figuur 21: geschatte wachttijden voor primaire schepen

De geschatte wachttijden van de primaire schepen worden weergegeven in figuur 21. Figuur 22 geeft deze weer voor de secundaire schepen. De getallen 1 tot en met 3 op de X-as stellen respectievelijk de mixen 1 op 15, 1 op 10 en 1 op 8 voor.



Figuur 22: geschatte wachttijden voor secundaire schepen

De curven op de grafieken van de primaire en de secundaire schepen tonen ongeveer hetzelfde verloop. Hieruit is af te leiden dat zowel voor de primaire als voor de secundaire schepen onder dezelfde mix met een dalende tussenaankomsttijd de geschatte wachttijden stijgen. De curve van scenario 3 ligt bij elke situatie hoger dan die van scenario 2, die op zijn beurt telkens hoger ligt dan die van scenario 1. Wanneer de mix echter verandert (per scenario op de figuren), is af te lezen dat de gemiddelde wachttijd voor scenario 3 zowel voor de primaire als voor de secundaire schepen beduidend hoger ligt dan in de eerste twee scenario's omwille van de te snelle

opeenvolging van de schepen. Over het algemeen stijgt de gemiddelde geschatte wachttijd per scenario, enkel de curve van scenario 2 voor de primaire schepen kent een knik, de bezettingsgraad ligt wel hoger zodat een betere benutting van de aanlegplaatsen een lagere wachttijd met zich mee kan brengen. De gemiddelde wachttijden voor de secundaire schepen in scenario 1 blijven status quo, er is zelfs een lichte daling op te merken. De bezettingsgraad stijgt ook hier wel licht, de middelen (aanlegplaatsen) worden dus beter benut, en de tussenaankomsttijden (9 uur) liggen ver genoeg uiteen om hoge wachttijden te vermijden.

4.3.3 Simulatie met aanpassingen in de interne factoren

Naast de externe factoren, die beïnvloed worden van buitenaf, spelen ook interne factoren een belangrijke rol bij de efficiëntiebepaling van de werking op een containerterminal. In tegenstelling tot de externe factoren heeft het terminalmanagement wel vat op deze factoren. Het is dus een uitdaging om deze interne factoren zo goed mogelijk op de reële situatie af te stemmen. In wat volgt, wordt met behulp van het simulatiemodel gezocht naar het meest geschikte aantal aanlegplaatsen ('slots') en het meest geschikte aantal kadekranen voor de terminal in termen van bezettingsgraad en geschatte wachttijd.

Er wordt in de simulaties gewerkt met hetzelfde aantal bronnen zoals beschreven in tabel 34. Enkel het aantal kadekranen, respectievelijk het aantal aanlegplaatsen, wordt veranderd in de volgende simulaties. De externe factoren zoals de aankomstrijtmes liggen ook vast en volgen de verdeling zoals in het werk van Legato en Mazza (2001). Het aankomstrijtme voor de primaire schepen bedraagt 42 uur (1,75 dagen) volgens een constante verdeling. De secundaire schepen hebben een tussenaankomsttijd met een gemiddelde van 4,3636 uur volgens een exponentiële verdeling.

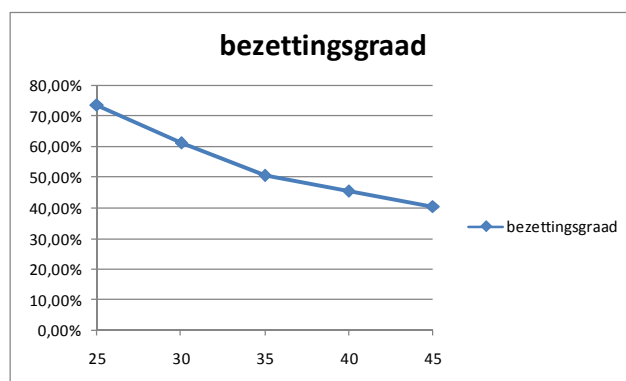
4.3.3.1 Simulatie met aanpassingen in het aantal beschikbare aanlegplaatsen

De volgende simulaties geven weer hoe de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd per scheepsrang evolueren naarmate het aantal aanlegplaatsen toeneemt. Deze informatie kan nuttig zijn voor een beslissing op lange termijn indien het management de terminal wenst uit te breiden.

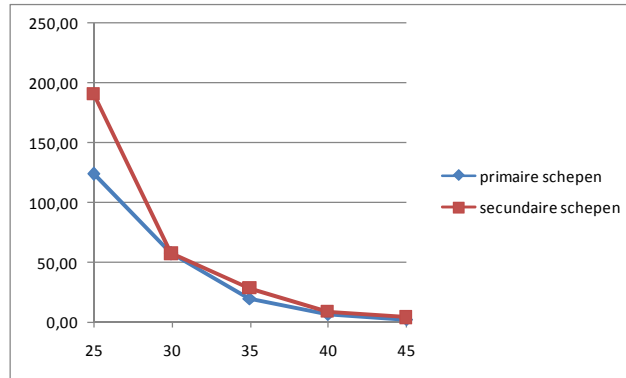
De simulatie wordt telkens uitgevoerd met een ander aantal aanlegplaatsen. Dit aantal loopt per 5 op van 25 tot en met 45 aanlegplaatsen. De bezettingsgraad van de beschikbare aanlegplaatsen (figuur 23) en de gemiddelde geschatte wachttijd om aan te leggen (figuur 24) worden berekend. De resultaten worden ook weergegeven in tabel 38. De rapporten zijn terug te vinden in bijlage 4.

Tabel 38: bezettingsgraad en geschatte wachttijd (in minuten) per aantal beschikbare aanlegplaatsen

Aanlegplaatsen	bezettingsgraad	geschatte wachttijd	
		primair	secundair
25	73,45%	123,72	190,50
30	61,36%	57,63	57,59
35	50,67%	20,03	28,85
40	45,41%	7,07	9,43
45	40,52%	2,73	4,19



Figuur 23: bezettingsgraad per aantal beschikbare aanlegplaatsen



Figuur 24: geschatte wachttijd (in minuten) voor primaire en secundaire schepen per aantal beschikbare aanlegplaatsen

Uit de figuren valt af te leiden dat de bezettingsgraad gelijkmatig daalt naarmate het aantal aanlegplaatsen toeneemt. Doch is een kleine knik op te merken in de curve op 35 aanlegplaatsen, waarna de dalende bezettingsgraad nog meer wordt afgevlakt bij een verdere stijging van het aantal aanlegplaatsen. Bij 30 aanlegplaatsen bedraagt de bezettingsgraad nog meer dan 60%, bij 35 aanlegplaatsen nog maar 50,67%. Bij een verdere toename van het aantal aanlegplaatsen neemt de daling van de bezettingsgraad slechts gestaag af.

Ook bij de gemiddelde geschatte wachttijd bevindt zich een knik in zowel de curve van de primaire als die van de secundaire schepen. De vermindering van de gemiddelde geschatte wachttijd neemt in grote mate af tussen de 25 en de 30 aanlegplaatsen, vanaf 40 beschikbare aanlegplaatsen vlakt deze helemaal af.

4.3.3.2 Simulatie met aanpassingen in het aantal beschikbare kadekranen

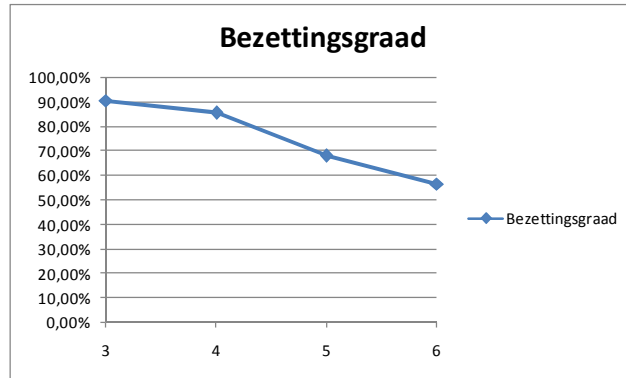
In de volgende simulaties wordt onderzocht in welke mate de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd evolueert naarmate het aantal beschikbare kadekranen verandert. Deze simulaties kunnen het terminalmanagement bijstaan bij de beslissing op korte termijn over een investering in verband met het aantal kadekranen. Zo kan per simulatie het aantal kadekranen veranderd worden tot het meest geschikte aantal kadekranen gevonden wordt.

Voor de volgende simulaties wordt het aantal aanlegplaatsen vastgelegd op dertig, dit aantal wordt ruim genoeg gekozen zodat zich hier geen problemen kunnen voordoen. Het aantal kadekranen varieert van drie tot en met zes. De bezettingsgraad van de kadekranen (figuur 25) en de gemiddelde geschatte wachttijd voor de kadekranen (figuur 26) worden berekend. De resultaten worden ook weergegeven in tabel 39. De rapporten zijn terug te vinden in bijlage 4.

Tabel 39: bezettingsgraad en geschatte wachttijd (in minuten) per aantal beschikbare kadekranen

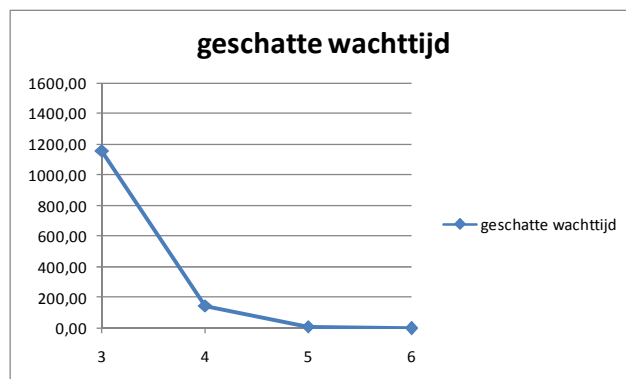
Kadekranen	bezettingsgraad	geschatte wachttijd
3	90,34%	1157,68
4	85,28%	146,48
5	67,74%	11,83
6	56,43%	0,00

Net zoals bij de aanlegplaatsen, neemt de bezettingsgraad geleidelijk af bij een toename van het aantal beschikbare kadekranen. Een knik is op te merken tussen de 4 en de 5 kadekranen. De grotere daling is te wijten aan het feit dat de twee types primaire schepen respectievelijk 2 en 3 kadekranen toegewezen krijgen (zie tabel 6 op pagina 50). Indien 5 kadekranen beschikbaar worden gesteld, kunnen deze twee types tegelijk behandeld worden, hierdoor is er ook niet zo een groot verschil tussen de bezettingsgraden bij 3 en 4 beschikbare kadekranen.



Figuur 25: bezettingsgraad per aantal beschikbare kadekranen

De gemiddelde geschatte wachttijd voor het toewijzen van de kadekranen aan de schepen volgt ook een duidelijke dalende curve. Zoals te zien op figuur 26 loopt de wachttijd hoog op indien slechts drie kadekranen beschikbaar zijn. Dit als gevolg van het feit dat scheepstype 2 van de primaire schepen op zich al drie kadekranen nodig heeft. De andere binnenvarende schepen moeten automatisch wachten. In tegenstelling tot de bezettingsgraad is bij de gemiddelde geschatte wachttijd wel een duidelijke knik op te merken tussen 3 en 4 beschikbare kadekranen, juist omdat er een extra kadekraan beschikbaar is wanneer op hetzelfde ogenblik een primair schip bediend wordt dat drie kadekranen nodig heeft. Vanaf 6 beschikbare kadekranen moeten de schepen, onder dit aankomst ritme en deze aankomstmix, niet meer wachten op een kadekraan en kan de losprocedure dadelijk beginnen.



Figuur 26: geschatte wachttijd (in minuten) per aantal beschikbare kadekranen

5 CONCLUSIES EN SUGGESTIES VOOR BIJKOMEND ONDERZOEK

5.1 Conclusies

Uit de literatuur blijkt dat simulatie veel wordt toegepast in het multimodale vervoer, zowel voor het transport over land en zee als voor de containerterminal zelf. Op de containerterminal wordt simulatie vooral toegepast voor procesverbeterende of procesevaluerende doeleinden. Procesverbeterende doeleinden houden zowel lange als korte termijn toepassingen in. De toepassingen van simulatie op lange termijn spitsen zich vooral toe op de uitbreiding van de terminal of de bouw van een nieuwe terminal. Op korte termijn worden de activiteiten, apart of samen met andere, op de terminal gesimuleerd om deze zo optimaal mogelijk te laten functioneren met de beschikbare middelen. De toepassingen van simulatie voor de evaluatie van een containerterminal komen voor op verschillende niveaus, van de operationele activiteiten op de terminal zelf tot de evaluatie van managementsystemen.

Het onderzoek stelt een illustratief model voor van een fictieve containerterminal. Het toont aan dat simulatie geschikt is om de efficiëntie vast te stellen van de werking op een containerterminal onder bepaalde omstandigheden en met een bepaald aantal beschikbare middelen. Uit de resultaten kunnen zowel voor aanpassingen in de externe als voor aanpassingen in de interne factoren de gevolgen voor de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd afgeleid worden.

De onderzochte externe factoren zijn het aankomstritme en de aankomstmix van de schepen. Uit de simulaties blijkt dat de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd over het algemeen stijgen bij een dalend aankomstritme (snellere opeenvolging van schepen) en bij een grotere aankomstmix van primaire en secundaire schepen (meer secundaire schepen op de tijdspanne dat één primair schip aankomt).

De simulaties van de aanpassingen in de interne factoren spitsen zich toe op de beschikbaarheid van het aantal aanlegplaatsen aan de kade en het aantal kadekranen. Voor beide gevallen blijkt dat een toename van het aantal beschikbare middelen een daling van de bezettingsgraad en van de geschatte wachttijd tot gevolg heeft. Voor zowel de aanlegplaatsen als de kadekranen vlakt deze daling in de bezettingsgraad en de geschatte wachttijd af na de uitbreiding tot een bepaald aantal beschikbare middelen.

5.2 Suggesties voor bijkomend onderzoek

Uit de resultaten blijkt dat simulatie wel degelijk een interessant instrument is om de efficiëntie van de werking op een containerterminal te bepalen. Het toegepaste model heeft echter beperkingen waardoor slechts een aantal factoren onderzocht kan worden. Indien van een volledig simulatiepakket gebruik gemaakt kan worden, kan de simulatie verder uitgebreid worden. Zo kunnen naast de los- en laadactiviteiten ook de opslagactiviteiten en het vervoer naar het hinterland gesimuleerd worden. Dit maakt het mogelijk de activiteiten met meer detail te onderzoeken en de werkelijkheid nog beter na te bootsen.

Lijst van geraadpleegde werken

Artikels

Ball, P. (1996) 'Introduction to Discrete-event Simulation', 2nd DYCOMANS workshop on 'Management and Control: Tools in Action', Algarve, Portugal, 15-17 mei, 367-376

Bielli, M., Boulmakoul, A. en Rida, M. (2006) 'Object Oriented Model for Container Terminal distributed Simulation', *European Journal of Operational Research*, 175, 1731-1751

Blümel, E. (ed) (1997) *Managing and Controlling Growing Harbour Terminals*, Society for Computer Simulation International

Bontempi, G., Gambardella, L. M. en Rizzoli, A. E. (1997) 'Simulation and Optimisation for Management of Intermodal Terminals', Kaylan, A.R., Lehmann, A. (eds) *Gaining Competitive Advantage Through Simulation Methodologies ESM '97 (Proceedings European Simulation Multiconference 1997)*, SCS International, Gent, België, 646-652

Briano, C., Briano, E. en Bruzzone, A. (2005) 'Models for Support Maritime Logistics : a Case Study for Improving Terminal Planning', *Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation*, Merkuriev, Y., Zobel, R., Kerckhoffs, E., ECMS, 2005, ISBN 1-84233-112-4 (set) / ISBN 1-84233-113-2 (CD)

Briskorn, D. en Hartmann, S. (2005) 'Simulating Dispatching Strategies for Automated Container Terminals', *Operations Research Proceedings 2005*, Springer, Berlijn

Bruzzone, A en Signorile, R. (1997) 'Genetic Algorithms and Simulation as Support for Planning a Port Terminal', *Proceedings of the 8th European Simulation Symposium*, 24-26 oktober, Society for Computer Simulation International, Genoa, Italië, 616-620

Bruzzone, A. en Signorile, R. (1998) 'Simulation and Genetic Algorithms for Ship Planning and Shipyard Layout', *Simulation*, 71:2, 74-83

Choi, Y. S. (2003) 'Simulator for Port Container Terminal using an Object-oriented Approach', *Working paper*, Pusan National University

Duinkerken, M. B. en Ottjes, J. A. (2000) 'A Simulation Model for Automated Container Terminals', *Proceedings of the Business and Industry Symposium (ASTC 2000)*, april 2000, Washington D.C., SCS, ISBN 1-56555-199-0

Dzielinski, A., Amborski, K., Kowalczyk, P. en Sukiennik, J. (2003) 'Simulation-based Approach to the Analysis of Logistics Processes at Gdansk Container Terminal', *Proceedings of HMS-2003 International Workshop on Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation*, 18-20 september, Riga, Litouwen

Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E. en Zaffalon, M. (1998) 'Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal', *Simulation*, 71:2, 107-116

Groenveld, R. en Wanders, S. (1999) 'Computer Simulation Model International Container Terminal Tanjung Perak, Surabaya, Indonesia', *Proceedings of the International Workshop Harbour, Maritime & Industrial Logistics, Modelling and Simulation*, 16-18 september, SCS, Genoa, Italië, 27-32

Günther, H. O. en Kim, K.H. (2006) 'Container Terminals and Terminal Operations', *OR Spectrum*, 28:4, 437-445

Hartmann, S. (2004) 'Generating Scenarios for Simulation and Optimization of Container Terminal Logistics', *OR Spectrum*, 26, 171-192

Hassan, S. A. (1993) 'Port Activity Simulation: an Overview', *ACM SIGSIM Simulation Digest*, 23:2, 17-36

Hayuth, Y., Pollatschek, M. A. en Roll, Y. (1994) 'Building a Port Simulator', *Simulation* 63:3, 179-189

Kia, M., Shayan, E. en Ghotb, F. (2002) 'Investigation of Port Capacity under a New Approach by Computer Simulation', *Computers & Industrial Engineering*, 42, 533-540

Legato, P. en Mazza, R.M. (2001) 'Berth Planning and Resources Optimisation at a Container Terminal via Discrete Event Simulation', *European Journal of Operational Research*, 133, 537-547

Mastrolilli, M., Fornara, N., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E. en Zaffalon, M. (1998) 'Simulation for Policy Evaluation, Planning and Decision Support in an Intermodal Container Terminal', Merkurjev, Y., Bruzzone, A., Novitsky, L. (eds) *Proceedings of the International Workshop 'Modeling and Simulation within a Maritime Environment*, 6-8 september, Society for Computer Simulation International, Riga, Litouwen, 33-38

Mastrolilli, M. en Gambardella, L.M. (1998) 'A Neighborhood Function for the Flexible Job Shop Problem', *Technical Report 10-98*, IDSIA, Lugano, Zwitserland

Merkurjev, Y., Bardatchenko, V., Solomennikov, A. en Kamperman F (2003) 'Simulation of Logistics Processes at the Baltic Container Terminal: Model Validation and Application', *Proceedings of the International Workshop on Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling and Simulation HMS-2003*. 18-20 september, Riga, Litouwen

Merkurjev, Y., Tolujew, J., Visipkov, V., Merkurjeva, G. en Kamperman, F. (2000) 'Simulation-based Analysis and Management of Logistics Processes at the Baltic Container Terminal', *Harbour*,

Maritime & Multimodal Logistics Modelling and Simulation HMS 2000, 5-7 oktober, Portofino Kulm Hotel, Portofino, Italië, 148-153

Paolucci, M. en Testa, S. (1999) 'Analysing a Container Terminal's Behaviour under Stressing Conditions by using Simulation', *Proceedings of the International Workshop Harbour, Maritime & Industrial Logistics, Modelling and Simulation*, 16-18 september, SCS, Genoa, Italië, 33-38

Parola, F. en Sciomachen, A. (2005) 'Intermodal Container Flows in a Port System Network: Analysis of Possible Growths via Simulation Models', *International Journal of Production Economics*, 97, 75-88

Ottjes, J. A., Duinkerken, M. B. en Evers, J. M. (1996) 'Robotised Inter Terminal Transport of Containers : a Simulation Study at the Rotterdam Port Area', *Proceedings of the 8th European Simulation Symposium (ESS 1996)*, oktober, Genua (SCS), ISBN 1-56555-099-4

Ramani, K.V. (1996) 'An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports', *Simulation*, 66:5, 291-300

Rizzoli, A. E., Gambardella L. M., Zaffalon M. en Mastrolilli M. (1999) 'Simulation for the evaluation of optimised operations policies in a container terminal', *HMS99: Maritime & Industrial Logistics Modelling and Simulation*, 16-18 september, Genoa, Italië

Saanen, Y.A., van Meel, J. en Verbraeck, A. (2003) 'The Design and Assessment of Next Generation Automated Container Terminals', *Proceedings of the 15th European Simulation Symposium 2003 - Simulation in Industry*, 26-29 oktober, Delft, Nederland (SCS), ISBN 3-936150-28-1, 577-584

Sgouridis, S.P. en Angelides, D.C. (2002) 'Simulation-based Analysis of Handling Inbound Containers in a Terminal', *Winter Simulation Conference*, 1716-1724

Shabayek, A.A. en Yeung, W.W. (2002) 'A Simulation Model for the Kwai Chung Container Terminals in Hong Kong', *European Journal of Operational Research*, 140, 1-11

Steenken, D., Voss, S. en Stahlbock, R. (2004) 'Container Terminal Operation and Operations Research', *OR Spectrum*, 26, 3-49

Thiers, G. F. en Janssens, G.K. (1998) 'A Port Simulation Model as a Permanent Decision Instrument', *Simulation*, 71:2, 117-125

Vis, I.F.A. en Harika, I. (2004) 'Comparison of Vehicle Types at an Automated Container Terminal', *OR Spectrum*, 26, 117-143

Yang, C.H., Choi, Y.S. en Ha, T.Y. (2004) 'Simulation-based Performance Evaluation of Transport Vehicles at Automated Container Terminals', *OR Spectrum*, 26, 149-170

Yun, W.Y. en Choi, Y.S (1999) 'A Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis using an Object-oriented Approach', *International Journal of Production Economics*, 59, 221-230

Boeken

Hillier, F.S. en Lieberman, G.J. (2001), *Introduction to Operations Research (7th edn)*, New York, The McGraw-Hill Companies, Inc

Kelton, W.D., Sadowski, R.P. en Sturrock, D.T. (2004), *Simulation with Arena ((3th edn)*, New York, The McGraw-Hill Companies, Inc

Websites

IBright Solutions (online) (geraadpleegd op 14 december 2006) Beschikbaar op <URL:<http://www.ibrightsolutions.co.uk/support/simulation/simulation.htm>>

Lijst van figuren

Figuur 1: ontwikkeling wereldwijde containeromzet in miljoen TEU (Günther en Kim, 2006).....	- 4 -
Figuur 2: werkzones op een containerterminal en de stroom van transport (Steenken et al., 2004)	- 6 -
Figuur 3: transport en bewerkingsketting van een container (Steenken et al., 2004).....	- 7 -
Figuur 4: de containerterminal van Surabaya (Groenveld en Wanders, 1999).....	- 14 -
Figuur 5: basisplan voor het simulatiemodel (Kia et al., 2002)	- 17 -
Figuur 6: de modulaire architectuur van het systeem (Bontempi et al., 1997)	- 24 -
Figuur 7: systeem hiërarchie (Yun en Choi, 1999)	- 27 -
Figuur 8: basisarchitectuur van het BCT simulatiemodel (Merkuryev et al., 2000).....	- 29 -
Figuur 9: ketting van resource units in het laagste niveau (Merkuryev et al., 2003)	- 30 -
Figuur 10: algemene structuur van het simulatiemodel (Sgouridis en Angelides, 2002)	- 31 -
Figuur 11: implementatie van processen aan de kadekranen in ARENA voor AGV's (Vis en Harika, 2004) ..	- 34 -
Figuur 12: implementatie van processen aan opslagcontainers in ARENA voor AGV's (Vis en Harika, 2004)	- 35 -
Figuur 13: implementatie van processen aan de kadekraan in ARENA voor ALV's (Vis en Harika, 2004).....	- 35 -
Figuur 14: implementatie van processen aan de opslagkranen in ARENA voor ALV's (Vis en Harika, 2004).	- 36 -
Figuur 15: vereiste aantal voertuigen voor een gegeven containerkraan productiviteit (Yang et al., 2004).	- 38 -
Figuur 16: simulatiemodules binnen elke maritieme containerterminal (Parola en Sciomachen, 2005)	- 41 -
Figuur 17: schip activiteitenproces (Legato en Mazza, 2001).....	- 46 -
Figuur 18: bezettingsgraad per aankomst ritme	- 66 -
Figuur 19: geschatte wachttijd (in minuten) per aankomst ritme	- 67 -
Figuur 20: bezettingsgraad per mix	- 69 -
Figuur 21: geschatte wachttijden voor primaire schepen	- 70 -
Figuur 22: geschatte wachttijden voor secundaire schepen	- 70 -
Figuur 23: bezettingsgraad per aantal beschikbare aanlegplaatsen	- 72 -
Figuur 24: geschatte wachttijd (in minuten) voor primaire en secundaire schepen per aantal beschikbare aanlegplaatsen	- 73 -
Figuur 25: bezettingsgraad per aantal beschikbare kadekranen	- 75 -
Figuur 26: geschatte wachttijd (in minuten) per aantal beschikbare kadekranen	- 75 -

Lijst van tabellen

Tabel 1: hypothesen voor toekomstige scenario's (Parola en Sciomachen,2005)	- 42 -
Tabel 2: overzichtstabel simulatietoepassingen	- 44 -
Tabel 3: gegevens van de 'create' modules.....	- 48 -
Tabel 4: aankomstverdeling scheepstypes van de primaire schepen.....	- 48 -
Tabel 5: aankomstverdeling scheepstypes van de secundaire schepen	- 48 -
Tabel 6: toewijzing van de middelen voor de verschillende scheepstypes.....	- 49 -
Tabel 7: aantal import- en exportcontainers per scheepstype.....	- 49 -
Tabel 8: prioriteit en triangulaire tijdsverdeling van de 'process' modules <i>schepen naar de aanlegplaatsen slepen</i>	- 50 -
Tabel 9: vereiste aantal middelen voor de schepen om aan te leggen.....	- 51 -
Tabel 10: gegevens van de 'process' module <i>aanlegplaatsen vrijgeven</i>	- 51 -
Tabel 11: aantal toegewezen kadekranen per schip	- 53 -
Tabel 12: aantal vereiste importkranen per container.....	- 53 -
Tabel 13: teller importkranen.....	- 54 -
Tabel 14: duplicatie van importcontainers.....	- 54 -
Tabel 15: teller importcontainers	- 54 -
Tabel 16: test importcontainers.....	- 55 -
Tabel 17: test importkranen.....	- 55 -
Tabel 18: gegevens van de 'hold' module <i>wachten tot importkranen vrij zijn</i>	- 55 -
Tabel 19: teller importkranen verminderen	- 55 -
Tabel 20: signaal om importkranen vrij te geven	- 56 -
Tabel 21: test opslag importcontainers.....	- 57 -
Tabel 22: bepaling van de scheepsrang	- 58 -
Tabel 23: bepaling van het scheepstype voor primaire schepen.....	- 58 -
Tabel 24: bepaling van het scheepstype voor secundaire schepen.....	- 58 -
Tabel 25: exportcontainers laten wachten tot importcontainers opgeslagen zijn.....	- 59 -
Tabel 26: signaal wanneer het vereiste aantal importcontainers opgeslagen is	- 59 -
Tabel 27: schepen laten wachten om te vertrekken tot ze geladen zijn.....	- 60 -
Tabel 28: teller exportcontainers	- 60 -
Tabel 29: test of het aantal vereiste exportcontainers bereikt is	- 61 -

Tabel 30: wachten om exportcontainers uit de yard te 'picken'	- 61 -
Tabel 31: signaal om exportcontainers uit de yard te 'picken'	- 61 -
Tabel 32: wachten tot exportkranen vrij zijn	- 62 -
Tabel 33: signaal om schepen te laten vertrekken	- 63 -
Tabel 34: beschikbare middelen op de terminal	- 65 -
Tabel 35: aankomst ritme per scenario	- 65 -
Tabel 36: aankomstmix en aankomst ritmes per scenario	- 68 -
Tabel 37: bezettingsgraad en geschatte wachttijd per mix	- 68 -
Tabel 38: bezettingsgraad en geschatte wachttijd (in minuten) per aantal beschikbare aanlegplaatsen	- 72 -
Tabel 39: bezettingsgraad en geschatte wachttijd (in minuten) per aantal beschikbare kadekranen	- 74 -

BIJLAGEN

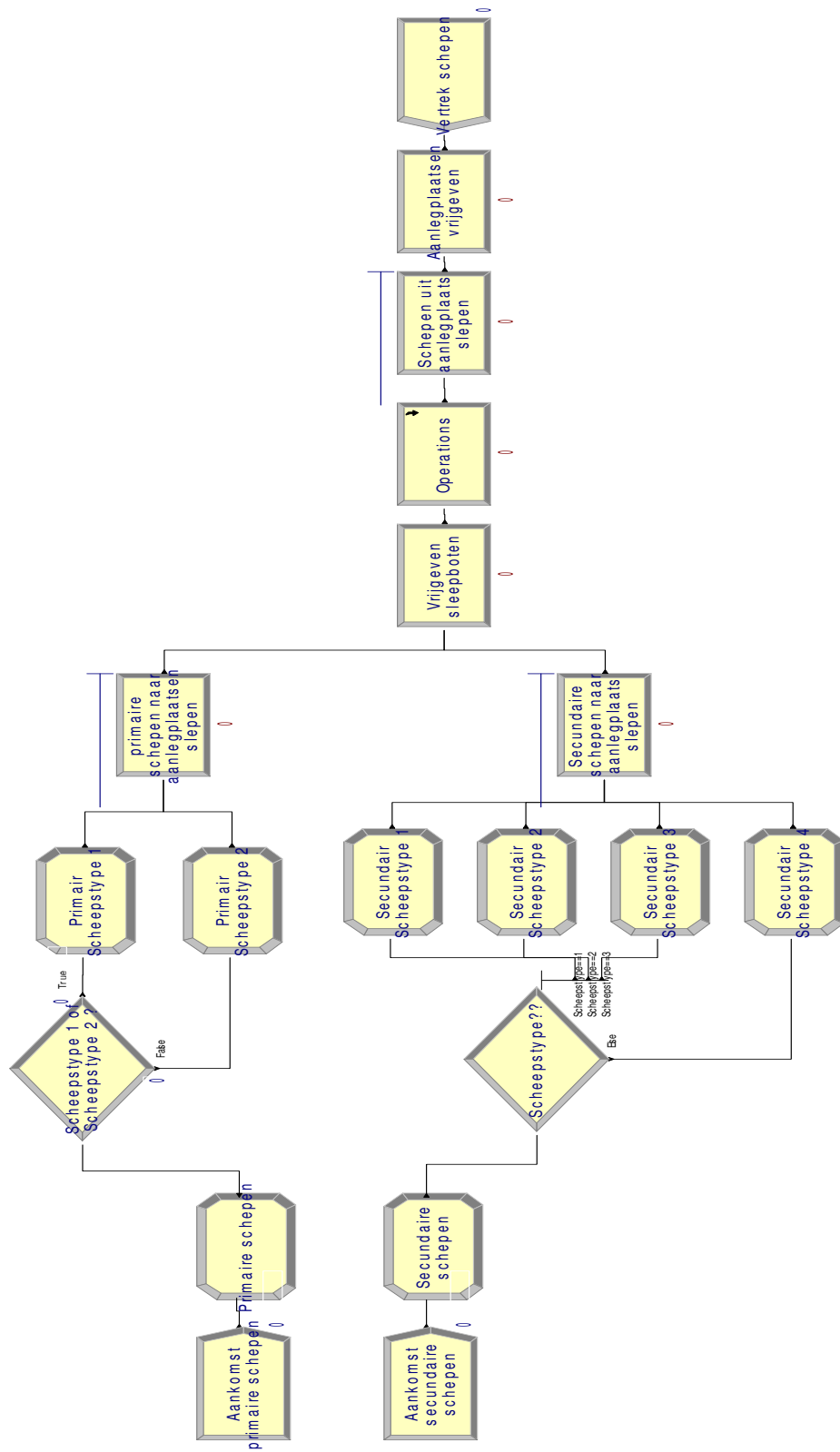
Bijlage 1: simulatiemodel op schipniveau

Bijlage 2: simulatiemodel op containerniveau – LOSPROCES

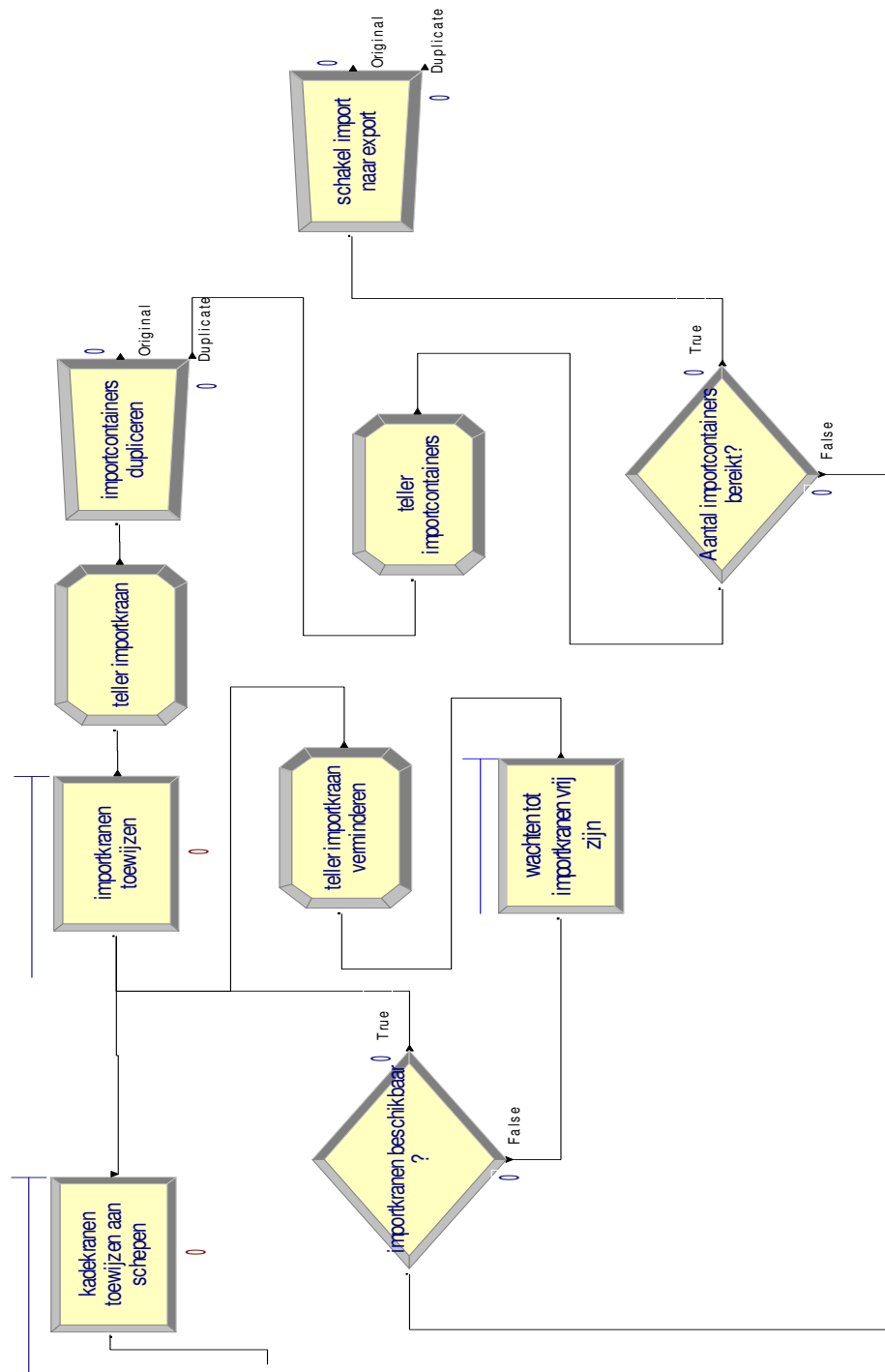
Bijlage 3: simulatiemodel op containerniveau – LAADPROCES

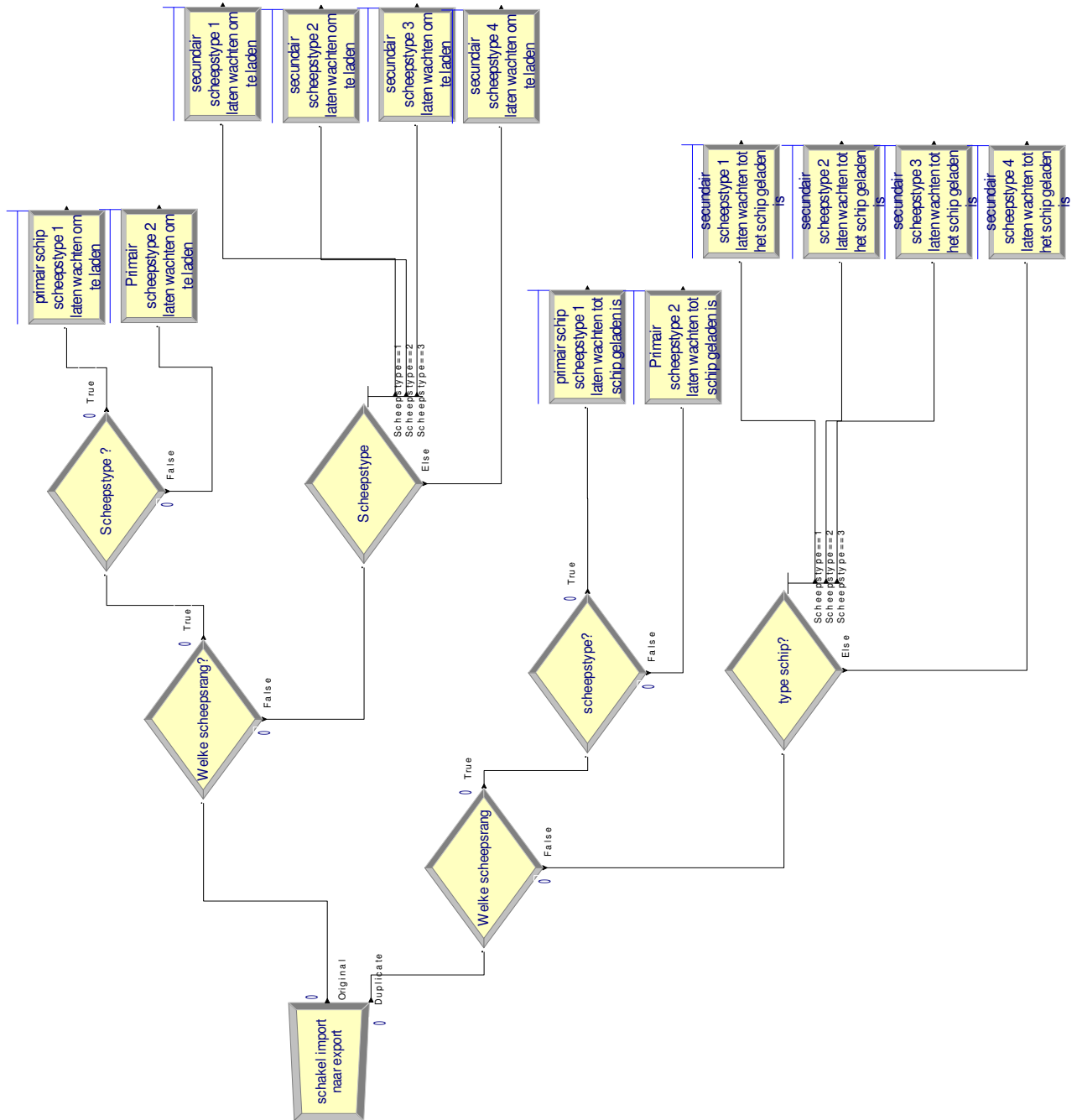
Bijlage 4: rapporten van het simulatiemodel

Bijlage 1: simulatiemodel op schipniveau

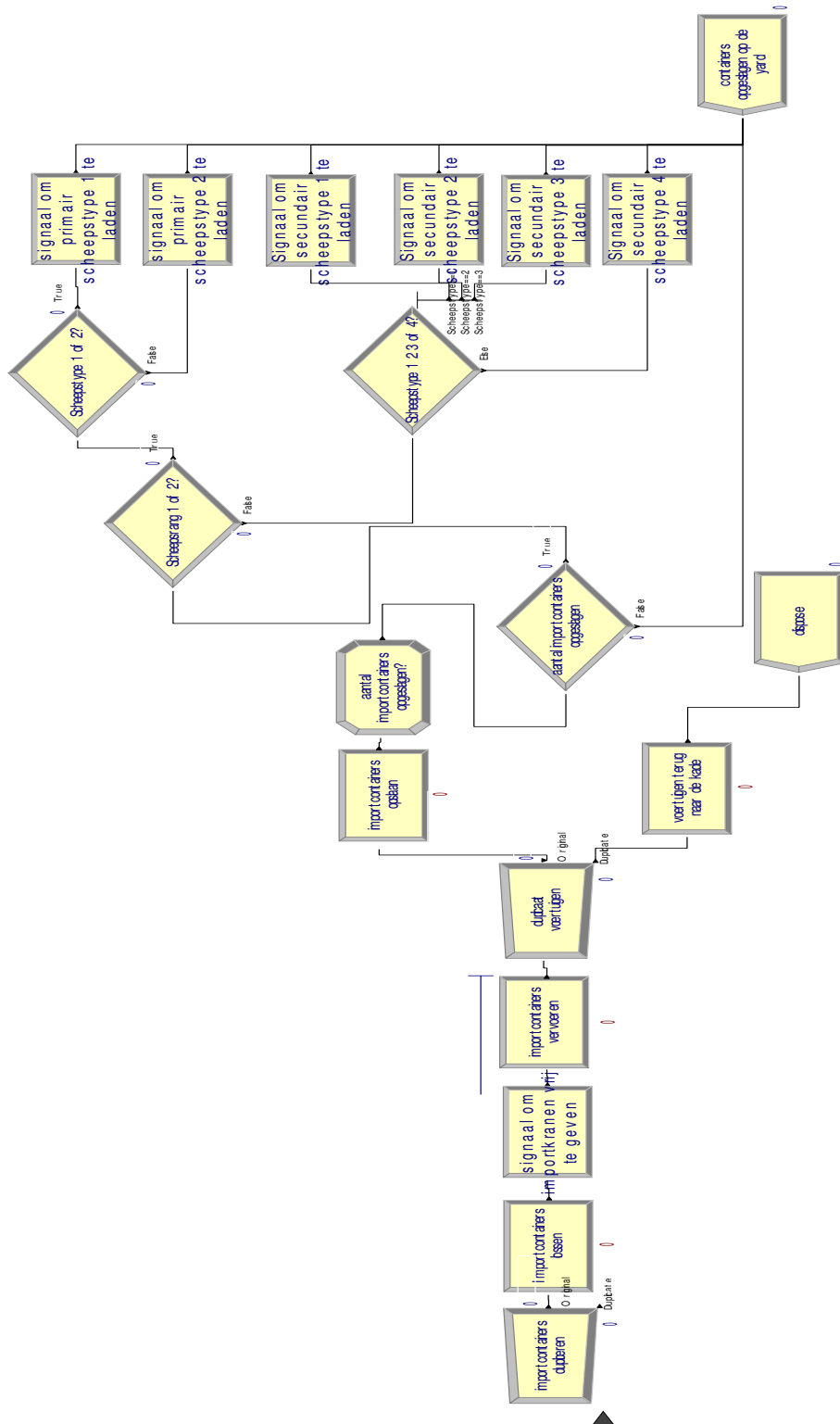


Begin submodel bij *kadekranen toewijzen aan schepen*

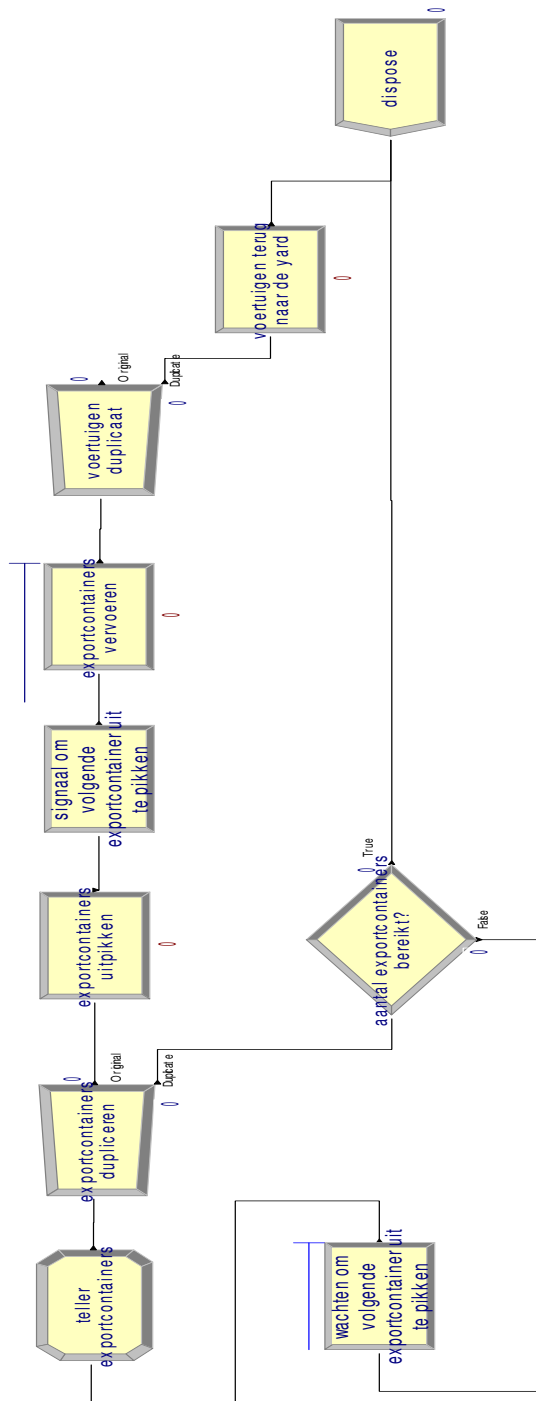


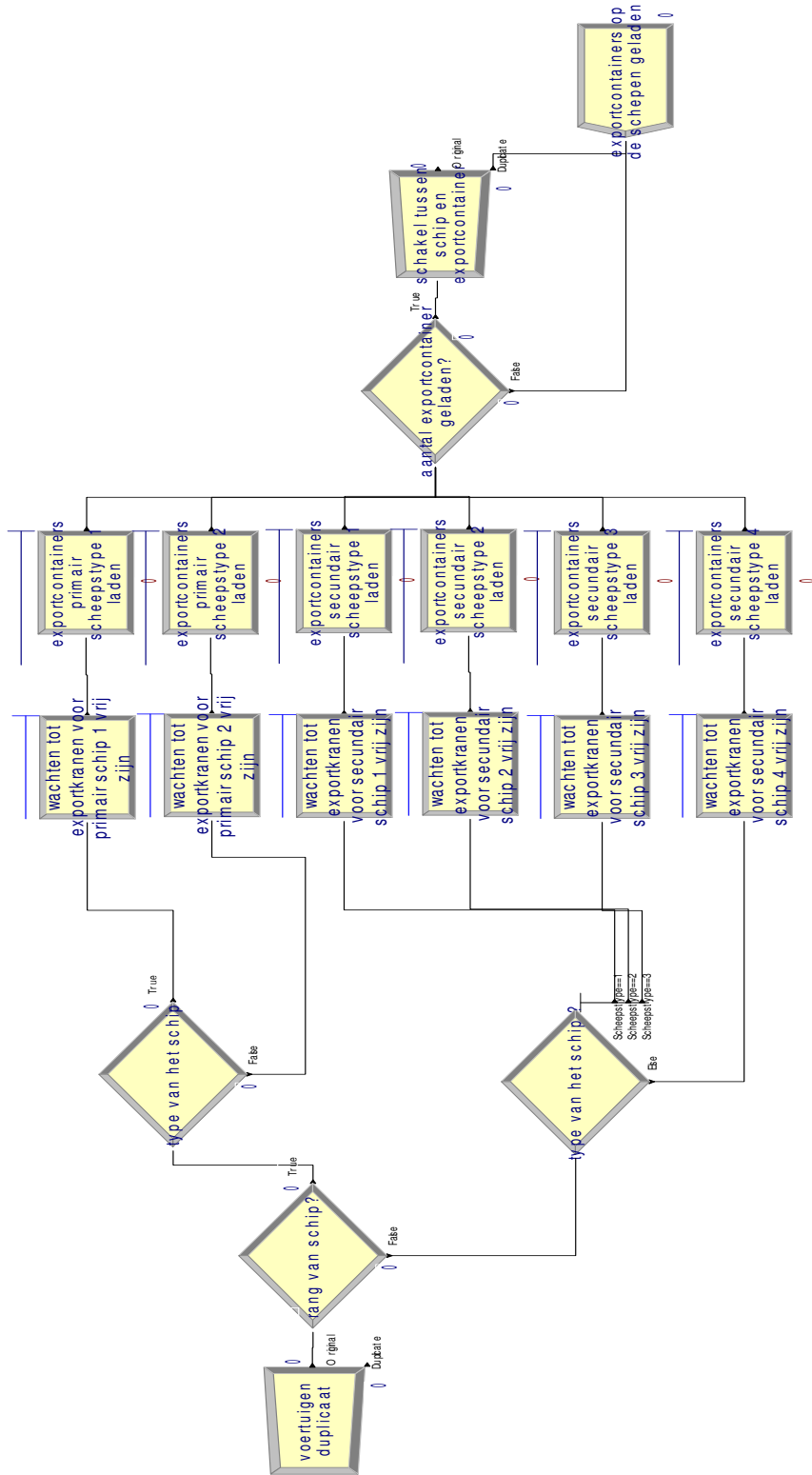


Vervolg na 'separate' module originele entiteit *importcontainers dupliceren* (deel 1) **Deel 3**



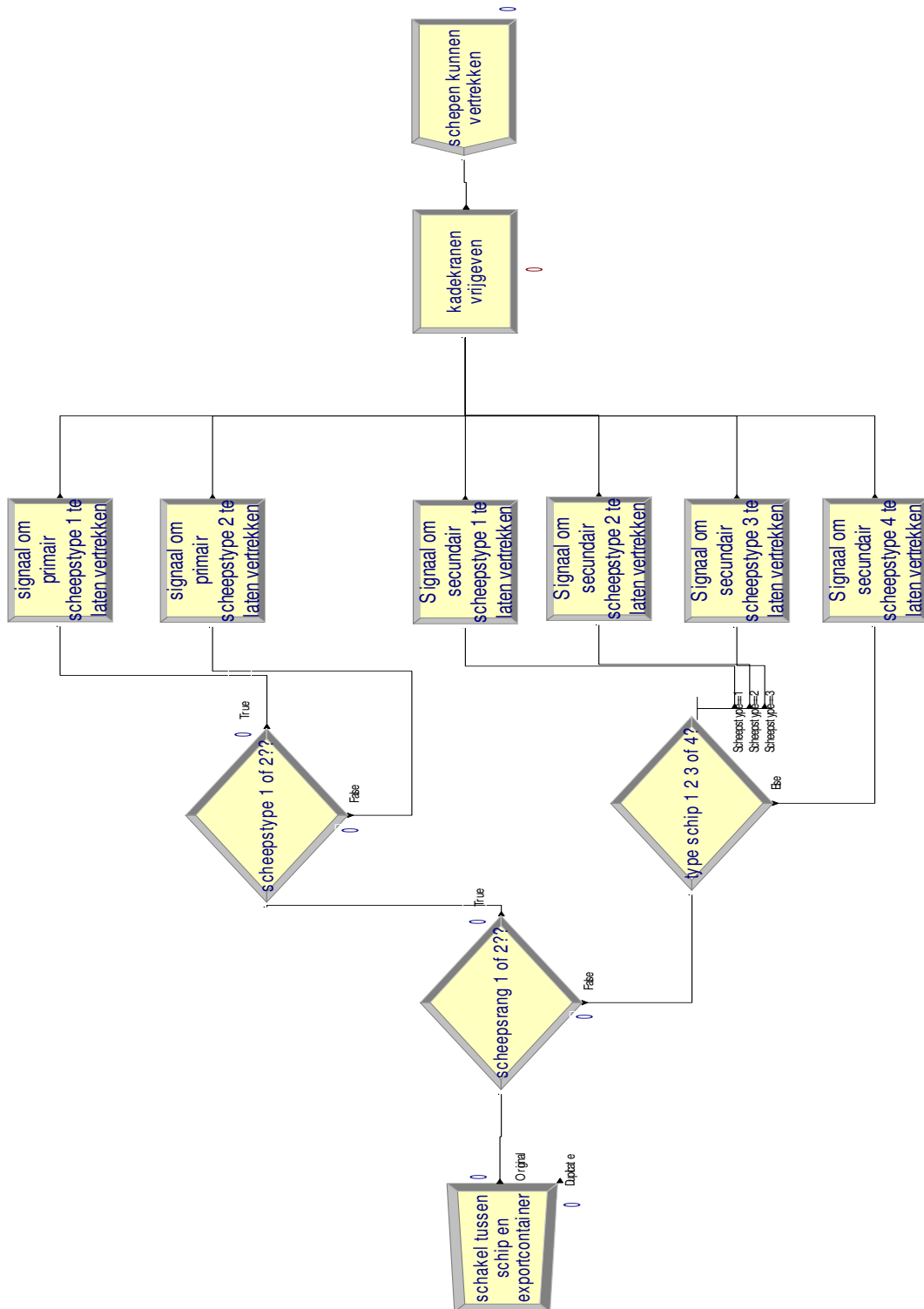
Laadproces begint bij 'assign' module *teller exportcontainers*





Vervolg 'separate' module originele entiteit
schakel tussen schip en exportcontainer

Deel 3



Bijlage 4: rapporten van de simulaties

Values Across All Replications

Mix 10-1 met aankomstrijtme 90-9

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Maximum	Minimum	Average	Half Width	Average
Waiting Time	Value	Value	Value		Value
Maximum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
schepen.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten	5.4266	5.2083	5.7480	0.25	5.0184
					5.7502

wachten om te laden.Queue	912.61	641,05	0.00	1232.62	0.00	1509.33
Primair scheepstype 2 laten wachten tot schip geladen is.Queue	5.5989	0,23	5.3334	5.8361	5.0070	6.1055
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	884.56	171,64	754.74	1058.99	477.58	1380.60
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	28.5461	22,84	0.00	41.9272	0.00	251.56
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5506	0,19	5.3115	5.7155	3.7074	6.1697
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	237.32	16,57	225.79	255.93	77.2795	354.97
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5901	0,02	5.5719	5.6070	4.8725	6.1941
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	306.67	17,18	285.47	318.39	121.33	507.12
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4737	0,11	5.3325	5.5723	4.5686	6.2011
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	452.21	40,28	400.97	480.96	178.85	672.65
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.6303	0,27	5.3960	5.8898	5.1626	5.9858
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	645.24	193,01	370.89	744.49	261.28	902.04
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	71.7862	42,28	21.9277	106.07	0.00	1292.32
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.6376	0,06	1.5593	1.6947	0.00004609	2.4969
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.8148	0,02	0.8005	0.8412	0.00000197	2.3361
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.4206	0.05	0.3541	0.4572	0.00	1.0000
#kadekranen	0.07600877	0.01	0.06339792	0.08349283	0.00	0.2000
#sleepboten	0.01132842	0.00	0.01035115	0.01224716	0.00	0.4000
#voertuigen	0.04701530	0.00	0.04258319	0.04948381	0.00	0.3200

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	8.4118	1.00	7.0822	9.1442	0.00	20.0000
#exportkranen	0.9115	0.07	0.8249	0.9769	0.00	7.0000
#importkranen	1.0329	0.09	0.9346	1.0965	0.00	7.0000
#kadekranen	1.5202	0.19	1.2680	1.6699	0.00	4.0000
#sleepboten	0.1133	0.01	0.1035	0.1225	0.00	4.0000
#voertuigen	2.3508	0.20	2.1292	2.4742	0.00	16.0000

Values Across All Replications

Mix 10-1 met aankomstrijtme 60-6

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0.00	0.00	0.00
scheep.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	4.3642	3.03	5.5747	5.6448
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	867.64	625.77	1230.43	1502.71

wachten tot schip geladen is.Queue										
primaair schip sloopstypetype 1 laten wachten om te laden.Queue	5.5028	0,18	5.3285	5.6415	5.0558	5.8796				
primaair schip sloopstypetype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	760.66	48,15	720.89	819.63	447.13	1391.98				
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	38.0007	35,85	3.3021	78.1956	0.00	435.17				
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00				
secundair sloopstypetype 1 laten wachten om te laden.Queue	5.5543	0,06	5.5118	5.6327	4.6110	6.2700				
secundair sloopstypetype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	233.07	8,42	224.61	240.81	84.0424	346.61				
secundair sloopstypetype 2 laten wachten om te laden.Queue	5.5359	0,15	5.4227	5.7359	1.8624	6.2996				
secundair sloopstypetype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	290.55	21,27	262.59	305.50	82.5665	499.63				
secundair sloopstypetype 3 laten wachten om te laden.Queue	5.6110	0,07	5.5312	5.6596	5.0418	6.1670				
secundair sloopstypetype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	429.11	26,47	392.38	443.92	147.80	623.56				
secundair sloopstypetype 4 laten wachten om te laden.Queue	4.4039	3,07	0.00	5.8128	0.00	6.0008				
secundair sloopstypetype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	565.63	413,06	0.00	829.60	0.00	956.81				
Secundaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	157.02	73,78	84.4077	236.05	0.00	1814.37				
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	1.5568	0,05	1.5132	1.6173	0.00003124	2.4967				
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue	0.7918	0,01	0.7757	0.8029	0.00000237	2.3281				

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	0.5703	0,06	0.4959	0.6133	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1010	0,01	0.08582374	0.1081	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.01644489	0,00	0.01487101	0.01768193	0.00	0.5000
#voertuigen	0.06648871	0,01	0.05958787	0.07114330	0.00	0.3400

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	11.4055	1,20	9.9184	12.2668	0.00	20.0000
#exportkranen	1.3108	0,12	1.1870	1.3913	0.00	8.0000
#importkranen	1.4369	0,14	1.2749	1.5499	0.00	7.0000
#kadekranen	2.0200	0,23	1.7165	2.1616	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.1644	0,02	0.1487	0.1768	0.00	5.0000
#voertuigen	3.3244	0,32	2.9794	3.5572	0.00	17.0000

Values Across All Replications

Mix 10-1 met aankomstrijtme 40-4

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time				
Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0,00	0.00	0.00
scheep.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	4.3642	3,03	0.00	5.5747
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	867.64	625,77	0.00	1230.43
				5.6448
				1502.71

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5028	0,18	5.3285	5.6415	5.0558	5.8796
primair schip sloopstypetype 1 laten wachten om te laden.Queue	760.66	48,15	720.89	819.63	447.13	1391.98
primair schip sloopstypetype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	1092.41	35,85	3.3021	78.1956	0.00	3511.91
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5543	0,06	5.5118	5.6327	4.6110	6.2700
secundair sloopstypetype 1 laten wachten om te laden.Queue	233.07	8,42	224.61	240.81	84.0424	346.61
secundair sloopstypetype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5359	0,15	5.4227	5.7359	1.8624	6.2996
secundair sloopstypetype 2 laten wachten om te laden.Queue	290.55	21,27	262.59	305.50	82.5665	499.63
secundair sloopstypetype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.6110	0,07	5.5312	5.6596	5.0418	6.1670
secundair sloopstypetype 3 laten wachten om te laden.Queue	429.11	26,47	392.38	443.92	147.80	623.56
secundair sloopstypetype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	4.4039	3,07	0.00	5.8128	0.00	6.0008
secundair sloopstypetype 4 laten wachten om te laden.Queue	565.63	413,06	0.00	829.60	0.00	956.81
secundair sloopstypetype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	1474.08	73,78	84.4077	236.05	0.00	4456,23
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.5568	0,05	1.5132	1.6173	0.00003124	2.4967
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7918	0,01	0.7757	0.8029	0.00000237	2.3281
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.8303	0,06	0.4959	0.6133	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1010	0,01	0.08582374	0.1081	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.01644489	0,00	0.01487101	0.01768193	0.00	0.5000
#voertuigen	0.06648871	0,01	0.05958787	0.07114330	0.00	0.3400

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	16.6049	1,20	9.9184	12.2668	0.00	20.0000
#exportkranen	1.3108	0,12	1.1870	1.3913	0.00	8.0000
#importkranen	1.4369	0,14	1.2749	1.5499	0.00	7.0000
#kadekranen	2.0200	0,23	1.7165	2.1616	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.1644	0,02	0.1487	0.1768	0.00	5.0000
#voertuigen	3.3244	0,32	2.9794	3.5572	0.00	17.0000

Values Across All Replications

Mix 15-1 met aankomsttime 135-9

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Time				
Waiting Time				
Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue				
kadekranen toewijzen aan	0.00	0.00	0.00	0.00
schepen.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	4.1895	2.91	5.5124	5.7347
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	831.09	580.94	1094.01	1296.22

wachten tot schip geladen is.Queue	5.6735	0,49	5.2886	6.3413	5.1265	6.3413	6.3413
primaïr schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	930.59	324,69	689.00	1282.01	477.58	1401.48	
primaïr schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	14.5648	40,43	0.00	72.8239	0.00	291.30	
primaïre schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.6112	0,06	5.5721	5.6855	4.7522	6.3535	
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	235.90	21,51	211.34	251.88	76.6825	352.36	
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.6213	0,06	5.5685	5.6961	4.8391	6.4500	
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	299.47	18,43	279.79	319.89	121.33	499.29	
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5491	0,04	5.5089	5.5936	4.9558	6.2861	
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	453.05	36,67	413.19	479.46	228.74	677.12	
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.8581	0,34	5.4397	6.1834	4.9350	6.1834	
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	694.29	133,72	506.74	767.39	506.74	926.49	
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	78.9069	39,75	55.3998	130.77	0.00	1141.86	
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.6688	0,10	1.5742	1.7726	0.00000121	2.4915	
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.8408	0,03	0.8110	0.8579	0.00000748	2.2957	
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue							

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.4073	0,05	0.3414	0.4413	0.00	1.0000
#kadekranen	0.07105788	0,00	0.06541433	0.07521818	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.01190233	0,00	0.00926023	0.01380795	0.00	0.5000
#voertuigen	0.04535901	0,01	0.03638214	0.05115685	0.00	0.3200

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	8.1455	0,99	6.8275	8.8264	0.00	20.0000
#exportkranen	0.8996	0,13	0.7340	1.0157	0.00	7.0000
#importkranen	0.9747	0,16	0.7703	1.1008	0.00	7.0000
#kadekranen	1.4212	0,10	1.3083	1.5044	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.1190	0,02	0.0926	0.1381	0.00	5.0000
#voertuigen	2.2680	0,35	1.8191	2.5578	0.00	16.0000

Values Across All Replications

Mix 15-1 met aankomsttime 90-6

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0,00	0.00	0.00
schepen.Queue	4.5064	3,13	0.00	5.7888
Primair scheepstype 2 laten	994.89	740,48	0.00	1502.71
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten				

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5797	0,26	5.3684	5.8569	4.9345	6.1326
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	717.03	96,61	619.91	796.58	444.46	915.82
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	73.6737	76,19	0.00	131.94	0.00	786.80
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5948	0,09	5.5078	5.6945	4.9593	6.4503
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	236.04	7,11	227.65	243.68	75.9146	357.41
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4991	0,08	5.4026	5.5731	1.4319	6.3254
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	297.89	9,41	287.52	307.31	133.68	441.06
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.6153	0,16	5.3912	5.7099	2.6469	6.2991
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	428.28	19,99	408.89	443.72	188.88	696.89
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.3080	0,11	5.1843	5.3958	4.8431	5.8711
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	554.00	99,92	468.84	667.89	390.16	797.74
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	93.0527	66,56	40.9731	163.18	0.00	1000.68
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.5828	0,04	1.5263	1.6194	0.00006367	2.4936
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.8163	0,01	0.8043	0.8299	0.00000336	2.3079
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.5384	0,06	0.4885	0.5909	0.00	1.0000
#kadekranen	0.0917	0,01	0.08350163	0.1001	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.01637604	0,00	0.01466756	0.01833857	0.00	0.5000
#voertuigen	0.06357122	0,01	0.05694887	0.07095967	0.00	0.3600

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	10.7684	1,18	9.7703	11.8175	0.00	20.0000
#exportkranen	1.2534	0,17	1.1119	1.3949	0.00	9.0000
#importkranen	1.3730	0,16	1.2407	1.5421	0.00	9.0000
#kadekranen	1.8330	0,17	1.6700	2.0028	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.1638	0,02	0.1467	0.1834	0.00	5.0000
#voertuigen	3.1786	0,40	2.8474	3.5480	0.00	18.0000

Values Across All Replications

Mix 15-1 met aankomsttime 60-4

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Maximum	Minimum	Maximum
Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00
scheeptype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00
scheeptype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00
scheeptype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00
scheeptype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00
scheeptype 3 laden.Queue	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00
scheeptype 4 laden.Queue	0.00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0.00	0.00
scheep.Queue	5.6314	0.41	6.1308
Primair scheeptype 2 laten	1021.95	159.96	1206.63
wachten om te laden.Queue			
Primair scheeptype 2 laten			

5.0612 855.14 1206.63

6.1308 874.34 874.34

6.1308 855.14 1206.63

6.1308 874.34 874.34

5.6314 1021.95 1206.63

6.1308 855.14 1206.63

6.1308 874.34 874.34

6.1308 855.14 1206.63

wachten tot schip geladen is.Queue	5.6277	0,12	5.4980	5.7343	4.9767	6.2190
primaair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	705.81	46,10	649.50	752.65	409.64	1040.70
primaair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	289.83	325,58	105.23	744.75	0.00	2288.37
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5401	0,05	5.5072	5.5962	0.4670	6.4755
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	229.31	12,98	213.65	237.94	75.9046	357.30
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5306	0,09	5.4421	5.5985	0.5293	6.3716
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	290.90	17,92	278.94	315.11	76.8229	465.36
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5523	0,07	5.4806	5.6423	3.7558	6.2842
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	407.90	19,11	382.23	420.56	153.46	647.45
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.6576	0,22	5.4802	5.9341	5.0130	6.1842
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	566.69	93,11	473.36	669.54	304.02	950.34
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	611.40	485,65	164.96	1117.88	0.00	2804.41
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.5256	0,05	1.4880	1.5832	0.00005705	2.4964
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7885	0,02	0.7695	0.8046	0.00000495	2.3064
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.7762	0,09	0.6588	0.8515	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1313	0,01	0.1118	0.1417	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.02448914	0,00	0.02048728	0.02731363	0.00	0.5000
#voertuigen	0.0939	0,01	0.07958290	0.1043	0.00	0.3600

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	15.5242	1,82	13.1762	17.0302	0.00	20.0000
#exportkranen	1.8658	0,24	1.5736	2.1151	0.00	9.0000
#importkranen	2.0168	0,23	1.7161	2.1957	0.00	9.0000
#kadekranen	2.6253	0,29	2.2360	2.8331	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.2449	0,03	0.2049	0.2731	0.00	5.0000
#voertuigen	4.6961	0,56	3.9791	5.2137	0.00	18.0000

Mix 8-1 met aankomstrijtme 72-9

Values Across All Replications

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0,00	0.00	0.00
scheep.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	4.5685	3,19	6.0805	6.3397
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	784.21	625,34	1399.31	1533.60

wachten tot schip geladen is.Queue	5.4970	0,22	5.3395	5.7589	4.9643	6.0408
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	893.09	112,91	790.90	1014.74	477.58	1246.04
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	55.6272	66,06	0.00	108.68	0.00	760.75
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5097	0,17	5.3337	5.6393	1.5082	6.2262
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	239.26	30,68	213.53	276.09	69.2615	337.10
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4400	0,14	5.2560	5.5390	1.4274	6.3172
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	289.10	20,13	269.82	312.49	92.1855	497.76
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4659	0,15	5.2902	5.5789	3.9425	6.3365
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	485.87	33,65	445.71	515.43	279.29	669.75
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5774	0,31	5.1922	5.8695	5.1662	6.1766
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	609.03	104,49	516.60	706.54	403.52	816.17
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	71.7258	61,86	24.2020	135.22	0.00	1033.80
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.5751	0,09	1.4771	1.6709	0.00001020	2.4957
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7920	0,03	0.7641	0.8193	0.00005299	2.3270
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	0.4269	0,07	0.3797	0.5024	0.00	1.0000
#kadekranen	0.07834508	0,01	0.06966071	0.0911	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.01134615	0,00	0.00972654	0.01353993	0.00	0.5000
#voertuigen	0.04878158	0,01	0.04319478	0.05649961	0.00	0.3200

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	8.5390	1,33	7.5935	10.0470	0.00	20.0000
#exportkranen	0.9565	0,17	0.8364	1.1339	0.00	8.0000
#importkranen	1.0604	0,15	0.9254	1.2014	0.00	7.0000
#kadekranen	1.5669	0,22	1.3932	1.8218	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.1135	0,02	0.0973	0.1354	0.00	5.0000
#voertuigen	2.4391	0,38	2.1597	2.8250	0.00	16.0000

Mix 8-1 met aankomstrijtme 48-6

Values Across All Replications

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Time				
Waiting Time				
Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0,00	0.00	0.00
schepen.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	5.4769	0,17	5.2760	5.6672
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	995.78	213,06	852.40	1204.09
			681.39	1502.71

wachten tot schip geladen is.Queue	5.6238	0,14	5.4463	5.7362	5.2543	6.0027
primaair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	745.92	118,38	607.63	869.35	408.57	1070.90
primaair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	141.07	141,42	31.4529	333.66	0.00	1732.04
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5616	0,07	5.5065	5.6406	4.9115	6.2104
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	231.21	21,63	211.44	258.61	67.8704	343.91
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4796	0,09	5.3953	5.5765	0.2937	6.3147
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	296.68	17,18	283.07	317.24	114.71	485.97
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4849	0,23	5.1699	5.6359	0.4789	6.1725
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	432.22	21,48	413.34	458.98	202.00	680.92
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.6641	0,60	4.8953	6.1868	1.2110	6.1868
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	475.68	152,50	328.58	604.80	267.22	797.74
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	262.79	198,79	90.6580	451.49	0.00	1798.89
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.5056	0,06	1.4735	1.5845	0.00000863	2.4996
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7777	0,01	0.7672	0.7876	0.00002829	2.3187
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.6646	0,05	0.6116	0.7204	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1188	0,01	0.1115	0.1290	0.00	0.2000
#sleeptboten	0.01918765	0,00	0.01802372	0.02068608	0.00	0.5000
#voertuigen	0.07972422	0,01	0.07485097	0.08598679	0.00	0.3400

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	13.2925	1,07	12.2317	14.4081	0.00	20.0000
#exportkranen	1.5703	0,11	1.4920	1.7216	0.00	9.0000
#importkranen	1.7246	0,10	1.6031	1.8327	0.00	9.0000
#kadekranen	2.3767	0,19	2.2301	2.5808	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.1919	0,01	0.1802	0.2069	0.00	5.0000
#voertuigen	3.9862	0,25	3.7425	4.2993	0.00	17.0000

Mix 8-1 met aankomstrijtme 32-4

Values Across All Replications

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan				
schepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten	5.5594	0,09	5.4757	6.2237
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	1066.47	86,34	1006.13	1513.56

wachten tot schip geladen									
is.Queue									
primair schip scheepstype 1	5.6180	0,15	5.4610	5.8047	4.6969	6.4427			
laten wachten om te laden.Queue									
primair schip scheepstype 1	767.21	181,37	610.71	1007.36	396.37	1407.66			
laten wachten tot schip geladen is.Queue									

primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	1194.72	829,01	574.58	2308.59	0.00	7865.08			
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00			
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	5.5028	0,05	5.4666	5.5613	2.3615	6.3408			
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	222.45	14,88	207.41	240.14	61.9857	356.88			
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	5.5124	0,14	5.3281	5.5962	0.7688	6.2446			
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	286.99	5,61	283.70	294.41	113.88	469.54			
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	5.5540	0,07	5.4801	5.6320	1.1540	6.5550			
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	384.41	32,52	356.72	417.09	155.42	630.62			
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	5.5516	0,25	5.2751	5.7966	5.0780	6.3619			
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	551.54	91,50	435.66	610.12	319.76	816.17			
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1956.48	897,09	925.27	2683.96	0.00	7081.20			
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	1.4761	0,07	1.4143	1.5626	0.00005820	2.4962			
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue	0.7298	0,02	0.6941	0.7419	0.00002665	2.3337			

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.8499	0,04	0.8199	0.8923	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1587	0,01	0.1507	0.1681	0.00	0.2500
#sleeptboten	0.02434607	0,00	0.02339071	0.02594257	0.00	0.5000
#voertuigen	0.1030	0,00	0.0995	0.1077	0.00	0.3800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	16.9974	0,78	16.3979	17.8462	0.00	20.0000
#exportkranen	2.0083	0,08	1.9488	2.1039	0.00	9.0000
#importkranen	2.2512	0,11	2.1609	2.3490	0.00	9.0000
#kadekranen	3.1732	0,20	3.0138	3.3618	0.00	5.0000
#sleeptboten	0.2435	0,01	0.2339	0.2594	0.00	5.0000
#voertuigen	5.1523	0,22	4.9737	5.3846	0.00	19.0000

Values Across All Replications

25 aanlegplaatsen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan				
scheep.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten	5.5843	0,12	5.4526	6.2495
wachten om te laden.Queue	822.25	51,31	768.15	1190.78
Primair scheepstype 2 laten				

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5430	0,15	5.3525	5.6424	4.7159	6.3025
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	658.69	53,92	588.72	695.67	390.60	1081.85
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	123.72	91,47	60.4033	241.94	0.00	835.00
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.4110	0,21	5.1552	5.5786	0.4472	6.3724
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	218.67	12,08	211.15	235.20	58.7871	355.45
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4643	0,15	5.3205	5.5858	0.2370	6.1654
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	268.37	12,78	252.27	279.54	72.6485	450.41
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5080	0,12	5.3570	5.5861	0.9773	6.1379
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	392.77	22,82	370.41	416.37	152.33	639.57
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5494	0,08	5.4745	5.6503	4.8667	6.1542
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	492.83	117,48	393.02	597.45	183.21	752.46
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	190.50	128,13	63.0189	346.60	0.00	1416.33
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.3282	0,03	1.2961	1.3535	0.00000355	2.4974
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7007	0,01	0.6936	0.7083	0.00000159	2.3186
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	0.7345	0,05	0.6685	0.7770	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1713	0,01	0.1587	0.1791	0.00	0.3000
#sleeptboten	0.02769071	0,00	0.02420686	0.02947347	0.00	0.6000
#voertuigen	0.1192	0,01	0.1082	0.1261	0.00	0.4800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	18.3626	1,31	16.7119	19.4247	0.00	25.0000
#exportkranen	2.3439	0,19	2.0920	2.4827	0.00	12.0000
#importkranen	2.5833	0,16	2.3803	2.7250	0.00	10.0000
#kadekranen	3.4253	0,19	3.1738	3.5825	0.00	6.0000
#sleeptboten	0.2769	0,03	0.2421	0.2947	0.00	6.0000
#voertuigen	5.9621	0,43	5.4109	6.3050	0.00	24.0000

Values Across All Replications

30 aanlegplaatsen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan				
schepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten	5.4617	0,07	5.3843	5.9734
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	786.64	103,48	661.84	1572.29

wachten tot schip geladen is.Queue										
primair schip sloopstijpe 1 laten wachten om te laden.Queue	5.6042	0,07	5.5146	5.6616	4.9948	6.2171				
primair schip sloopstijpe 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	689.22	71,37	604.50	766.53	369.34	1153.36				
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	57.6288	29,85	24.3702	89.6735	0.00	465.02				
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00				
secundair sloopstijpe 1 laten wachten om te laden.Queue	5.5743	0,07	5.5049	5.6476	4.7972	6.5342				
secundair sloopstijpe 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	214.42	12,40	200.35	227.92	69.2256	358.17				
secundair sloopstijpe 2 laten wachten om te laden.Queue	5.4601	0,11	5.3535	5.5783	0.3342	6.4168				
secundair sloopstijpe 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	274.83	13,93	259.23	289.12	45.3798	442.11				
secundair sloopstijpe 3 laten wachten om te laden.Queue	5.5828	0,07	5.5424	5.6705	4.7897	6.3302				
secundair sloopstijpe 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	402.80	20,87	379.03	421.18	131.07	693.51				
secundair sloopstijpe 4 laten wachten om te laden.Queue	5.5875	0,17	5.4050	5.7562	5.0185	6.1195				
secundair sloopstijpe 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	490.03	80,16	397.74	559.27	247.96	817.63				
Secundaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	57.5900	19,17	34.4301	74.7993	0.00	923.74				
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	1.3491	0,03	1.3076	1.3800	0.00000355	2.4954				
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue	0.7019	0,01	0.6892	0.7122	0.00000240	2.3198				

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	0.6136	0,04	0.5658	0.6484	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1693	0,01	0.1622	0.1747	0.00	0.3000
#sleeptboten	0.02763348	0,00	0.02483223	0.03028782	0.00	0.6000
#voertuigen	0.1193	0,01	0.1088	0.1283	0.00	0.4800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value
Half Width
Average

#aanlegplaatsen	18.4075	1,30	16.9734	19.4513	0.00	30.0000
#exportkranen	2.3379	0,20	2.1345	2.5055	0.00	13.0000
#importkranen	2.5938	0,23	2.3635	2.7988	0.00	11.0000
#kadekranen	3.3861	0,14	3.2436	3.4941	0.00	6.0000
#sleeptboten	0.2763	0,03	0.2483	0.3029	0.00	6.0000
#voertuigen	5.9639	0,52	5.4380	6.4170	0.00	24.0000

Values Across All Replications

35 aanlegplaatsen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan	0.00	0,00	0.00	0.00
schepen.Queue	5.5614	0,12	5.4787	6.1546
Primair scheepstype 2 laten	756.19	172,11	604.90	1575.86
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten				

wachten tot schip geladen is.Queue								
primaire schepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	5.5929	0,07	5.5437	5.6875	4.7096	6.1975		
primaire schepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	640.29	71,42	595.14	724.26	272.05	1161.96		
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	20.0288	24,01	0.00	45.9292	0.00	482.85		
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00		
secundair schepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	5.4739	0,12	5.3415	5.5969	0.9721	6.2480		
secundair schepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	207.03	8,42	202.31	218.40	55.6407	355.59		
secundair schepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	5.4344	0,10	5.3389	5.5448	0.3342	6.3961		
secundair schepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	263.68	12,86	249.69	276.44	92.3233	480.21		
secundair schepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	5.5246	0,09	5.4010	5.5879	2.9370	6.2533		
secundair schepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	384.73	50,41	328.91	441.38	117.33	609.02		
secundair schepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	5.6373	0,15	5.4736	5.7724	5.1323	6.4543		
secundair schepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	584.19	89,75	496.72	696.75	239.51	849.89		
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	28.8456	10,40	15.6836	38.7096	0.00	540.10		
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	1.2895	0,03	1.2450	1.3072	0.00000355	2.4989		
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue	0.6757	0,01	0.6619	0.6878	0.00000131	2.3136		

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.5067	0,05	0.4672	0.5613	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1630	0,01	0.1543	0.1747	0.00	0.3500
#sleeptboten	0.02732966	0,00	0.02339933	0.03087398	0.00	0.7000
#voertuigen	0.1184	0,01	0.1052	0.1305	0.00	0.5400

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	17.7338	1,59	16.3536	19.6471	0.00	35.0000
#exportkranen	2.3374	0,24	2.0627	2.5740	0.00	14.0000
#importkranen	2.5581	0,24	2.2903	2.8214	0.00	13.0000
#kadekranen	3.2608	0,20	3.0852	3.4936	0.00	7.0000
#sleeptboten	0.2733	0,03	0.2340	0.3087	0.00	7.0000
#voertuigen	5.9209	0,58	5.2623	6.5269	0.00	27.0000

Values Across All Replications

40 aanlegplaatsen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan				
schepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten	5.5734	0,14	5.4328	6.2223
wachten om te laden.Queue				
Primair scheepstype 2 laten	725.17	56,63	681.21	1573.55

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5757	0,05	5.5187	5.6209	4.8783	6.0829
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	656.79	83,87	555.05	733.93	218.59	1122.12
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	7.0682	10,21	0.00	16.9177	0.00	294.17
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5567	0,12	5.4142	5.6748	1.6093	6.3543
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	212.91	10,99	204.77	224.42	42.6102	350.71
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4688	0,14	5.3069	5.6078	0.2729	6.4424
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	259.54	11,20	251.04	274.69	47.5969	497.44
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4870	0,25	5.1530	5.6602	1.4828	6.1656
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	395.79	10,94	383.15	406.22	135.56	692.35
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5518	0,05	5.5007	5.5871	4.8657	6.1048
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	454.91	85,34	345.74	520.18	143.88	867.90
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	9.4265	5,23	5.3086	15.3856	0.00	415.84
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.2965	0,05	1.2688	1.3653	0.00000355	2.4991
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.6789	0,03	0.6423	0.7104	0.00000433	2.3272
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.4541	0,01	0.4385	0.4688	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1665	0,01	0.1597	0.1717	0.00	0.4000
#sleeptboten	0.02810760	0,00	0.02677338	0.02904208	0.00	0.7000
#voertuigen	0.1214	0,00	0.1158	0.1244	0.00	0.6400

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	18.1630	0,57	17.5385	18.7507	0.00	40.0000
#exportkranen	2.3877	0,11	2.2558	2.4718	0.00	15.0000
#importkranen	2.6297	0,07	2.5337	2.6784	0.00	15.0000
#kadekranen	3.3305	0,12	3.1945	3.4345	0.00	8.0000
#sleeptboten	0.2811	0,01	0.2677	0.2904	0.00	7.0000
#voertuigen	6.0682	0,22	5.7922	6.2198	0.00	32.0000

Values Across All Replications

45 aanlegplaatsen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0,00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0,00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan				
scheep.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten	5.5889	0,16	5.5051	6.2875
wachten om te laden.Queue	748.38	86,93	683.49	1601.58
Primair scheepstype 2 laten				

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5370	0,11	5.3992	5.6215	4.8980	6.1370
primaair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	654.75	90,42	569.29	769.25	252.84	1324.61
primaair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	2.7280	4,89	0.00	8.5992	0.00	154.78
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5103	0,06	5.4390	5.5626	0.4848	6.3415
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	215.16	21,51	190.60	230.64	42.6102	351.21
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4558	0,11	5.3618	5.5416	0.3342	6.2329
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	257.27	15,93	245.68	277.73	61.7406	446.00
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4565	0,08	5.3574	5.5230	1.4828	6.1739
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	393.36	45,34	358.19	449.39	130.39	644.19
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5908	0,28	5.2717	5.8794	4.8686	6.0608
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	494.08	131,88	409.76	646.35	143.88	828.50
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	4.1939	4,40	0.3990	9.7911	0.00	341.40
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.3003	0,05	1.2647	1.3531	0.00000355	2.4988
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.6770	0,02	0.6638	0.7046	0.00000245	2.2892
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.4052	0,03	0.3774	0.4301	0.00	1.0000
#kadekranen	0.1690	0,01	0.1575	0.1757	0.00	0.4500
#sleeptboten	0.02821596	0,00	0.02619986	0.03159905	0.00	0.5000
#voertuigen	0.1217	0,01	0.1142	0.1337	0.00	0.6800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	18.2337	1,31	16.9819	19.3534	0.00	45.0000
#exportkranen	2.3891	0,24	2.2376	2.6480	0.00	15.0000
#importkranen	2.6419	0,25	2.4561	2.8806	0.00	15.0000
#kadekranen	3.3807	0,18	3.1505	3.5138	0.00	9.0000
#sleeptboten	0.2822	0,03	0.2620	0.3160	0.00	5.0000
#voertuigen	6.0855	0,59	5.7077	6.6840	0.00	34.0000

3 kadekranen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
importkranen toewijzen.Queue	1157.68	306.88	698.65	3185.43
kadekranen toewijzen aan schepen.Queue	5.5541	0.14	5.4446	5.7038
Primair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	927.89	98.98	839.19	1051.11
Primair scheepstype 2 laten				1202.75
				3597.48

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5502	0,11	5.4389	5.6648	4.9327	6.4058
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	660.88	73,28	593.38	735.24	451.61	1248.18
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	125.31	96,44	54.0540	227.20	0.00	1675.75
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.4676	0,08	5.3829	5.5460	1.8638	6.4476
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	212.58	13,32	193.79	219.25	54.2179	350.80
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.3861	0,19	5.1901	5.5412	0.3342	6.6591
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	273.70	24,24	243.84	294.57	69.9130	492.83
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5215	0,09	5.4246	5.6061	3.7784	6.1876
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	392.83	20,07	376.39	415.97	143.81	680.52
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4798	0,24	5.2492	5.6810	4.9249	5.9114
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	517.01	129,77	401.04	647.93	242.48	772.89
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	387.76	396,41	133.94	793.91	0.00	2483.60
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.3534	0,06	1.2866	1.3998	0.00008060	2.4969
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7012	0,01	0.6950	0.7103	0.00000924	2.3421
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization
Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.7435	0,10	0.6540	0.8683	0.00	1.0000
#kadekranen	0.9034	0,06	0.8401	0.9420	0.00	1.0000
#sleeptboten	0.02665511	0,00	0.02389573	0.02914582	0.00	0.6000
#voertuigen	0.1164	0,01	0.1075	0.1241	0.00	0.4800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	22.3059	3,04	19.6189	26.0503	0.00	30.0000
#exportkranen	2.2820	0,19	2.0984	2.4251	0.00	11.0000
#importkranen	2.5292	0,20	2.3475	2.7065	0.00	11.0000
#kadekranen	2.7103	0,25	2.4762	2.9463	0.00	3.0000
#sleeptboten	0.2666	0,03	0.2390	0.2915	0.00	6.0000
#voertuigen	5.8182	0,48	5.3767	6.2031	0.00	24.0000

Values Across All Replications

4 kadekranen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time Waiting Time Minimum Maximum

Average Value Half Width Average Value Minimum

exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
importkranen toewijzen.Queue	146.48	53.93	117.52	220.72	1125.06
kadekranen toewijzen aan schepen.Queue	5.5541	0.14	5.4446	5.7038	5.9680
Primair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	927.89	98.98	839.19	1051.11	1202.75
Primair scheepstype 2 laten					

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5502	0,11	5.4389	5.6648	4.9327	6.4058
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	660.88	73,28	593.38	735.24	451.61	1248.18
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	125.31	96,44	54.0540	227.20	0.00	1675.75
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.4676	0,08	5.3829	5.5460	1.8638	6.4476
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	212.58	13,32	193.79	219.25	54.2179	350.80
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.3861	0,19	5.1901	5.5412	0.3342	6.6591
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	273.70	24,24	243.84	294.57	69.9130	492.83
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5215	0,09	5.4246	5.6061	3.7784	6.1876
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	392.83	20,07	376.39	415.97	143.81	680.52
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4798	0,24	5.2492	5.6810	4.9249	5.9114
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	517.01	129,77	401.04	647.93	242.48	772.89
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	387.76	396,41	133.94	793.91	0.00	2483.60
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.3534	0,06	1.2866	1.3998	0.00008060	2.4969
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7012	0,01	0.6950	0.7103	0.00000924	2.3421
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.7435	0,10	0.6540	0.8683	0.00	1.0000
#kadekranen	0.8528	0,06	0.7901	0.9220	0.00	1.0000
#sleeptboten	0.02665511	0,00	0.02389573	0.02914582	0.00	0.6000
#voertuigen	0.1164	0,01	0.1075	0.1241	0.00	0.4800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	22.3059	3,04	19.6189	26.0503	0.00	30.0000
#exportkranen	2.2820	0,19	2.0984	2.4251	0.00	11.0000
#importkranen	2.5292	0,20	2.3475	2.7065	0.00	11.0000
#kadekranen	3.4111	0,25	3.1603	3.6879	0.00	4.0000
#sleeptboten	0.2666	0,03	0.2390	0.2915	0.00	6.0000
#voertuigen	5.8182	0,48	5.3767	6.2031	0.00	24.0000

Values Across All Replications

5 kadekranen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time	Average Value	Half Width	Average Value	Minimum
Waiting Time Maximum				
Minimum				
Maximum				
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue				
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue				
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue				
importkranen toewijzen.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00
kadekranen toewijzen aan schepen.Queue	11.8257	9.03	2.9743	21.1391
Primair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	5.4781	0.15	5.3428	5.6585
Primair scheepstype 2 laten	849.14	112.62	693.02	924.93
				607.78
				1218.85
				4.7473
				6.0865
				431.01

wachten tot schip geladen is.Queue	5.5960	0,06	5.5393	5.6669	4.9199	6.3343
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	635.85	35,23	596.37	664.96	387.55	1060.41
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	35.7241	26,76	19.6787	61.3266	0.00	781.27
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5168	0,09	5.4059	5.6063	1.3813	6.4092
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	208.22	9,21	198.26	214.82	42.8201	363.03
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5175	0,14	5.3306	5.6076	0.3342	6.5279
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	263.14	16,46	247.03	282.59	70.8605	485.93
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5090	0,13	5.3764	5.6686	2.6530	6.2502
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	404.17	41,62	355.52	447.35	127.91	658.76
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5969	0,09	5.4974	5.6921	4.9709	5.9963
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	547.31	70,41	489.41	617.13	176.78	892.87
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	99.41	42,15	74.4675	158.86	0.00	1386.60
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.3331	0,05	1.2854	1.3880	0.00000355	2.4960
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.6960	0,02	0.6766	0.7197	0.00000240	2.2732
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization
 Maximum
 Minimum
 Maximum

Minimum

Average
 Average
 Value
 Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.6359	0,02	0.6190	0.6609	0.00	1.0000
#kadekranen	0.6774	0,03	0.6525	0.7176	0.00	1.0000
#sleeptboten	0.02856972	0,00	0.02750228	0.03066742	0.00	0.7000
#voertuigen	0.1224	0,00	0.1197	0.1294	0.00	0.5200

Number Busy

Maximum
 Minimum
 Maximum

Minimum

Average
 Average
 Value
 Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	19.0780	0,74	18.5714	19.8263	0.00	30.0000
#exportkranen	2.3960	0,11	2.3326	2.5475	0.00	12.0000
#importkranen	2.6662	0,10	2.5998	2.8017	0.00	11.0000
#kadekranen	3.3868	0,15	3.2623	3.5879	0.00	5.0000
#sleeptboten	0.2857	0,02	0.2750	0.3067	0.00	7.0000
#voertuigen	6.1218	0,25	5.9873	6.4692	0.00	26.0000

Values Across All Replications

6 kadekranen

Replications: 5 Time Units: Minutes

Key Performance Indicators

Queue

Time Waiting Time Minimum Maximum

Average Value Half Width Average Value Minimum

exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers primair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 1 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 2 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 3 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers secundair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
scheepstype 4 laden.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
exportcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
importcontainers	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vervoeren.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
importkranen.toewijzen.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kadekranen.toewijzen.aan.schepen.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Primair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	5.4617	0,07	5.3843	5.5329	4.9661
Primair scheepstype 2 laten	786.64	103,48	661.84	885.09	492.53
Primair scheepstype 2 laten					1572.29
					5.9734

wachten tot schip geladen is.Queue	5.6042	0,07	5.5146	5.6616	4.9948	6.2171
primair schip scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	689.22	71,37	604.50	766.53	369.34	1153.36
primair schip scheepstype 1 laten wachten tot schip geladen is.Queue	57.6288	29,85	24.3702	89.6735	0.00	465.02
primaire schepen naar aanlegplaatsen slepen.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Schepen uit aanlegplaats slepen.Queue	5.5743	0,07	5.5049	5.6476	4.7972	6.5342
secundair scheepstype 1 laten wachten om te laden.Queue	214.42	12,40	200.35	227.92	69.2256	358.17
secundair scheepstype 1 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.4601	0,11	5.3535	5.5783	0.3342	6.4168
secundair scheepstype 2 laten wachten om te laden.Queue	274.83	13,93	259.23	289.12	45.3798	442.11
secundair scheepstype 2 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5828	0,07	5.5424	5.6705	4.7897	6.3302
secundair scheepstype 3 laten wachten om te laden.Queue	402.80	20,87	379.03	421.18	131.07	693.51
secundair scheepstype 3 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	5.5875	0,17	5.4050	5.7562	5.0185	6.1195
secundair scheepstype 4 laten wachten om te laden.Queue	490.03	80,16	397.74	559.27	247.96	817.63
secundair scheepstype 4 laten wachten tot het schip geladen is.Queue	57.5900	19,17	34.4301	74.7993	0.00	923.74
Secundaire schepen naar aanlegplaats slepen.Queue	1.3491	0,03	1.3076	1.3800	0.00000355	2.4954
wachten om volgende exportcontainer uit te pikken.Queue	0.7019	0,01	0.6892	0.7122	0.00000240	2.3198
wachten tot importkranen vrij zijn.Queue						

Resource

Usage

Instantaneous Utilization

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	0.6136	0.04	0.5658	0.6484	0.00	1.0000
#kadekranen	0.5643	0.02	0.5406	0.5824	0.00	1.0000
#sleeptboten	0.02763348	0.00	0.02483223	0.03028782	0.00	0.6000
#voertuigen	0.1193	0.01	0.1088	0.1283	0.00	0.4800

Number Busy

Maximum
Minimum
Maximum

Minimum

Average
Average
Value
Value

Half Width

Average

#aanlegplaatsen	18.4075	1.30	16.9734	19.4513	0.00	30.0000
#exportkranen	2.3379	0.20	2.1345	2.5055	0.00	13.0000
#importkranen	2.5938	0.23	2.3635	2.7988	0.00	11.0000
#kadekranen	3.3861	0.14	3.2436	3.4941	0.00	6.0000
#sleeptboten	0.2763	0.03	0.2483	0.3029	0.00	6.0000
#voertuigen	5.9639	0.52	5.4380	6.4170	0.00	24.0000

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Simulatie als instrument voor efficiëntiebepaling van de werking op een containerterminal

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2007**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Ik ga akkoord,

Bart CEYSSENS

Datum: **01.06.2007**