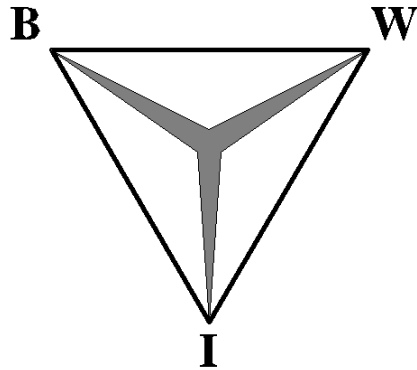


Analyse van Twee Buffersystemen In Crossdocks



December 2002

Jasper Roseboom
BWI-werkstuk
Vrije Universiteit
De Boelelaan 1081a
1187 HV Amsterdam



Voorwoord

Het BWI-werkstuk is een onderdeel van de studie BWI en vormt het resultaat van een literatuuronderzoek en/of een eigen onderzoek. In dit BWI-werkstuk zijn beide elementen terug te vinden. Het onderwerp dat centraal staat in het verslag is crossdocking, een techniek die steeds vaker gebruikt wordt in verscheidene industrie gebieden.

Het initiatief tot een eigen onderzoek is ontstaan naar aanleiding van een artikel in *Review 2001*, waarin twee ‘buffersystemen’ met elkaar vergeleken worden. Beide systemen hebben betrekking op het stapelen (bufferen) van binnenkomende pallets. Tussen de systemen bestaat echter een verschil in het ‘doorstromen’ van deze pallets in een crossdock. Dit geeft voor beide systemen een andere efficiency met betrekking tot het doorstroomproces van de pallets.

Het in het artikel beschreven onderzoek was in mijn ogen te simpel en te eenzijdig opgezet. Dit heeft waarschijnlijk geleid tot een te negatief beeld van één van de twee systemen. In het vervolgonderzoek ben ik nagegaan in welke mate het beeld van beide systemen zou veranderen als bijvoorbeeld enkele aannamen aangepast zouden worden.

Het werkstuk werd begeleid door dr. GJ Franx. Dankzij zijn goede adviezen is het een werkstuk geworden waar ik met veel plezier aan heb gewerkt.

Jasper Roseboom

Samenvatting

Het ontvangen van goederen, het samenvoegen van goederen naar bestemming en deze in een kort tijdsbestek verzenden naar de volgende bestemming, staat bekend als crossdocking. Het toepassen van crossdocking kan reductie opleveren in de opslag-, arbeids- en transportkosten. Het vereist daarentegen onder andere een hoog coördinatieniveau tussen verschillende partijen in de keten.

Er bestaan in praktijk verschillende varianten in crossdocking. In het werkstuk zal 'retailcrossdocking' behandeld worden. Deze vorm kan verder onderscheiden worden in onder andere 'unitload crossdocking'. In deze vorm zullen alleen pallets door een crossdock stromen. Elke pallet heeft één bestemming en zal dus geen goederen bevatten voor meerdere bestemmingen. Dit voorkomt extra handelingskosten omdat de goederen in een pallet niet naar andere bestemmingen gesorteerd hoeven te worden.

In een eerder onderzoek, gedaan door een aantal researchers in Amerika, werden twee systemen (het staging- en flowrack-systeem) die in een crossdock gebruikt worden om pallets door een crossdock te laten 'stromen', met elkaar vergeleken. Het verschil tussen de twee systemen zat in de effectiviteit waarmee beide systemen de pallets door het crossdock laten gaan. Het gebruik van het systeem met de grootste effectiviteit, het flowrack-systeem, werd uiteindelijk afgeraden in het onderzoek. Het voordeel in effectiviteit van het flowracksysteem ten opzichte van het staging-systeem was namelijk te laag om tegen een aantal nadelen op te wegen die in geval van het toepassen van het flowrack-systeem zouden gelden.

Het onderzoek was uitgevoerd onder aannamen waarmee men de effectiviteit van beide systemen makkelijk op een analytisch manier kon berekenen. Een aantal aannamen vond ik echter te simpel gesteld en hadden naar mijn idee een grote invloed op het uiteindelijk verschil tussen beide systemen. Ook had men naar mijn inziens de systemen op een verkeerd punt met elkaar vergeleken. In plaats van de nadruk te leggen op de fractie pallets dat wel (makkelijk) door het crossdock stroomt is het misschien belangrijker te letten op de fractie pallets dat niet (makkelijk) door het crossdock stroomt. Deze twee elementen brachten mij ertoe om een eigen onderzoek te starten waarin beide systemen onder andere aannamen en een ander onderzoeksobjectief met elkaar worden vergeleken.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	III
INHOUDSOPGAVE	V
1. INLEIDING.....	1
2. INTRODUCTIE CROSSDOCKING.....	3
2.1 Wat is Crossdocking?	3
2.2 Waarom Crossdocking?	5
3. BUFFERSYSTEMEN.....	7
4. ONDERZOEK I.....	9
4.1 Model Staging Systeem.....	9
4.2 Model Flowrack systeem	10
4.3 Modellen vs Praktijk.....	10
4.4 Resultaat Staging vs Flowrack.....	12
4.5 Conclusie Onderzoek I	13
5. ONDERZOEK II.....	15
5.1 Batch-Aankomsten.....	16
5.2 Verdeling Servicetijden	17
5.3 Fractie Servicetijd Staging/Flowrack.....	20
5.4 Combinatie.....	21
5.5 Fractie Geblokkeerde Pallets.....	22
6. CONCLUSIE.....	25
7. BIBLIOGRAFIE	27

1. Inleiding

In het eerste deel van het werkstuk, *Introductie Crossdocking*, krijgt de lezer inzicht in wat crossdocking nu precies is. Ook zullen de voordelen en eisen met betrekking tot crossdocking behandeld worden. Vervolgens wordt in *Buffersystemen* uitgelegd hoe de buffersystemen die in het verdere werkstuk centraal staan, eigenlijk in praktijk werken. Onder welke aannamen en met welk onderzoeksobjectief de twee buffersystemen in het onderzoek (artikel) vergeleken zijn, komen net als de resultaten en conclusie uit het onderzoek aan bod in *Onderzoek I*.

In *Onderzoek II*, het eigen onderzoek, wordt het effect van andere aannamen en een gewijzigd onderzoeksobjectief op de twee systemen onderzocht.

In welke mate het vervolgonderzoek het beeld veranderd heeft omtrent de twee systemen staat beschreven in het laatste deel: *Conclusie*.

2. Introductie Crossdocking

2.1 Wat is Crossdocking?

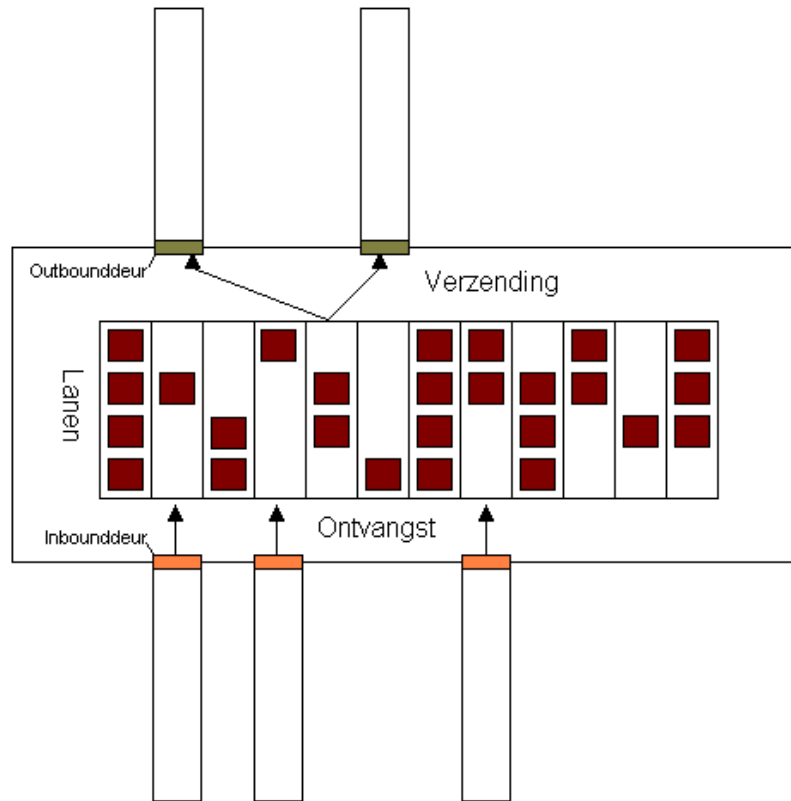
Een *crossdock* (vrij vertaald: overlaadstation) is in essentie een distributiefaciliteit. Met trucks worden produkten naar het crossdock getransporteerd waar ze worden gesorteerd en vervolgens samengevoegd (naar bestemming) met andere produkten. In een kort tijdsbestek, vaak maar enkele uren, zullen deze produkten al naar de volgende schakel in de keten (produktiebedrijf, ander crossdock, etc.) getransporteerd worden. *Crossdocking* is dus het principe van het snel samenvoegen van produkten en het in korte tijd verzenden van deze goederen.

Crossdocking is een vrij ruim begrip. Het kan namelijk een groot aantal operaties omvatten. In het verslag zal *retail crossdocking* (Napolitano, 2000) centraal staan. In deze vorm zal het crossdock van een groot aantal leveranciers producten ontvangen, waarna deze produkten naar bestemming worden gesorteerd en getransporteerd.

Retail crossdocking kan verder onderscheiden worden in *case-pick* en *unit-load*. In *case-pick* kan de binnenkomende lading bestaan uit pallets, pakketen of zelfs afzonderlijke artikelen. Uit de pallets/pakketen/afzonderlijke produkten kunnen dan vervolgens zogenaamde *cases* worden gehaald. Een case kan beschreven worden als een verzameling produkten met een bepaalde bestemming.

In *unit-load* zal uitsluitend met pallets gewerkt worden waarbij elke pallet maar één bestemming heeft. Hierbij hoeven dus uit de pallets geen afzonderlijke produkten gehaald te worden voor een order. Met name grote warenhuizen gebruiken dit type crossdocking omdat ze vaak met grote bestellingen werken. In het verdere verslag zal *unit-load* centraal staan.

In *Figuur 1* ziet men een simpel crossdockmodel. In het *ontvangst-gedeelte* worden de (binnenkomende) trucks van hun lading ontdaan. Deze lading wordt vervolgens via een *inbounddeur* in zogenaamde *lanen* gezet. Staat het transport aan de andere kant van de crossdock klaar dan kan in het *verzendings-gedeelte* de lading via een *outbounddeur* in de gereedstaande truck met de juiste bestemming worden geladen.



Figuur 1: een simpel crossdockmodel

Wanneer de bestemming van de pallets voordat ze bij het crossdock arriveren bepaald en gelabeld zijn, wordt dit *pre-distribution* genoemd. De pallets kunnen dan bij aankomst dan gelijk in de lanen worden gezet die uitkomen bij de juiste outbounddeuren. In geval van *post-distribution* wordt de bestemming van de pallets pas in het crossdock bepaald en gelabeld. De lading zal dan via in de inbounddeur vaak direct in de corresponderende laan worden gezet. Het labelen zal dan pas in het verzendings-gedeelte plaatsvinden.

In *pre-distribution* zullen de pallets niet gelabeld hoeven te worden binnen een crossdock wat bespaart op de kosten aangaande material handling. Wel is *pre-distribution* moeilijker te realiseren omdat het een uitstekende communicatie vereist tussen de verschillende keten-partijen. De bestemming van de afzonderlijke pallets zal bij de leverancier bekend moeten zijn. *Post-distribution* omzeilt weliswaar dit probleem maar zal naast de extra handelingskosten ook extra crossdockruimte moeten reserveren voor de extra handelingen (labelen). Dit laatste heeft als gevolg dat een ruimere crossdock vereist wordt. De werkers zullen dan ook langere afstanden moeten afleggen.

2.2 Waarom Crossdocking?

In tegenstelling tot een (traditioneel) voorraadcentrum wordt bij crossdocking geen voorraad aangehouden en (in principe) geen orders gepikt. Dit bespaart veel kosten aangezien deze activiteiten zeer arbeidsintensief zijn. Een ander pluspunt ligt in de ‘bundel’ functie van crossdocking. Afnemers die vaak kleine pakketten bestellen bij veel verschillende leveranciers kampen vaak met hoge transportkosten. Wanneer veel afnemers zich aansluiten bij een crossdock kunnen losse bestellingen met aparte (bij elkaar gelegen) bestemmingen gebundeld worden. Een enkele truck zal gemiddeld genomen efficiënter geladen worden, hetgeen besparing in de transportkosten oplevert voor de afzonderlijke afnemers.

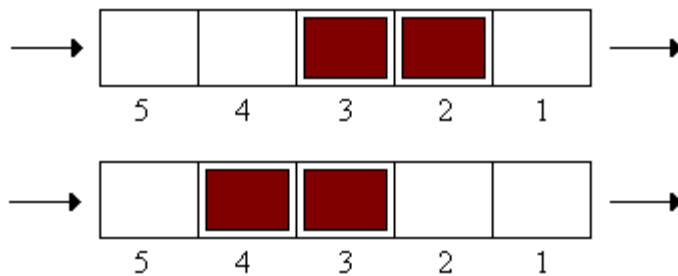
Om deze voordelen te kunnen realiseren, zullen eisen gesteld moeten worden aan de verschillende keten-partijen. Het transport van en naar het crossdock zal goed gecoördineerd moeten worden om het goed te laten aansluiten op de interne processen van een crossdock. Anders kunnen goederen onnodig lang in een crossdock blijven staan, wat bijvoorbeeld de doorstroming van andere goederen in een crossdock kan belemmeren.

Tevens zijn er goede afspraken nodig omtrent het labelen en kwaliteitstoetsen. Om een crossdock zo efficiënt mogelijk te laten functioneren zullen in principe zo min mogelijk handelingen aan het produkt verricht moeten worden door het crossdock. Als het labelen bij de leverancier ligt (pre-distribution) zal een intensieve coördinatie vereist zijn tussen de verschillende keten-partijen aangezien bij de leverancier de exacte informatie omtrent bestemming en de prijs van het produkt bekend moet zijn. Om dit coördinatie-niveau te halen zal bijvoorbeeld in *EDI (Electronic Data Interchange)*-systemen geïnvesteerd moeten worden. Dit gaat vaak gepaard met hoge kosten.

Produkten die in aanmerking komen voor crossdocking zijn producten waarvan de afzet groot is en de vraag ernaar weinig varieert. In dit geval zal de vraag naar het produkt niet onderhevig zijn aan grote fluctuaties en kan het product door de keten worden ‘geduwd’. Frequente zendingen en korte doorlooptijden van een product zijn dan gerechtvaardigd hetgeen voorkomt dat in een crossdock voorraad aangehouden dient te worden. Een andere eis is dat het produkt relatief makkelijk te hanteren moet zijn. Er mogen niet te hoge handelingskosten mee verbonden zijn aangezien dit ten koste zal gaan van het rendement van een crossdock. Het produkt kan dan beter rechtstreeks naar de afnemer worden gedistribueerd.

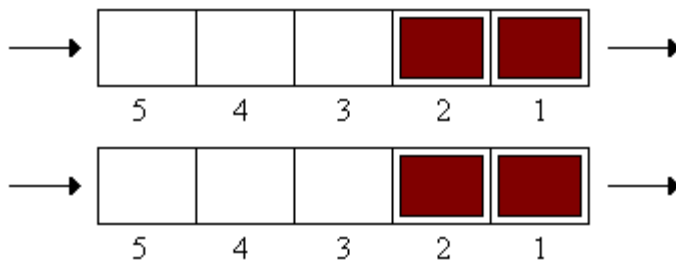
3. Buffersystemen

Een pallet die een crossdock binnenkomt wordt in een laan gezet, achter de laatste pallet in deze laan. Het systeem waarbij pallets niet automatisch naar voren doorschuiven als de meest vooraanstaande pallet in de laan in behandeling wordt genomen wordt het *staging-systeem* genoemd. De lanen zijn dan als het ware rekken waarin de pallets worden geplaatst. De pallets blijven dus op een zelfde positie. In *Figuur 2* staat de werking van het staging-systeem weergegeven in het geval de laan maximaal vijf pallets kan bevatten:



Figuur 2: in het bovenste plaatje zijn op tijdstip t_1 de posities 2 en 3 bezet door een pallet. Een behandeling van een pallet op tijdstip t_2 (met $t_2 > t_1$) zal positie 2 in de laan leeg maken. Bij aankomst van pallet op t_3 (met $t_3 > t_2$) zal de pallet op positie 4 worden gezet, achter de meest achtergeschoven pallet in de laan (pallet op positie 3).

Het systeem waarbij de pallets wel automatisch naar voren schuiven heet het *flowrack-systeem*. In *Figuur 3* staat de werking van het flowrack-systeem weergegeven in het geval de laan maximaal vijf pallets kan bevatten:



Figuur 3: in het bovenste plaatje zijn op tijdstip t_1 de posities 1 en 2 bezet door een pallet. Een behandeling van een pallet op tijdstip t_2 (met $t_2 > t_1$) zal positie 1 in de laan leeg maken. Pallet op positie 2 zal automatisch doorrollen naar positie 1. Bij aankomst van pallet op t_3 (met $t_3 > t_2$) zal de pallet automatisch naar positie 2 rollen, achter de meest achtergeschoven pallet in de laan (pallet op positie 1).

In het vervolg zal het maximale aantal pallets dat een laan kan bevatten, worden aangeduid met *buffergrootte*.

4. Onderzoek I

In het artikel *Throughput Models for Unit-Load Crossdocking*, van John J. Bartholdi, III, Kevin R. Gue en Keebom Kang wordt beschreven in welke mate de doorstroming van pallets in het flowrack-systeem beter is dan in het staging-systeem. Hierbij wordt de *effective throughput* (effectieve doorstroming) gebruikt. Voor het berekenen van de effective throughput zijn de modellen die staan beschreven in 4.1 (staging) en 4.2 (flowrack) gebruikt. In deze modellen worden enkele aannamen gemaakt. In welke mate de aannamen overeenkomen met de werkelijkheid wordt uiteengezet in 4.3. In 4.4 staan de resultaten van het onderzoek. De conclusie die het onderzoeksteam deed naar aanleiding van deze resultaten komt aan bod in 4.5.

4.1 Model Staging Systeem

Een pallet op positie 5 in *Figuur 2* zal nieuwe pallets blokkeren totdat de pallet in behandeling wordt genomen. Men spreekt in dit geval van een blocking toestand. In het andere geval, er is geen pallet aanwezig op de laatste positie, wordt er gesproken van een non-blocking toestand. In het model dat men in het artikel beschrijft worden deze nieuwe pallets ‘geweigerd’. De geweigerde aankomsten zullen verder niet meer aan het proces deelnemen en dus ook geen invloed hebben op het aankomstproces.

Het bovenstaande proces kan als de pallets altijd aan elkaar grenzend zullen zijn, de pallets volgens een Poisson proces aankomen en de servicetijden exponentieel verdeeld zijn, beschreven worden als een Markov keten. Hierin is de sprake van een toestand (i, j) wanneer op positie i de meest achterwaartse pallet staat, en op positie j de meest voorwaartse. Dit impliceert automatisch dat $i \geq j$. Als geen enkele positie gevuld is maar de server is wel busy dan zit het systeem in toestand $(0, 0)$, anders is de server idle en zit het in toestand e . Bij een $n \geq 2$ zijn de overgangskansen bij een non-blocking toestand:

$$(3) \quad \pi_e = (\mu/\lambda)\pi_{00} \text{ en } \pi_{ij} = r_{ij}a_{ij}\pi_{00} \text{ waar:}$$

$$(4) \quad r_{ij} = r_{i-1,j} + r_{i,j-1}, \quad a_{ij} = \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^i \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^{j-1} \text{ en } \pi_{00} = \left(1 + \frac{\mu}{\lambda} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^i r_{ij}a_{ij}\right)$$

In geval van een blocking toestand worden de overgangskansen:

$$(5) \quad \pi_{n1} = (\lambda/\mu)\pi_{n-1,1}, \quad \pi_{ni} = (\lambda/\mu)\pi_{n-1,i} + \pi_{n,i-1} \text{ en } \pi_{nn} = \pi_{n,n-1}$$

De effective throughput onder het staging-systeem wordt in het vervolg gedefinieerd als:

$$(6) \quad \lambda_{staging}^* = (1 - \sum_j \pi_{nj})\lambda$$

4.2 Model Flowrack systeem

In een flowrack-systeem rollen de pallets automatisch naar voren. Onder dezelfde modelaannamen als bij het staging-systeem, zijn de overgangskansen in het flowrack-systeem als volgt (met $n \geq 1$ en $\rho = \lambda/\mu$):

$$(7) \quad \pi_e = \rho^{-1} \pi_0, \pi_i = \rho^i \pi_0 \text{ en } \pi_0 = (\rho^{-1} + 1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^n)^{-1}$$

De effective throughput onder het staging-systeem wordt in het vervolg gedefinieerd als:

$$(8) \quad \lambda_{flowrack}^* = (1 - \pi_n) \lambda$$

Als de n gelijk is aan 1 dan is het flowrack-systeem gelijk aan het staging-systeem. Gaat n naar oneindig dan zal bij benadering de effective throughput van beide systemen naar λ gaan. Er zullen in dat geval namelijk geen blocking situaties ontstaan.

4.3 Modellen vs Praktijk

De effective throughput van beide systemen zal in de praktijk een andere waarde aannemen dan de waarde die via de modellen wordt berekend. De modellen maken namelijk gebruik van enkele aannamen om de throughput van beide systemen analytisch makkelijk te kunnen berekenen. De belangrijkste aannamen in deze modellen waren:

1. De pallets komen aan volgens een Poisson proces
2. De lengte van de serviceduur is exponentieel verdeeld
3. Bij de aanwezigheid van minimaal één pallet in de laan en een beschikbare server zal de pallet altijd behandeld kunnen worden.
4. Een aankomende pallet die geblokt wordt, zal uit het systeem verwijderd worden
5. Per aankomst zal maar één pallet arriveren
6. Per bestemming is maar één enkele laan ter beschikking
7. De servicetijden van het staging-systeem is gelijk aan die van het flowrack-systeem

Het veronderstellen dat pallets aankomen volgens een Poisson-proces, aanname 1, is een aanname die men vaker tegenkomt bij het modelleren van aankomsten, bijvoorbeeld: binnenkomende calls in een call center. Een Poisson proces kan gebruikt worden als de trucks met pallets onderling onafhankelijk van elkaar aankomen. In een crossdock zal men echter met (strakke) tijdschema's werken wat betreft het ontvangen als het verzenden van trucks. Wanneer men echter het tijdsinterval voldoende klein neemt dan kan men de aankomsten op dit interval zien als homogeen verdeelde datapunten. De datapunten zijn dan onafhankelijk van elkaar en kan men de aankomsten modelleren met het Poisson proces.

Dat de serviceduur exponentieel verdeeld is zoals in aanname 2 wordt verondersteld, wordt onderbouwd in het artikel. Een serviceduur kan namelijk sterk beïnvloedt worden door allerlei factoren zoals het wel/niet labelen/inspecteren/etc. van produkten, wel/geen moeilijkheden bij het inladen van produkten, etc. Deze factoren veroorzaken een grote variantie in de serviceduur waardoor de exponentiële verdeling waarin relatief hoge waarden kunnen voorkomen, een goede keuze kan zijn.

Aannamen 3, 4 en 5 zijn (impliciet) in het model opgenomen om het berekenen van de throughput niet al te ingewikkeld te maken. Aanname 3 zorgt ervoor dat een pallet altijd behandeld kan worden als een werknemer beschikbaar is. Een pallet zal dus niet onnodig blijven staan. Deze aanname veronderstelt eigenlijk dat of het aankomst- en vertrekproces van de trucks precies op elkaar is afgestemd en er dus geen oponthoud plaatsvindt aan de servicezijde, of dat in de crossdock voldoende ruimte aanwezig is om de (behandelde) pallets tijdelijk te kunnen plaatsen.

Het verwijderen van pallets uit het systeem omdat ze geblokt worden, zoals aanname 4 luidt, zal in werkelijkheid niet voorkomen. Men zal in de praktijk eerst controleren of er inderdaad geen positie meer vrij is (in geval van het staging-systeem kan dit de moeite lonen). Is dit niet het geval dan zal de pallet in een andere (vrijstaande) laan worden gezet of wellicht gewoonweg ergens opgestapeld. In ieder geval zal de pallet niet uit het systeem verwijderd worden.

Aanname 5 impliceert dat bij batch-aankomsten (per aankomst meer dan één pallet mogelijk) niet mogelijk zijn.

Aanname 6 gaat ervan uit dat een trailer (oplegger/truck) maar één laan tot zijn beschikking heeft. In praktijk wordt echter vaak met 2 of meer lanen per trailer (parallele lanen) gewerkt. De effectieve throughput van het staging-systeem kan hierdoor aanzienlijk verbeterd worden.

Aanname 7 houdt in dat de serviceduur van het staging-systeem gelijk is aan dat van het flowrack-systeem ondanks de extra afstand die men moet afleggen in een laan om een pallet te plaatsen of af te halen, de zogenaamde *travel-in-queue*. Volgens het artikel vormt de tijd die de extra loopafstanden in beslag nemen, een kleine fractie van de totale servicetijd. In het artikel gaat men ervan uit dan een gemiddelde lengte van de laan gelijk is aan 10 – 15 pallets en dat de afstand van en naar de laan enkele tientallen meters bedraagt, de zogenaamde *travel-from-queue*.

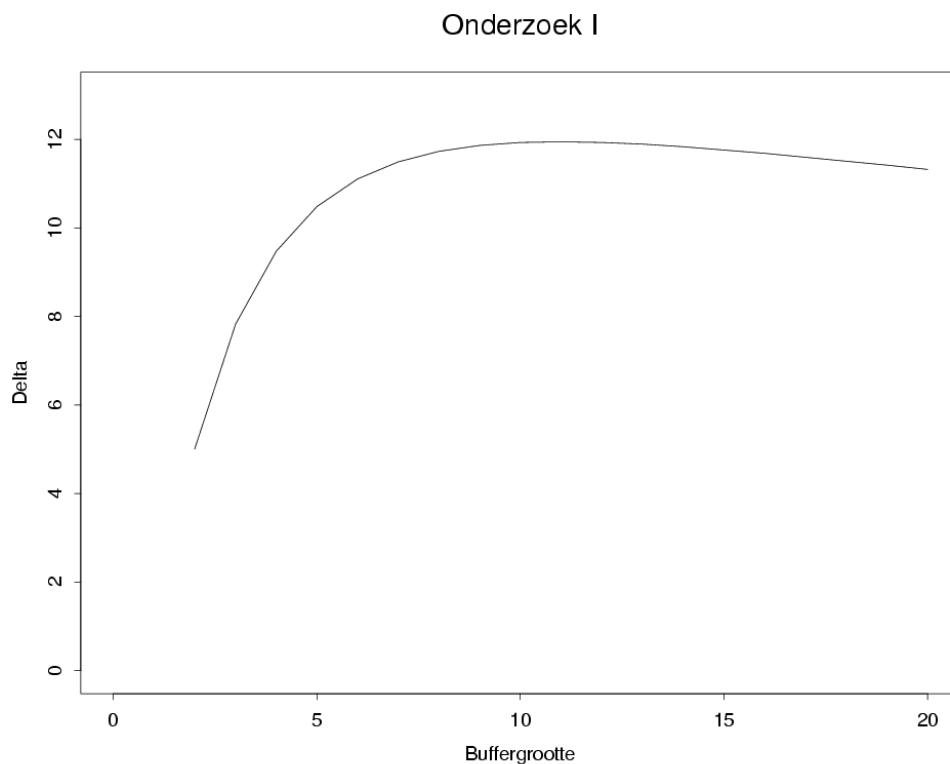
4.4 Resultaat Staging vs Flowrack

In het onderzoek zijn beide systemen op het gebied van effective throughput¹ met elkaar vergeleken. Men was geïnteresseerd in het procentuele voordeel in effective throughput dat het flowrack-systeem zou halen op het staging-systeem, in het vervolg afgekort met ‘delta’:

$$(9) \quad \text{delta} = \frac{(\lambda_{\text{flowrack}}^* - \lambda_{\text{staging}}^*) \cdot 100\%}{\lambda_{\text{staging}}^*}$$

In het onderzoek wordt gewerkt onder $\rho = 1$ ($\lambda = \mu$). Onder deze verhouding haalt het flowrack-systeem een optimale throughput².

De delta kan uitgezet worden tegen verschillende buffergrootten. Dit geeft de volgende grafiek:



Figuur 4: delta uitgezet verschillende buffergrootten

De *delta* blijkt maximaal te zijn bij een buffergrootte gelijk aan 11. Het flowrack-systeem heeft dan zo'n 12% (11.94%) hogere throughput dan het staging-systeem.

¹ Effective throughput kan in dit geval gedefinieerd worden als de fractie pallets dat behandeld wordt

² Dit bewijs wordt geleverd in het artikel *Throughput Models for Unit-Load Crossdocking*

4.5 Conclusie Onderzoek I

In het artikel wordt implementatie van een flowrack-systeem in een crossdock afgeraden. Het (geringe) rendement dat gehaald wordt, in het gunstigste geval een kleine 12%, zou niet opwegen tegen de volgende belangrijkste nadelen:

1. Implementatie van een flowrack-systeem gaat vaak gepaard met hoge initiële kosten.
2. Flowrack-systemen zijn inflexibel. Het zijn namelijk lopende banden waarover de pallets zich bewegen. Een staging-systeem is simpeler van constructie/opzet.
3. In praktijk zal in het staging-systeem ten behoeve van de doorstroming van de pallets, preventieve maatregelen genomen worden. Dit zal dus in de praktijk tot een kleinere delta leiden.

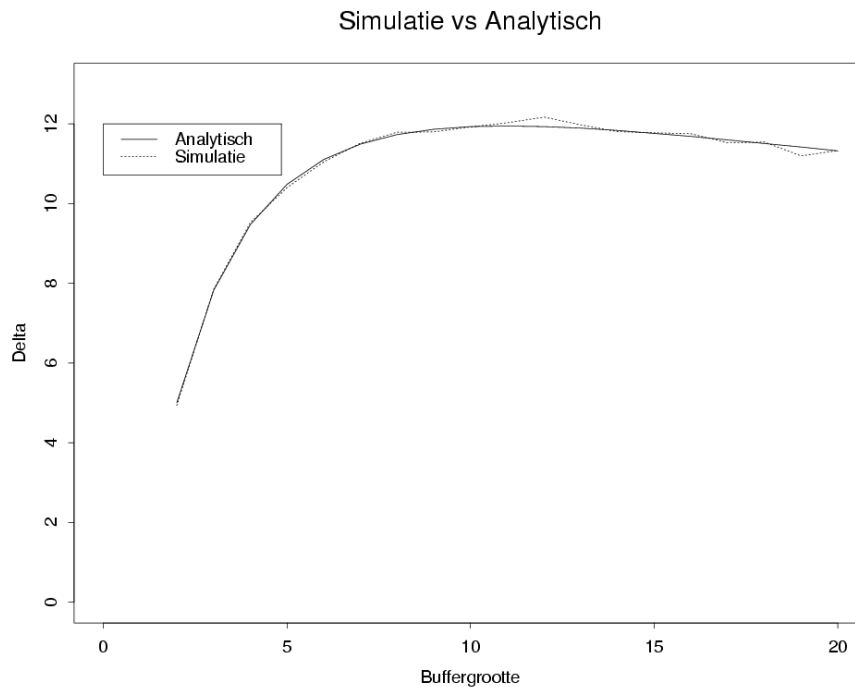
5. Onderzoek II

Onderzoek I is onder een aantal aannamen uitgevoerd, zie daarvoor paragraaf 4.3. Deze aannamen gaven de onderzoekers de mogelijkheid om de throughput van het flowrack- en staging-systeem analytisch makkelijk te kunnen berekenen. Onder deze aannamen bleek het flowrack-systeem hoogstens 12 % beter te presteren dan het staging-systeem. Dit was volgens de onderzoekers te laag om tegen de nadelen, genoemd in 4.5, op te wegen.

In *Onderzoek II* zullen in eerste instantie een drietal aannamen in 4.3 (aannamen 2, 5 en 7) veranderd worden. De aanpassingen in de aannamen en het effect van elk van deze aanpassingen op de delta, worden beschreven in 5.1, 5.2, en 5.3. De aanpassingen zijn gedaan om de realiteit beter te kunnen benaderen. In 5.4 wordt de delta berekend onder een combinatie van een aantal aangepaste aannamen.

In tweede instantie zal ook het onderzoeksobjectief worden veranderd. Het onderzoeksobjectief in *Onderzoek I* betrof de delta, het procentuele voordeel dat het flowrack-systeem haalt ten opzichte van het staging-systeem. Dit geeft echter weinig inzicht in de hoogte van de effectieve throughput in beide systemen. Een misschien wel belangrijker onderzoeksobjectief aangezien de effectieve throughput inzicht geeft in de fractie pallets dat geblokkeerd wordt in een crossdock. In praktijk zullen deze pallets niet oplossen maar ergens anders in het crossdock geplaatst worden. Dit gaat ten koste van ruimte en in een crossdock kan ruimte waardevol zijn. In welke mate de twee buffertechnieken verschillen in de fractie geblokkeerde pallets, staat beschreven in 5.5.

In het onderzoek zullen de resultaten met behulp van een simulatieprogramma berekend worden. Het simulatieprogramma maakt gebruik van een lange termijn simulatie waarin de lengte van de simulatie gelijk wordt gesteld aan 5000000. De aankomst intensiteit, λ , wordt op 0.5 gezet. Men kan dus verwachten dat er zo'n 2500000 pallets door het crossdock gaan. Het verschil met de delta die op analytische wijze zijn verkregen, blijkt zeer klein te zijn. Zie hiervoor *Figuur 5*:



Figuur 5: de ‘analytische’ -delta en ‘simulatie’-delta uitgezet tegen verschillende buffergrootten.

De ‘analytische’ delta zal in 5.1 – 5.4 als ‘vergelijkingsmateriaal’ dienen. Deze delta wordt in het vervolg aangeduid met ‘standaard-delta’.

5.1 Batch-Aankomsten

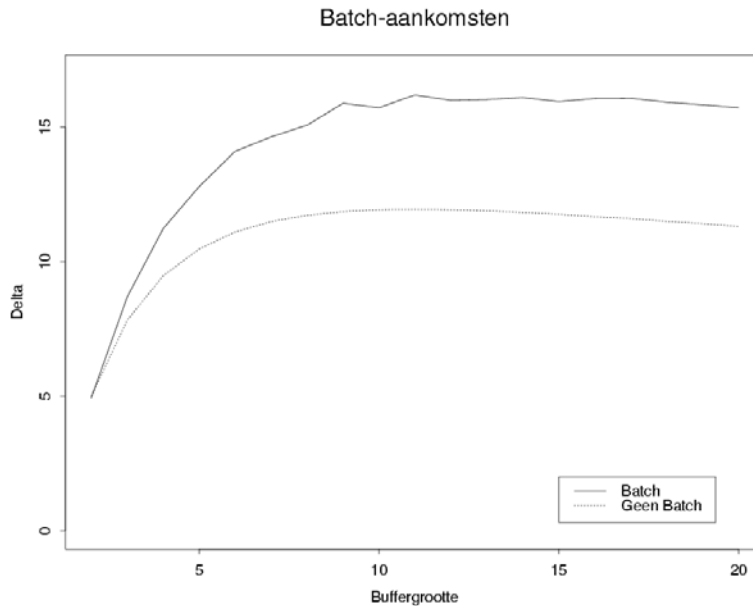
Bij het ontladen van een truck is het in de praktijk mogelijk dat meer dan één pallet in een bepaalde laan wordt gezet. We hebben hier te maken met de zogenaamde batch-aankomsten. Invoering van batch-aankomsten zal invloed hebben op de effectieve throughput. In welke mate het verschil in effectieve throughput tussen beide systemen groter zal veranderen, zal in deze paragraaf worden onderzocht.

In *Tabel 1* staan de kansen voor verscheidene batchgrootten die in het onderzoek gebruikt zijn. Deze waarden zijn fictief.

Tabel 1: batchgrootten met bijbehorende kans op betreffende batchgrootte

Aantal Pallets	Kans
1	0.25
2	0.25
3	0.25
4	0.25

Het verwachte aantal pallets per aankomst zal dus gelijk zijn aan:
 $0.25 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.25 \cdot 3 + 0.25 \cdot 4 = 2.5$. Onder een aankomstintensiteit van 0.5 zal in het onderzoek een aankomstintensiteit moeten hebben van 0.2 om hetzelfde verwachte aantal pallets per tijdseenheid te verkrijgen. In *Figuur 6* is het effect van de batch-aankomsten op de delta weergegeven.



Figuur 6: de standaard-delta (geen batch) en de delta onder batch-aankomsten uitgezet tegen verschillende buffergrootten

De optimale delta wordt gehaald onder een buffergrootte van 11. De delta bedraagt dan 16.20 %. Na deze buffergrootte zal de delta in waarde dalen.

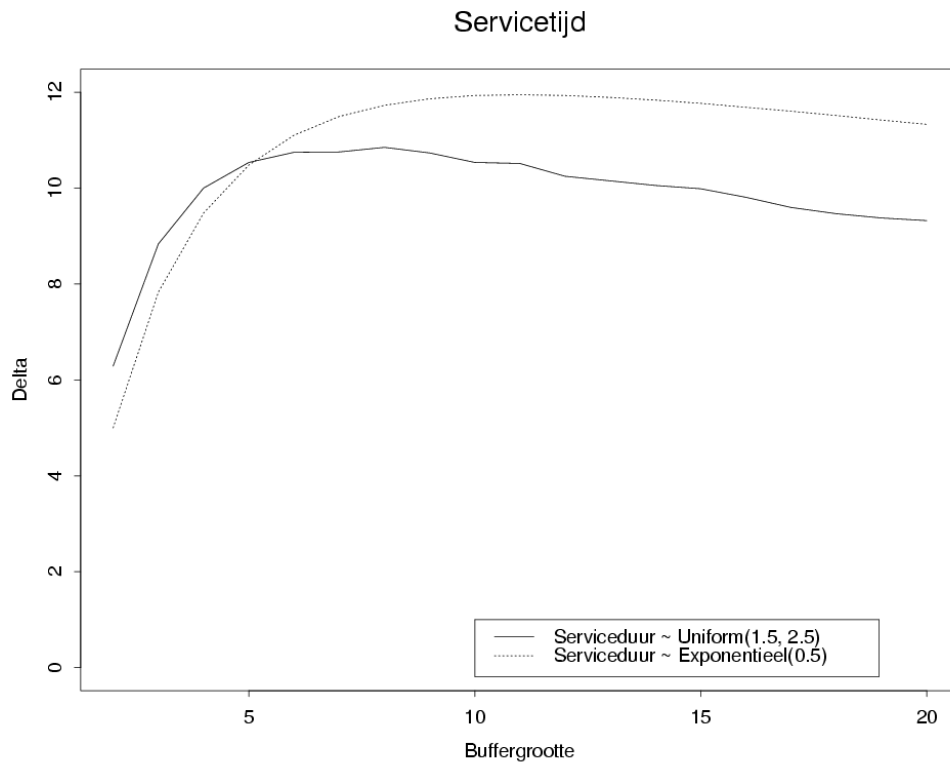
5.2 Verdeling Servicetijden

In *Onderzoek I* werd verondersteld dat de lengte van de serviceduur exponentieel verdeeld is. De aanname vergemakkelijkt hiermee de analytische berekeningen zonder dat het teveel afbreuk doet aan de werkelijkheid.

In het simulatieprogramma kan makkelijk onder een andere verdeling het verschil in throughput tussen beide systemen worden uitgerekend. Omdat de servicetijden vaak toch een (soort van) minimum- en maximumduur zullen hebben, is het wellicht interessant om het effect van uniforme verdeelde servicetijden te bekijken. De servicetijd $T_{service}$ zal in dit onderzoek als volgt verdeeld zijn:

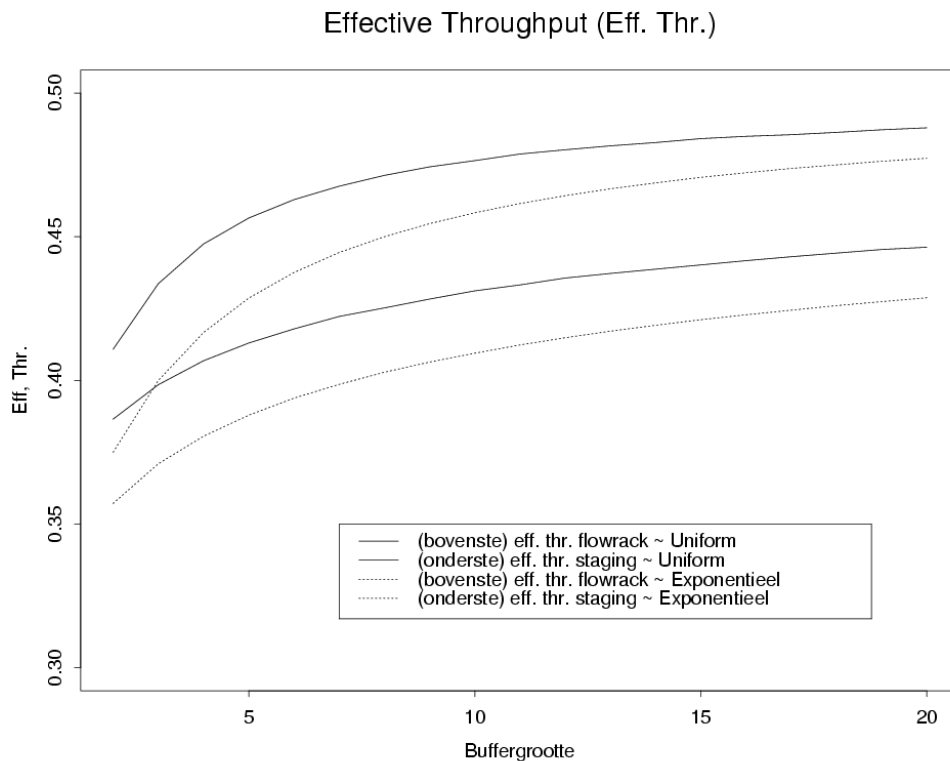
$$(9) \quad T_{service} \sim Uniform(1.5; 2.5)$$

De service tijd zal dus minimaal 1.5 en maximaal 2.5 tijdseenheden duren. Gemiddeld is de servicetijd van een pallet dus gelijk aan 2.0 wat overeenkomt met $\mu = 0.5$. Het effect op de delta staat in *Figuur 7*.



Figuur 7: de standaard-delta (exponentieel) en de delta onder uniform verdeelde servicetijd uitgezet tegen verschillende buffergrootten

De delta onder een uniform verdeelde servicetijd zal maximaal zijn bij buffergrootte 7 (10.85 %). Verder zal de delta tot en met buffergrootte 5 een hogere waarde hebben dan de standaarddelta. Na buffergrootte 5 zal het alleen maar een kleinere waarde aannemen. Dit kan men verklaren aan de hand van de *Figuur 8* waarin de effective throughput van beide systemen onder de verschillende verdeelde servicetijden, is uitgezet tegen verschillende buffergrootten.



Figuur 8: de effectieve throughput van beide systemen onder de verschillende servicetijdverdelingen uitgezet tegen verschillende buffergrootten.

Zoals men in *Figuur 8* kan zien is de effectieve throughput van beide systemen onder de uniform verdeelde servicetijd en buffergrootten 2 – 20, hoger dan in het geval van de exponentieel verdeelde servicetijd. De servicetijd onder de uniforme verdeling kan namelijk geen extreem hoge servicetijden aannemen. Dit komt ten goede aan de doorstroming van de pallets.

Tot en met buffergrootte 5 is het verschil in effectieve throughput tussen beide systemen onder de uniform verdeelde servicetijd dermate groot dat de delta een hogere waarde zal aannemen dan de standaarddelta. Na buffergrootte 5 komt hier verandering in omdat a) het absolute verschil in effectieve throughput tussen beide systemen onder de uniform verdeelde servicetijd een kleinere waarde aanneemt dan onder de exponentieel verdeelde servicetijd, en b) de effectieve throughput van beide systemen onder de uniform verdeelde servicetijd hogere waarden aannemen dan onder de exponentieel verdeelde servicetijd. Dit laatste zorgt ervoor dat het relatieve aandeel van het throughputverschil ten opzichte van de effectieve throughput van het staging-systeem kleiner zal worden.

Deze twee elementen samen verklaren de sterkere daling in de delta onder de uniform verdeelde servicetijd na een zekere buffergrootte, in dit geval buffergrootte 5.

5.3 Fractie Servicetijd Staging/Flowrack

In het artikel *Throughput Models for Unit-Load Crossdocking* is het gemiddelde aantal pallets dat men afwerkt per tijdseenheid voor beide systemen gelijk gesteld aan μ . De extra servicetijd die het staging-systeem kost om de verder gelegen pallets van de laan te halen of om preventief te werk te gaan en zodoende blocking-situaties te voorkomen, is niet verwerkt in *Onderzoek I*. Het zou volgens de schrijvers namelijk een irrelevant deel vormen van de totale servicetijd. Het verschil in afstand tussen travel-in queue en travel-from-queue zou namelijk vrij groot zijn, zie aanname 7 in 4.3.

Er zijn echter een tweetal punten op te merken ten opzichte van travel-in-queue en travel-from-queue:

1. Travel-in-queue wordt in het artikel gedefinieerd als de afstand die men aflegt om een pallet van een laan af te halen en in behandeling te nemen. Het preventief werken, het naar voren opschuiven van de pallets om ruimte te creëren voor nieuwe pallets in de laan, wordt hierbij niet meegenomen, hetgeen het relatieve aandeel van travel-in-queue in de totale servicetijd sterk kan vergroten.
2. In het artikel zou in het algemene crossdock model travel-in-queue gelijk zijn aan 10 à 15 pallets (afstand niet nader gespecificeerd in het artikel) en de travel-from-queue enkele tientallen meters. Deze afstanden zijn variabel en kunnen per crossdock wellicht sterk verschillen.

Om deze twee redenen zou het interessant kunnen zijn om voor staging en flowrack apart de gemiddelde servicetijd te definiëren: $1/\mu_{staging}$ en $1/\mu_{flowrack}$ waarbij

$1/\mu_{staging} > 1/\mu_{flowrack}$. De gemiddelde serviceduur zal dus bij het staging-systeem een grotere waarde aannemen dan bij het flowrack-systeem. In *Tabel 2* staat een overzicht welk effect vier verschillende $\mu_{staging}/\mu_{flowrack}$ fracties hebben op de delta. De waarden zijn analytisch berekend.

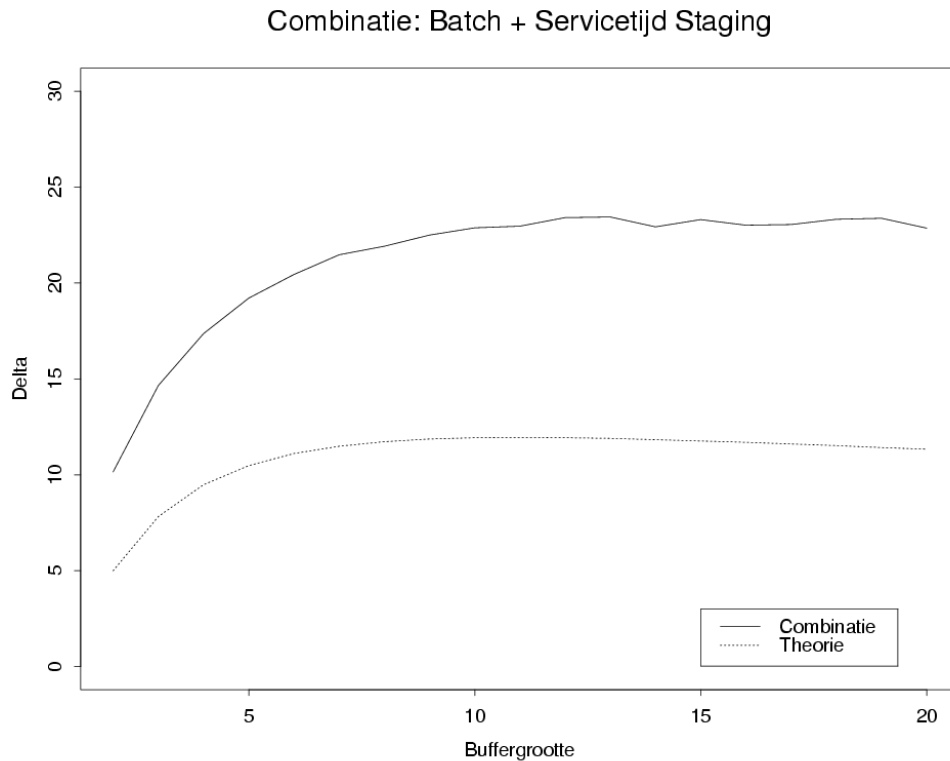
Tabel 2: delta onder verschillende fracties $\mu_{staging}/\mu_{flowrack}$ en buffergrootten

$\mu_{staging}/\mu_{flowrack}$	N = 5	N = 10	N = 15	N = 20
0.99	11.08	12.55	12.39	11.96
0.95	13.65	15.25	15.14	14.74
0.90	17.30	19.13	19.13	18.79
0.75	32.21	35.27	35.92	36.02

Uit de tabel blijkt dat een relatief groot verschil in gemiddelde serviceduur een sterke invloed heeft op de delta. Bij een fractie van $\mu_{staging}/\mu_{flowrack} = 0.75$ zal voor de relevante, in de praktijk meest voorkomende, buffergrootten (10-15) de delta rond de 35% liggen!

5.4 Combinatie

Onder een drietal andere aannamen is het effect op de delta berekend. In geval van het batch-aankomsten en een verlaagde servicegraad in geval van het staging-systeem, presteert het flowrack-systeem (veel) beter. Stel nu dat we deze twee aannamen combineren en de deltawaarden opnieuw uitrekenen. In *Figuur 9* kan men het effect zien op de delta onder: batch-aankomsten volgens *Tabel 1* en $\mu_{staging} / \mu_{flowrack} = 0.90$.

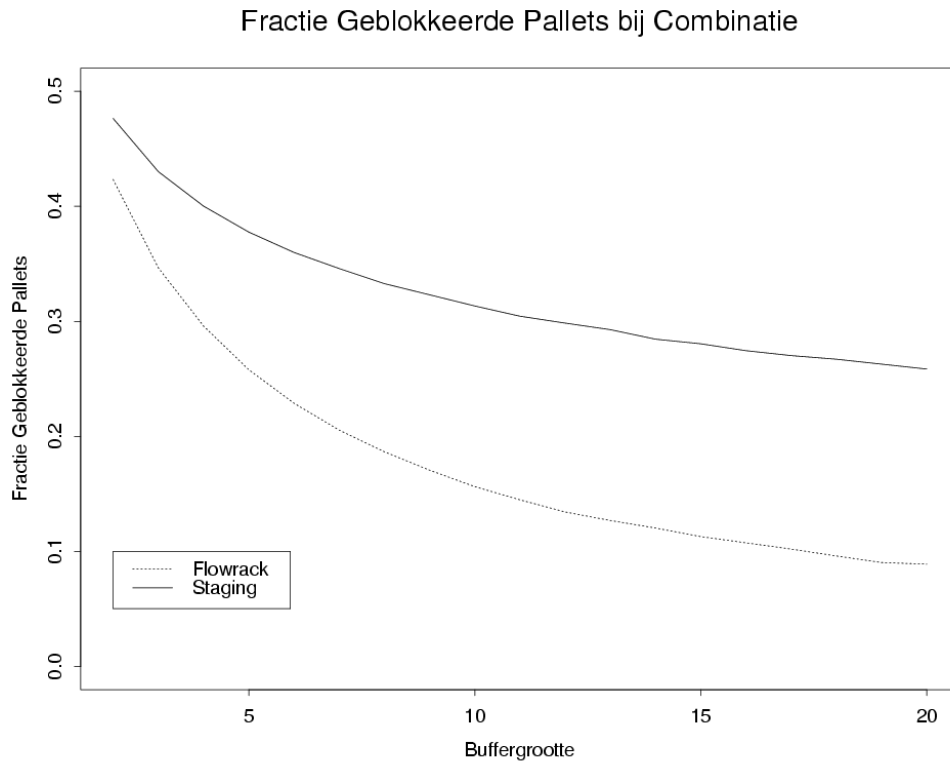


Figuur 9: de standaard-delta (theorie) en de delta onder combinatie uitgezet tegen verschillende buffergrootten

Uit simulatie blijkt dat de maximale delta (23.44%) bij buffergrootte 13 ligt, een verbetering ten opzichte van de delta verkregen in *5.1* en *5.3*.

5.5 Fractie Geblokkeerde Pallets

Onder de gecombineerde aannamen in 5.4 wordt de fractie geblokke pallets onder verschillende buffergrootten berekend van het flowrack- en staging-systeem. Dit levert de volgende Figuur op:

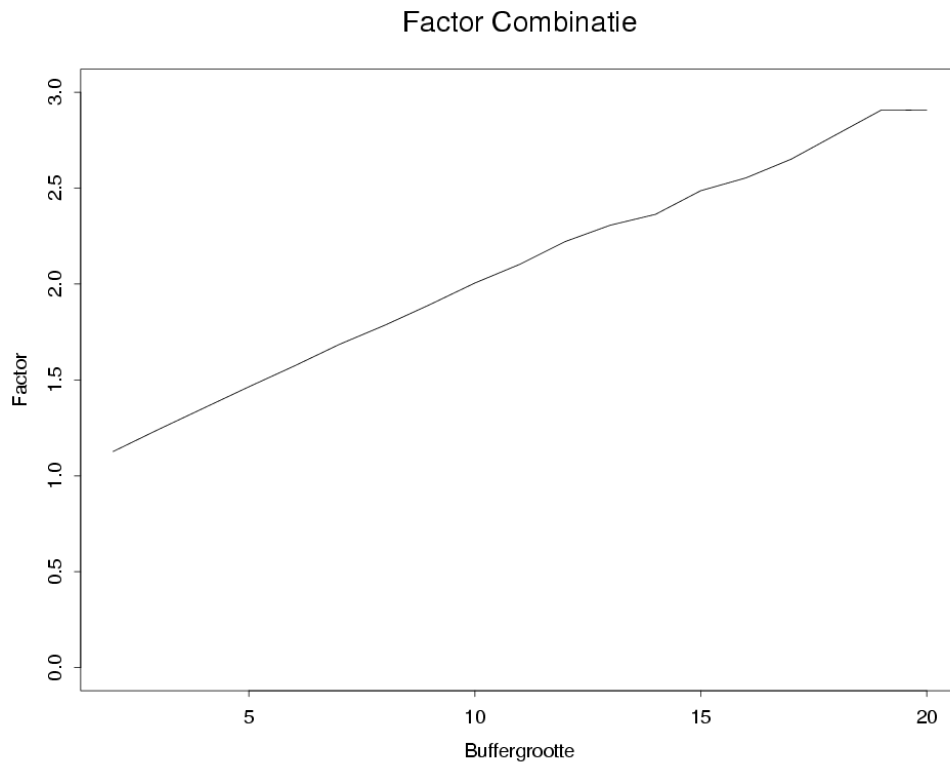


Figuur 10: fractie geblokkeerde pallets onder het flowrack- en stagingsysteem onder verschillende buffergrootten

Men kan in *Figuur 10* zien dat de fractie geblokke pallets, naarmate de buffergrootte toeneemt, in het flowrack-systeem sneller daalt dan bij het staging-systeem. In het flowrack-systeem zal bij een buffergrootte 13, de buffergrootte met de maximale delta, ongeveer 12.7% (fractie geblokkeerde pallets ≈ 0.127) van de aankomende pallets geblokkeerd worden. Deze pallets zullen dus ergens anders in het crossdock geplaatst moeten worden.

Het staging-systeem haalt bij deze buffergrootte ruim het dubbele percentage pallets dat geblokkeerd zal worden, namelijk 29.3% (fractie geblokkeerde pallets ≈ 0.293)!

De factor, fractie staging-systeem / fractie flowrack-systeem, kan ook uitgezet worden tegen de verschillende buffergrootten. Dit geeft *Figuur 11*.



Figuur 11: factor uitgezet tegen verschillende buffergrootte

De grafiek laat tot buffergrootte 20 een lineaire stijgende lijn zien. Bij buffergrootte 13 presteert het flowrack-systeem 2.3 keer beter dan het staging-systeem!

De fracties van beide systemen onder de afzonderlijke aangepaste aannamen (5.1 - 5.3) en de standaardaannamen (4.3), onder een buffergrootte van 13 (ter vergelijking), staan met de bijbehorende factor in *Tabel 3*.

Tabel 3: fracties geblokkeerde pallets onder verschillende instellingen (standaard, batch, service en $\mu_{staging} / \mu_{flowrack} = 0.90$) in geval van buffergrootte gelijk is aan 13.

Instelling	Fractie Staging	Fractie Flowrack	Factor
Standaard	0.166	0.066	2.49
Batch	0.248	0.127	1.95
Service duur	0.123	0.034	3.56
$\mu_{staging} / \mu_{flowrack} = 0.90$	0.217	0.066	3.26

De tabel laat waarden zien die qua fractie minder ernstige zijn dan in 5.4. De factors blijken op uitzondering van de batch-aankomsten, in vergelijking met 5.4 wel een grotere waarden aan te nemen.

6. Conclusie

Onderzoek II toonde onder andere aan dat het percentage throughputverschil tussen beide systemen, de zogenaamde delta, hoger kon uitvallen dan werd verondersteld in *Onderzoek I*. Het introduceren van batch-arrivals in *Onderzoek II* en het verlagen van de servicegraad van het staging-systeem ten opzichte van het flowrack-systeem, zorgden voor een veel positiever beeld van het flowrack-systeem.

In praktijk zal het verschil tussen beide systemen lager uitvallen omdat in principe preventieve en corrigerende maatregelen genomen kunnen worden om de throughput in het staging-systeem hoog te houden. Men zou bijvoorbeeld pallets die de throughput ophouden, eerder kunnen helpen of verplaatsen zodat ze nieuwe pallets niet kunnen hinderen. Ook wordt vaak met parallelle lanen gewerkt hetgeen de effectieve throughput van het staging-systeem aanzienlijk zal verbeteren. Batch aankomsten zullen dan ook een lagere delta aannemen dan in *Onderzoek II* wordt verondersteld. Men zal wel moeten realiseren dat preventieve en corrigerende activiteiten ten kosten gaan van de beschikbare mankracht. Dit zou vertaald kunnen worden naar extra servicetijd die het staging-systeem nodig zal hebben om de preventieve en corrigerende activiteiten uit te voeren. Maakt deze extra servicetijd een groot deel uit van de totale servicetijd dan heeft men in **4.3** kunnen zien dat dit zeker zijn invloed heeft op de delta. En het gebruiken van parallelle lanen zal uiteraard ten koste gaan van de ruimte in een crossdock.

Wanneer het onderzoeksobjectief veranderd wordt naar de fractie van het geblokkeerde pallets zal in het geval de ruimte een schaars goed is, het flowrack-systeem zeker in het voordeel zijn. Voor verschillende instellingen bleek het staging-systeem met een factor van 2 - 3.5 slechter te presteren dan het flowrack-systeem. Onder het flowrack-systeem zal het interne proces betreft de doorstroming van de pallets dus makkelijker te organiseren zijn dan bij het staging-systeem. Een waardevolle 'eigenschap' bij complexe processen.

Door enkele nuances in de modellen van *Onderzoek I* aan te brengen, werden duidelijk andere resultaten gehaald. Dit verzwakt naar mijn inziens de conclusie van het artikel om het flowrack-systeem links te laten liggen. Dit allemaal brengt mij tot de algemene conclusie dat *Onderzoek I* een te eenzijdig beeld heeft gegeven van het flowrack- en staging-systeem.

7. Bibliografie

- [1] John J. Bartholdi III Throughput Models for Unit-Load
Kevin R. Gue Crossdocking
Keebom Kang
- [2] John J. Bartholdi III Staging Freight in a Crossdock
Kevin R. Gue
- [3] Keebom Kang Crossdocking: Just-In-Time for Distribution
Kevin R. Gue