



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

De effectiviteit en toepasbaarheid van value stream mapping: een kritische studie aan de hand van factory physics

Sien Goedhuys

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

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

2021
2022



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

De effectiviteit en toepasbaarheid van value stream mapping: een kritische studie aan de hand van factory physics

Sien Goedhuys

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

Prof. dr. Inneke VAN NIEUWENHUYSE

De effectiviteit en toepasbaarheid van value stream mapping: een kritische studie aan de hand van factory physics

Sien Goedhuys
Handelsingenieur
Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen, UHasselt

Value stream mapping is een populaire tool die frequent door organisaties wordt toegepast om lean te worden. Hoewel de algemene perceptie bestaat dat value stream mapping kan bijdragen aan het verbeteren van de efficiëntie van organisaties, is literatuur met betrekking tot hoe men deze efficiëntie bereikt gering. In deze studie wordt dan ook onderzocht of er een wetenschappelijke grond bestaat voor de effectiviteit en toepasbaarheid van value stream mapping. Dit wordt gedaan door terug te koppelen naar het factory physics denkkader. Via een vergelijking tussen value stream mapping en factory physics, wordt aangetoond dat het blindelings toepassen van value stream mapping principes en tools, niet steeds tot de gewenste doelstellingen leidt.

Kernwoorden: lean philosophy, value stream mapping, value stream mapping tools, factory physics

1. Inleiding

Lean is een productiefilosofie die zich richt op het minimaliseren van activiteiten die geen waarde toevoegen voor de klant om de algehele productiviteit en efficiëntie van een organisatie te verbeteren (Womack, Jones, & Roos, 1990). Hoewel er een overvloed aan tools bestaat om als organisatie lean te worden, beschrijft Womack (2006) value stream mapping als de belangrijkste tool die lean thinkers nodig hebben om duurzame vooruitgang te boeken in de strijd tegen activiteiten die geen waarde toevoegen. Value stream mapping, afgekort VSM, is een eenvoudige en visuele tool die organisaties in staat stelt om materiaal- en informatiestromen te documenteren en verspillingen te elimineren (Hines & Rich, 1997). Ondanks de uitgebreide literatuur over de effectiviteit van value stream mapping (Abdulmalek & Rajgopal, 2007; Rother & Shook, 1999; Serrano Lasa, Ochoa Laburu, & de Castro Vila, 2008; Shou, Wang, Wu, Wang, & Chong, 2017; Singh, Garg, & Sharma, 2010), is het niet altijd duidelijk waar deze effectiviteit vandaan komt en of het wel altijd wenselijk is om de doelstellingen van value stream mapping na te streven. Daarom onderzoekt deze studie in hoeverre er een wetenschappelijke grond is voor de effectiviteit van value stream mapping met behulp van factory physics. Factory physics is een systematische en wetenschappelijke beschrijving van het gedrag van productiesystemen (Sunder M & Ganesh, 2021). Via kwantitatieve wetten vormt factory physics de sleutel tot de ontwikkeling van doeltreffende productiesystemen (W. J. Hopp & Spearman, 1996). De rest van dit artikel is als volgt ingedeeld: sectie 2 focust op de methodologie, terwijl sectie 3 factory physics introduceert. Voorts behandelt sectie 4 value stream mapping binnen het denkkader van lean en wordt er verwezen naar het

denkkader van factory physics om de effectiviteit van value stream mapping te verifiëren. Tot slot bevat sectie 5 de conclusies en inzichten die uit deze studie voortvloeien.

2. Methodologie

De databases die voor dit onderzoek werden gebruikt zijn onder andere: Bibliotheek UHasselt, Google Scholar en Web of Science. Na het bepalen van de belangrijkste databases, is de volgende stap het gebruik van trefwoorden om de reikwijdte van de zoektocht naar literatuur te verfijnen. De volgende trefwoorden bleken nuttig: Lean Philosophy, Value Stream Mapping, VSM, VSM Tools, Factory Physics, Little's Law, Kingman Equation, Factory Dynamics, Kanban, CONWIP...

Na het gebruik van verschillende combinaties van trefwoorden, werd de resulterende lijst herleid door enkele inclusie- en exclusiecriteria toe te passen. Inclusiecriteria zijn eigenschappen waaraan de gevonden literatuur moet voldoen om opgenomen te worden in de literatuurlijst, terwijl exclusiecriteria kenmerken zijn die literatuur uitsluiten voor dit onderzoek. Een belangrijk inclusie criterium is dat de literatuur afkomstig is van een betrouwbare bron. Om dit na te gaan, werd de impactfactor van het tijdschrift, waarin het artikel gepubliceerd werd, bestudeerd. Een impactfactor van Q1, Q2 of Q3 werd toegelaten. Artikels met een impactfactor van Q4 werden geschrapt. Om de betrouwbaarheid van boeken te beoordelen, werd onderzocht of de auteur een beduidende rol speelt binnen het vakgebied, verbonden is met een betrouwbare instelling of een hirsch-index (h-index) van meer dan 20 heeft (Hirsch, 2005). Voor online artikels werd nagegaan of deze een peer-reviewproces hebben doorlopen. Literatuur die niet in het Engels geschreven is, werd uitgesloten van dit onderzoek.

3. Factory physics

In deze sectie worden de concepten en notatie van factory physics toegelicht, gevolgd door enkele cruciale factory physics wetten en inzichten.

3.1 Concepten en notatie

Factory physics is een systematische en wetenschappelijke beschrijving van het gedrag van productiesystemen. Dankzij wetenschap kunnen er (1) kwantitatieve relaties opgesteld worden die het gedrag van een systeem beschrijven, (2) theorieën voor complexe en reële systemen gebouwd worden op basis van theorieën voor eenvoudige systemen en (3) kan er gebruik gemaakt worden van intuïtieve sleutelrelaties (W. J. Hopp & Spearman, 1996; Sunder M & Ganesh, 2021). Bovendien stellen de inzichten, verkregen door factory physics, managers en ingenieurs in staat om (1) mogelijkheden te identificeren voor het verbeteren van bestaande systemen, (2) effectieve nieuwe systemen te ontwerpen en (3) afwegingen te maken die nodig zijn om beleid op verschillende gebieden op elkaar af te stemmen.

Een wetenschappelijke methode vereist precieze terminologie. Doordat het gebruik van termen in de literatuur over operationeel management niet gestandaardiseerd is, volgt in Tabel 1 een definitie van enkele cruciale begrippen (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

Begrip	Definitie
Work in process (WIP)	De voorraad tussen het begin- en eindpunt van het productieproces
Throughput rate (TH)	De gemiddelde gerealiseerde output per tijdseenheid van een productieproces
Cycle time (CT)	De tijd die een producteenheid of productiebatch doorbrengt als work in process in het productieproces
Lead time	De verwachte tijd tussen de effectieve order van de klant en de aflevering van het product bij de klant
Service level	De kans dat de cycle time kleiner is dan de lead time
Utilization rate	De fractie van de tijd dat een machine of werknemer bezig is en niet werkloos is door een gebrek aan onderdelen
Capaciteit	De maximale throughput die een machine of werknemer kan bereiken
Bottleneck	Het punt in het productieproces met de hoogste utilization rate
Effectieve procestijd	De procestijd inclusief verstoringen zoals stroomuitval, setup tijden, schoonmaken, kwaliteitsproblemen en herbewerking
Interarrival time	De tijd tussen twee opeenvolgende eenheden of entiteiten in het productieproces

Tabel 1: Definities factory physics (W. J. Hopp & Spearman, 1996)

3.2 Wetten en inzichten

Om het gedrag van productiesystemen te beschrijven, maakt factory physics gebruik van een aantal wetten (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

3.2.1 De wet van Little

Een eerste belangrijke wet is de wet van Little (Little, 1961, 2011; Suri, 1998):

$$WIP = TH \cdot CT$$

Volgens de wet van Little is het gemiddelde WIP-niveau van een systeem gelijk aan het product van de gemiddelde throughput rate en de gemiddelde cycle time van dat systeem. De wet van Little kan worden toegepast op één productiestap of een hele productielijn. Zolang de drie hoeveelheden in

consistente eenheden worden gemeten, zal de wet van Little op lange termijn gelden (Little, 2011). In zekere zin kan men de wet van Little vergelijken met de tweede bewegingswet van Newton ($F = ma$) (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Het is een breed toepasbare vergelijking die drie fundamentele grootheden met elkaar in verband brengt.

Uit de wet van Little blijkt dat indien men de throughput rate constant houdt, men de cycle time kan doen dalen door het WIP-niveau te reduceren (Little, 2011). Bovendien is het mogelijk om dezelfde throughput rate te bereiken met een grote WIP en een lange cycle time of met een kleine WIP en een korte cycle time (Suri, 1998).

Hoewel een productieproces met een lage WIP en een korte cycle time de voorkeur krijgt, hangt de situatie waarin een proces verkeert af van flowvariabiliteit en procesvariabiliteit (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Flowvariabiliteit wordt veroorzaakt door de manier waarop werk in het systeem wordt gelanceerd of tussen werkstations wordt verplaatst (W.J. Hopp, 2011). Procesvariabiliteit kan daarentegen veroorzaakt worden door variaties in werkprocedures, setup tijden, kwaliteitsproblemen, machinestoringen of langdurige uitval van machines (W.J. Hopp, 2011). Variabiliteit komt voor in alle productiesystemen en kan een enorme invloed hebben op de performantie van een productiesysteem (Pound, Bell, & Spearman, 2014).

3.2.2 De vergelijking van Kingman

De vergelijking van Kingman, ook wel de VUT-vergelijking genoemd, geeft het verband weer tussen de tijd in de wachtrij (CT_q), flow- en procesvariabiliteit, utilization en procestijd (Kingman, 1961):

$$CT_q = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e$$

$$CT_q = VUT$$

waarbij

$V = \text{variabiliteit}$

$U = \text{utilization}$

$T = \text{procestijd}$

Om flowvariabiliteit te kwantificeren wordt gebruik gemaakt van de gekwadrateerde variatiecoëfficiënt van de interarrival times (c_a^2) (W.J. Hopp, 2011). De gekwadrateerde variatiecoëfficiënt meet de relatieve variabiliteit van een variabele door de standaardafwijking te delen door het gemiddelde en dit quotiënt te kwadrateren. Procesvariabiliteit wordt daarentegen gemeten door de gekwadrateerde variatiecoëfficiënt van de effectieve procestijd (c_e^2) (W.J. Hopp, 2011). De tweede factor in de vergelijking van Kingman geeft de utilization rate weer, terwijl de derde factor de gemiddelde effectieve procestijd weerspiegelt. Uit de vergelijking van Kingman blijkt dat de tijd in de

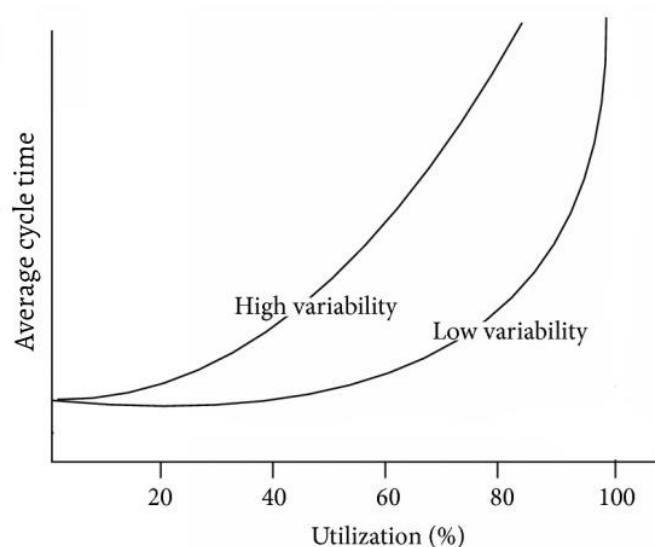
wachtrij evenredig is met het product van variabiliteit (V), utilization (U) en procestijd (T) (Kingman, 1961).

Een ander belangrijk verband is de relatie tussen cycle time en tijd in de wachtrij. Cycle time kan namelijk gedefinieerd worden als de som van de tijd in de wachtrij en de gemiddelde effectieve procestijd (W. J. Hopp & Spearman, 1996):

$$CT = CT_q + t_e$$

3.2.3 De wet van de utilization rate

De vergelijking van Kingman en de relatie tussen cycle time en tijd in de wachtrij suggereren dat er twee drivers zijn voor een stijging in cycle time: utilization en variabiliteit (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Doordat de vergelijking van Kingman een $(1-u)$ -term in de noemer heeft, nadert de cycle time oneindig wanneer de utilization rate 100% nadert (W. J. Hopp & Spearman, 1996). De grafiek in Figuur 1 toont het verband tussen gemiddelde cycle time en utilization rate. In deze figuur exploderen beide functies naarmate de utilization rate stijgt, maar de functie die gekoppeld is aan een systeem met hoge variabiliteit stijgt sneller dan de functie die gekoppeld is aan een systeem met lage variabiliteit (W.J. Hopp, 2011). Uit de wet van Little kan men concluderen dat het WIP-niveau eveneens exponentieel stijgt naarmate de utilization rate stijgt (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Bovenstaande bevindingen worden samengevat door de wet van de utilization rate : als men de utilization rate verhoogt, zonder andere veranderingen in het systeem aan te brengen, zullen de gemiddelde cycle time en WIP exponentieel toenemen (Chen & Ye, 2002; W.J. Hopp, 2011).



Figuur 1: Het verband tussen gemiddelde cycle time en utilization rate (W. J. Hopp & Spearman, 1996)

3.2.4 De wet van de variabiliteit

De performantie van een productiesysteem kan gekwantificeerd worden via efficiëntiemaatstaven zoals: inventory efficiëntie, utilization efficiëntie, cycle time efficiëntie, lead time efficiëntie, service efficiëntie en kwaliteitsefficiëntie (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

Inventory efficiëntie wordt gedefinieerd als de mate waarin de totale voorraad beperkt wordt tot de minimale WIP die nodig is voor de gegeven throughput. Utilization efficiëntie kan gedefinieerd worden als de werkelijke utilization rate ten opzichte van de best mogelijke utilization rate zonder downtime en setup time. Cycle time efficiëntie is de ratio van de best mogelijke cycle time, ten opzichte van de werkelijke cycle time en lead time efficiëntie kan omschreven worden als de verhouding tussen de ideale lead time en de werkelijke lead time. Voorts geeft service efficiëntie de fractie van de vraag weer die op tijd kan worden ingewilligd. De kwaliteitsefficiëntie wordt tenslotte bepaald door het percentage onderdelen die vanaf de eerste keer in het productieproces correct worden gemaakt en geen herbewerking nodig hebben (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

Door het verhogen van een willekeurige bron van variabiliteit daalt ten minste één van de bovengenoemde efficiëntiemaatstaven (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Via de vergelijking van Kingman, de relatie tussen cycle time en tijd in de wachtrij en de wet van Little kan bijvoorbeeld aangetoond worden dat een verhoging in de variabiliteit van de procestijd, terwijl de throughput rate constant gehouden wordt, een toename in WIP veroorzaakt, waardoor de inventory efficiëntie afneemt (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Deze bevinding wordt door Hopp en Spearman (1996) samengevat in de wet van de variabiliteit: een toename van de variabiliteit in een productiesysteem, veroorzaakt een daling in de performantie van dat productiesysteem (Sunder M & Ganesh, 2021).

3.2.5 De wet van de variabiliteitsbuffers

Ondanks dat een toename van de variabiliteit de performantie van een productiesysteem vermindert, kan een organisatie kiezen via welke dimensie en in welke mate de performantie daalt. Hoezeer de performantie daalt, hangt af van waar in het productieproces de variabiliteit ontstaat. Indien er sprake is van een push systeem, zal variabiliteit in het begin van het productieproces resulteren in meer variabiliteit in het downstream proces. Hierdoor worden pogingen om variabiliteit te verminderen best aan het begin van het productieproces ondernomen (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Bovendien kan variabiliteit het productiesysteem via drie dimensies beïnvloeden: voorraad, capaciteit en tijd (Spearman, 2014). Bij een stijging in de variabiliteit meet inventory efficiëntie de gevolgen voor de voorraad, utilization efficiëntie de impact op de capaciteit en cycle time, lead time en service efficiëntie meten de weerslag op de tijd. De kwaliteitsefficiëntie geeft de invloed van de variabiliteitsstijging weer in alle drie de dimensies, aangezien goederen afkeuren of herwerken extra capaciteit vergt, extra tijd kost en extra voorraad aan het systeem toevoegt (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Een andere manier

om deze drie dimensies te bekijken is als buffers waarmee organisaties hun productiesysteem kunnen controleren. Deze vaststelling werd benoemd tot de wet van de variabiliteitsbuffers: de variabiliteit in een productiesysteem kan gebufferd worden door een combinatie van voorraad, capaciteit en tijd (Spearman, 2014).

Verschillende strategieën om met variabiliteit om te gaan, zijn zinvol in verschillende bedrijfsomgevingen (W. J. Hopp & Spearman, 1996). De wet van de variabiliteitsbuffers wordt ook de "pay me now or pay me later" wet genoemd, aangezien organisaties die hun variabiliteit niet kunnen verminderen, zullen inboeten op vlak van verloren throughput, verspilde capaciteit, langere cycle times en hogere WIP-niveaus of langere lead times en slechte service (Godinho Filho & Uzsoy, 2010; W. J. Hopp & Spearman, 1996).

3.2.6 De wet van de lead time

Een andere belangrijke wet in factory physics is de wet van de lead time. Deze wet duidt het verband tussen cycle time, lead time en service level. Cycle time is een variabele die aangeeft hoeveel tijd een individuele job nodig heeft om een bepaalde route te doorlopen, terwijl lead time een managementconstante is die wordt gebruikt om de verwachte of maximaal toegestane cycle time voor een job aan te geven (Chen & Ye, 2002).

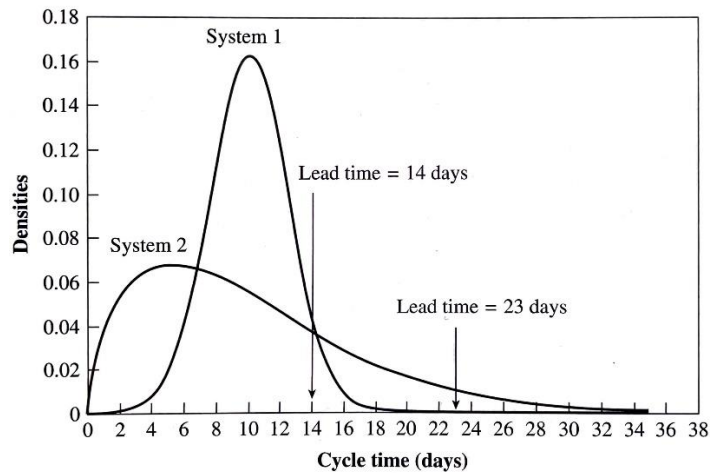
In een productiesysteem met oneindige capaciteit en geen variabiliteit zijn cycle time en lead time identiek. Een manager van een dergelijk systeem zou klanten een lead time kunnen beloven die gelijk is aan de cycle time. Bovendien zou de manager zeker zijn dat een service level van 100% behaald wordt, aangezien het service level bepaald wordt door de kans dat de cycle time kleiner is dan de lead time. Echter, doordat variabiliteit voorkomt in alle productiesystemen, is dit scenario niet realistisch (Pound et al., 2014).

In reële productiesystemen met variabiliteit dienen er langere lead times opgegeven te worden om hetzelfde service level te bereiken als in de situatie zonder variabiliteit. Om lead times te berekenen, moet men namelijk de gemiddelde cycle time optellen met een safety lead time. Deze safety lead time is een veelvoud van de standaardafwijking van de cycle time. Het veelvoud wordt in onderstaande formule genoteerd als z_s en is afhankelijk van het gewenste serviceniveau (Chen & Ye, 2002).

$$\begin{aligned} \text{Lead time} &= \text{gemiddelde cycle time} + \text{safety lead time} \\ &= \text{gemiddelde cycle time} + z_s \cdot \text{standaardafwijking cycle time} \end{aligned}$$

Om de impact van variabiliteit op lead time te illustreren worden in Figuur 2 twee systemen vergeleken. Beide systemen hebben een gemiddelde cycle time van 10 dagen, maar systeem 2 vertoont een grotere standaardafwijking in de cycle time dan systeem 1. Om een serviceniveau van 90 procent te

bereiken, moet systeem 1 een lead time van 14 dagen opgeven, terwijl systeem 2 een lead time van 23 dagen moet opgeven (W. J. Hopp & Spearman, 1996).



Figuur 2: Effect van cycle time variabiliteit op lead time (W. J. Hopp & Spearman, 1996)

Deze bevindingen worden samengevat in de wet van de lead time: de lead time voor een route die een bepaald service level oplevert, is een toenemende functie van zowel het gemiddelde als de standaardafwijking van de cycle time van die route (Chen & Ye, 2002; W. J. Hopp & Spearman, 1996).

3.2.7 De wet van de herbewerking

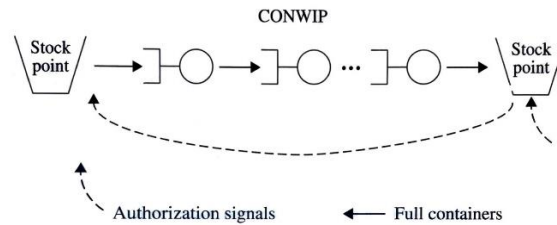
Factoren die de gemiddelde cycle time opdrijven, zijn onder meer willekeurige onderbrekingen, setups en herbewerking door defecten. Vooral herbewerking verhoogt de gemiddelde cycle time aanzienlijk. Bovendien neemt de variabiliteit van de cycle time ook drastisch toe, indien de kans bestaat dat een product een deel van de productielijn opnieuw moet doorlopen (Pound et al., 2014).

Dit kan worden samengevat in de wet van de herbewerking: voor een gegeven throughput level verhoogt herbewerking zowel de gemiddelde cycle time als de standaardafwijking van de cycle time van een proces (Chen & Ye, 2002; W. J. Hopp & Spearman, 1996).

3.2.8 De wet van de CONWIP-efficiëntie

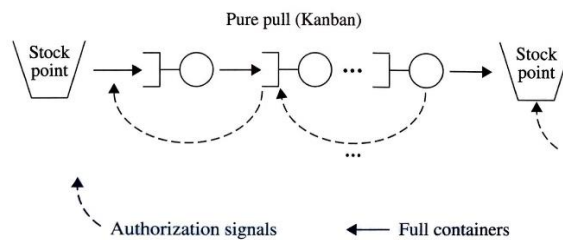
Tot slot kan er een onderscheid gemaakt worden tussen push en pull productiesystemen. In een push systeem wordt werk geïnitieerd door een signaal van buiten het systeem, terwijl in een pull systeem werk geïnitieerd wordt door de status van het systeem zelf. De meest bekende manier om een pull systeem op te zetten is het gebruik van de kanban techniek. Desalniettemin bestaan er andere manieren om pull te implementeren, zoals bijvoorbeeld een CONWIP (constant work in process) systeem (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

Een CONWIP (constant work in process) systeem (Figuur 3) kan voorgesteld worden als een gesloten netwerk, waarin jobs het systeem nooit verlaten en voor onbepaalde tijd in het netwerk circuleren. In werkelijkheid zijn de binnenkomende jobs echter wel verschillend van de uitgaande jobs. Het eerste werkstation mag enkel een nieuwe job starten, indien een andere job het laatste werkstation heeft verlaten (Pettersen & Segerstedt, 2009).



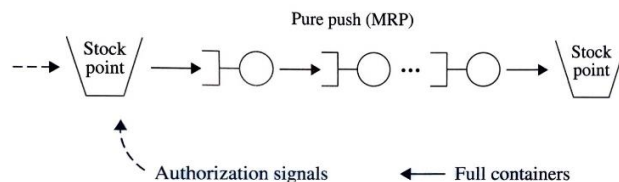
Figuur 3: CONWIP (W. J. Hopp & Spearman, 1996)

Een kanban systeem (Figuur 4) kan daarentegen worden gezien als een gesloten netwerk dat het aantal jobs op elk werkstation beperkt. Met behulp van kanbankaarten wordt een maximum WIP-niveau bepaald voor elk werkstation. Een upstream werkstation mag enkel een nieuwe job starten, indien het van het eerstvolgende werkstation downstream een signaal heeft gekregen (upstream verwijst naar het begin van het productieproces, terwijl downstream verwijst naar het einde van het productieproces) (Pettersen & Segerstedt, 2009).



Figuur 4: Kanban (W. J. Hopp & Spearman, 1996)

Zowel CONWIP als kanban zijn pull systemen, waarbij werk geïnitieerd wordt door de status van het systeem zelf. Een zuiver push systeem (Figuur 5) kan beschouwd worden als een open netwerk, waarin het initiëren van jobs plaatsvindt zonder rekening te houden met het huidige aantal jobs in de lijn (W. J. Hopp & Spearman, 1996).



Figuur 5: Push (W. J. Hopp & Spearman, 1996)

De wet van de CONWIP-efficiëntie geeft aan dat bij een gegeven throughput rate een push systeem gemiddeld meer WIP zal hebben dan een equivalent CONWIP systeem (Chen & Ye, 2002; W. J. Hopp & Spearman, 1996).

Wanneer de wet van Little vervolgens toegepast wordt, kan men concluderen dat voor een gegeven throughput level, een push systeem langere gemiddelde cycle times heeft dan een gelijkwaardig CONWIP systeem (W. J. Hopp & Spearman, 1996; Little, 2011).

Bovendien kan worden aangetoond dat de cycle times van push systemen meer variabel zijn dan die van equivalente CONWIP systemen. Het WIP-niveau van een CONWIP systeem ligt namelijk per definitie vast op een bepaald niveau x . Indien er x WIP is op station 1, is er geen WIP op andere werkstations. De kennis over het WIP-niveau op een station onthult dus hoeveel WIP er op andere stations aanwezig is. In een push systeem zijn de WIP-niveaus per station echter onafhankelijk van elkaar. Een hoog WIP-niveau op station 1 zegt niets over de WIP-niveaus op de andere stations. Het is dus mogelijk dat de WIP-niveaus op verschillende stations tegelijk hoog (of laag) zijn. Aangezien cycle time rechtstreeks verband houdt met WIP door middel van de wet van Little, betekent dit dat extreem hoge of lage cycle times mogelijk zijn. Cycle times in een push systeem vertonen dus meer variabiliteit dan cycle times in een gelijkwaardig CONWIP systeem (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

De grotere variabiliteit van het push systeem geeft aanleiding tot een grotere standaardafwijking van de cycle time. Doordat het push systeem een grotere gemiddelde cycle time en standaardafwijking vertoont, zullen de lead times in het push systeem dus langer zijn dan bij een gelijkwaardig CONWIP systeem voor gelijkblijvend service level (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

4. VSM binnen het denkkader van lean

In deze sectie wordt value stream mapping eerst gekaderd binnen de productiefilosofie van lean. Vervolgens wordt er gefocust op value stream mapping zelf en de bijbehorende value stream mapping tools. Door terug te koppelen naar factory physics concepten en wetten, wordt getracht een wetenschappelijke grond te vinden voor de effectiviteit van value stream mapping.

4.1 De lean filosofie

Het concept 'lean' ontstond eind twintigste eeuw op de werkvloer van de Japanse autofabrikant Toyota onder leiding van Taiichi Ohno (Hines, Holweg, & Rich, 2004). Lean is een productiefilosofie die erop gericht is om maximale waarde voor de klant te realiseren met zo min mogelijk verspilling (Womack et al., 1990). Nadat Japan getroffen werd door twee atoombommen in 1945, waren de meeste industrieën vernietigd en bleek er een tekort aan grondstoffen (Liker, 2004). Terwijl Toyota zijn processen moest herdenken omwille van beperkte middelen, focusten concurrerende autofabrikanten zoals Ford op massaproductie (Liker, 2004). Hoewel massaproductie dominant was in veel Amerikaanse

organisaties had de filosofie ook een keerzijde. Eén van de kritieken op massaproductie is dat elke cel in het productieproces als een geïsoleerd eiland goederen produceert en vervolgens het product vooruit 'pusht' naar de volgende cel, zonder naar de werkelijke behoefte van de klant te kijken. In een push systeem worden producten geproduceerd op basis van een voorspelde vraag in plaats van de werkelijke vraag. Hierdoor is het productieproces geneigd om producten te produceren die de klant nu niet nodig heeft en bijgevolg in de voorraad terecht komen. Uiteindelijk brengt het product een lange tijd door in het proces, terwijl er slechts gedurende een beperkte tijd waarde wordt toegevoegd voor de klant (Rother & Shook, 1999). De lean filosofie focust daarentegen op het elimineren van verspillingen (of muda in het Japans) uit het productieproces, om de lead time van grondstof tot afgewerkt product te reduceren (Hines et al., 2004; Rother & Shook, 1999). Verspilling kan gedefinieerd worden als elke menselijke activiteit die middelen absorbeert maar geen waarde creëert voor de klant (Womack & Jones, 1996). Liker en Meier (2005) beschreven zeven fundamentele activiteiten die geen waarde creëren:

- (1) Overproductie: Het eerder of in grotere hoeveelheden produceren dan de klant vraagt. Door overproductie ontstaan andere types verspilling zoals overbezetting of beheer- en transportkosten als gevolg van overtollige voorraad. Voorraad kan wijzen op fysieke goederen of een wachtrij van informatie.
- (2) Wachten: Aspecten die als wachten worden beschouwd, zijn het toezien op een geautomatiseerde machine, wachten op de volgende bewerkingsstap of de beschikbaarheid van een werktuig, geen werk hebben omdat er geen voorraad is, verwerkingsachterstanden, uitval van machines en bottlenecks op vlak van capaciteit.
- (3) Transport: Het verplaatsen van work in process of het verplaatsen van materialen, onderdelen of afgewerkte goederen.
- (4) Oververwerking of onjuiste verwerking: Het onnodig bewerken van onderdelen zoals het veroorzaken van onnodige bewegingen en productiedefecten als gevolg van gebrekkig gereedschap of een slecht productontwerp, het creëren van verspilling door producten af te leveren met een hogere kwaliteit dan nodig en het uitvoeren van extra werk om de overtollige tijd op te vullen in plaats van de tijd te besteden aan wachten.
- (5) Overbodige voorraad: Overtollige grondstoffen, work in process en afgewerkte producten veroorzaken langere lead times, veroudering, beschadigde goederen, transport- en opslagkosten en vertraging. Bovendien verbergt extra voorraad problemen zoals verschillende productieritmes per machine, late leveringen van leveranciers, defecten, uitval van werktuigen en lange setup tijden.
- (6) Onnodige beweging: Elke beweging die werknemers moeten uitvoeren tijdens hun werk, die geen waarde toevoegt aan het onderdeel, zoals lopen, reiken naar/zoeken naar/het stapelen van onderdelen of gereedschap.

- (7) Defecten: Productie, inspectie of correctie van defecte onderdelen betekent verspilling van tijd, moeite en middelen.

De zeven bovengenoemde verspillingen zijn cruciaal omwille van hun invloed op de ongebruikte creativiteit van werknemers. Deze wordt vaak genoemd als achtste verspilling en omvat verlies van tijd, ideeën, vaardigheden, verbeteringen, en leermogelijkheden door het niet betrekken van of luisteren naar medewerkers. Verder wordt overproductie als de meest fundamentele verspilling aangeduid, omdat het als oorzaak gezien kan worden van de meeste andere verspillingen (Liker & Meier, 2005).

In tegenstelling tot Liker en Meier (2005), pleit Hopp (2018) ervoor om activiteiten die geen waarde creëren, op te delen in drie vormen van verspilling die overeenstemmen met de variabiliteitsbuffers uit factory physics:

- (1) Voorraadverspilling: grondstoffen en work in process die niet onmiddellijk door het proces worden gebruikt en eindproducten die niet onmiddellijk aan de klant worden geleverd.
- (2) Capaciteitsverspilling: ongebruikte middelen en gebruikte middelen die geen waarde voor de klant creëren (bijvoorbeeld door het produceren van defecte goederen).
- (3) Tijdsverspilling: elke vertraging in de levering van een product of dienst aan een klant.

Hoewel voorraad- en capaciteitsverspillingen middelen vergen en geen waarde voor de klant creëren, resulteert tijdsverspilling in een verlies aan waarde voor de klant en kan het potentieel leiden tot een inkomstenverlies voor de producent (Wallace J. Hopp, 2018).

De belangrijkste oorzaak van de drie verspillingen is variabiliteit (of mura in het Japans) ten gevolge van een mismatch tussen het tempo waarop orders aankomen, grondstoffen aankomen en goederen bewerkt worden. Tijdsverspilling wordt bijvoorbeeld gecreëerd indien een order aankomt voordat de benodigde grondstoffen of capaciteit beschikbaar zijn. Voorraadverspilling kan daarentegen voorkomen indien grondstoffen aankomen voordat een order is aangekomen of de benodigde capaciteit beschikbaar is of indien de grondstoffen reeds verwerkt werden tot een finaal product, maar er geen klantorder is. Capaciteitsverspilling treedt op indien er voldoende capaciteit is, maar er onvoldoende orders of grondstoffen zijn. Kortom, om verspillingen te beperken, moeten zoveel mogelijk bronnen van variabiliteit worden geïdentificeerd en gereduceerd, en dient de resterende variabiliteit zo efficiënt mogelijk gebufferd te worden (Wallace J. Hopp, 2018).

Voorts werden er vijf belangrijke principes gedefinieerd, die men moet toepassen om lean te worden (Liker, 2004; Womack & Jones, 1996):

- (1) Specificeer de waarde per productfamilie vanuit het oogpunt van de eindgebruiker. Waarde kan gedefinieerd worden als activiteiten waar een consument voor wil betalen. Alle andere activiteiten worden beschouwd als verspilling.

- (2) Identificeer de waardeestroom en elimineer waar mogelijk de stappen die geen waarde (zoals bepaald in (1)) toevoegen. De waardeestroom omvat alle acties die nodig zijn om een product tot bij de eindgebruiker te brengen.
- (3) Laat de stappen die waarde (zoals bepaald in (1)) creëren in een strakke volgorde plaatsvinden zodat het product vlot naar de klant toevloeit.
- (4) Leg de nadruk op een ‘customer pull’ proces in plaats van een ‘organisation push’ proces. Bij een customer pull proces wordt een product enkel geproduceerd als er vraag is van een volgende bewerking in het productieproces (een interne klant) of van een eindklant. In een push systeem worden producten geproduceerd op basis van voorspelde vraag in plaats van werkelijke vraag.
- (5) Streef perfectie na door de principes te herhalen.

Deze lean principes werden in de jaren vijftig voor het eerst toegepast door Toyota op het productieproces van automotoren. In de jaren zestig werd de methode succesvol doorgetrokken naar de assemblage van Toyotavoertuigen en in de jaren zeventig werd de bredere toeleveringsketen onderworpen aan de principes van lean (Hines et al., 2004). Hoewel er meerdere handboeken gepubliceerd werden over de successen van lean, bleef de interesse voor deze praktijk uit tot de lancering van het boek “The Machine that Changed the World” in 1990 (Hines et al., 2004). De auteurs van het boek, Womack en Jones, vestigden de aandacht op het prestatieverschil tussen Toyota en andere autofabrikanten, waardoor de belangstelling van westerse producenten groeide (Hines et al., 2004; Womack et al., 1990)

De operationele voordelen van lean produceren zijn (1) een vlotte werkstroom voor een breed assortiment van producten, (2) een output van hoge kwaliteit en (3) een flexibele werking. Enkele economische voordelen zijn lage totale productiekosten, een kortere lead time, een hogere throughput rate en een lager WIP-niveau (Sullivan, McDonald, & Van Aken, 2002).

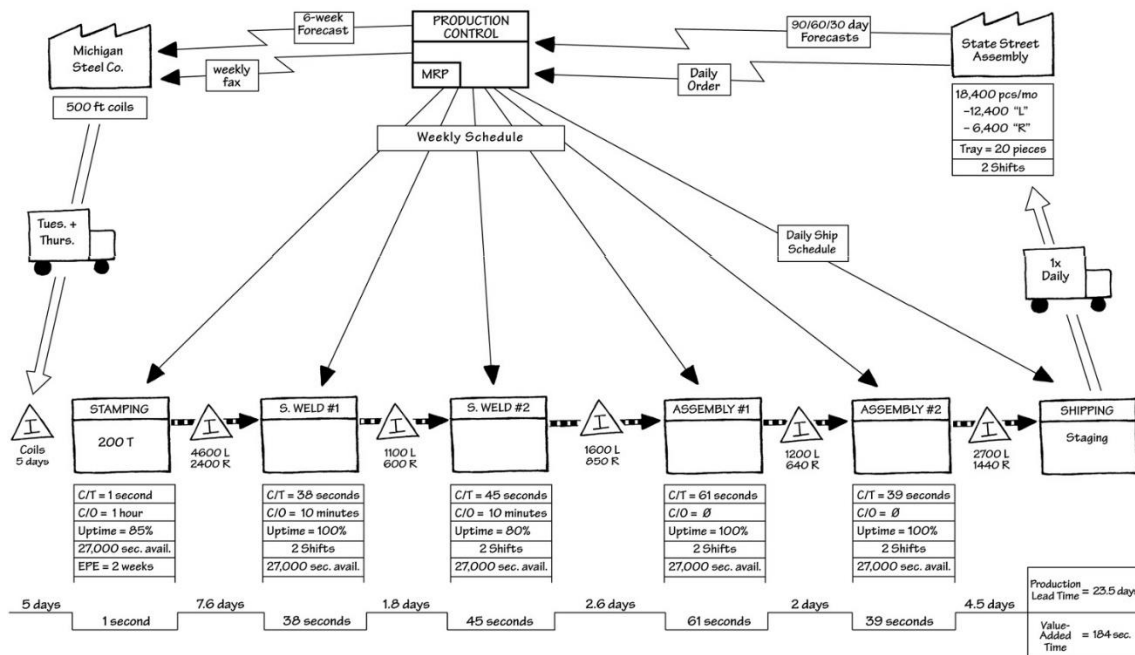
Echter, volgens Lewis (2000) heeft voortdurend lean nastreven ook zijn nadeel. Zo beweert hij dat er een trade-off kan ontstaan tussen de mate waarin een organisatie lean is en de mate waarin een organisatie innoveert, of in andere woorden, hoe succesvoller een organisatie de principes van lean toepast, hoe minder het zich zal bezighouden met innoverende activiteiten. In plaats daarvan zal de organisatie focussen op het continu verbeteren van bestaande processen en het adopteren van geleidelijke veranderingen. In tijden waarin markten snel veranderen, kan het nastreven van continue verbeteringen de levensvatbaarheid van een organisatie op lange termijn bedreigen (Lewis, 2000).

Hoewel literatuur met betrekking tot de lean filosofie begin jaren negentig focust op kwaliteit, verschuift het accent vanaf 2000 naar klantwaarde (Hines et al., 2004). Lean groeide dus van een concept dat louter op verspilling en kostenreductie focuste, tot een aanpak die waarde voor klanten tracht te verhogen (Hines et al., 2004). De waardepropositie voor de klant kan niet enkel toenemen door het verminderen van interne verspillingen, maar ook door het aanbieden van extra eigenschappen of

diensten die door de klant worden gewaardeerd (Hines et al., 2004). Kortom, wilde Ohno de klanten geven wat ze willen, in de hoeveelheid die ze willen en wanneer ze het willen (Liker, 2004). Hij wilde een instrument creëren dat de stroom van materiaal en informatie visueel kon weergeven en wilde niet dat er gefocust werd op individuele processen. Uiteindelijk leidde dat tot het ontwikkelen van de ‘value stream mapping’ tool. In 1999 schreven Mike Rother en John Shook het boek “Learning to See”, waarin zij aan de hand van een case study de value stream mapping methode uitleggen (Liker & Meier, 2005; Rother & Shook, 1999).

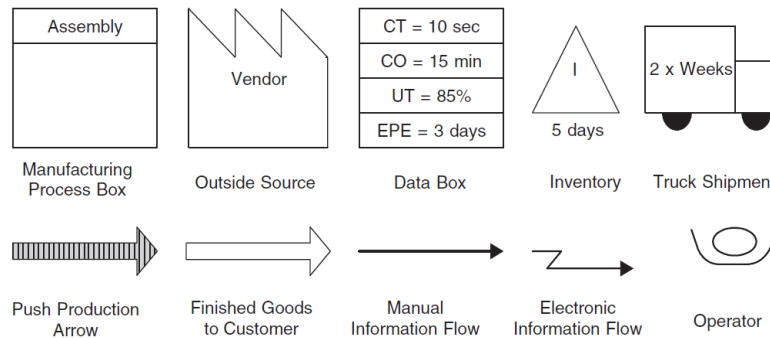
4.2 Value Stream Mapping

Een ‘value stream’ of waardeestroom wordt gedefinieerd als alle handelingen met en zonder toegevoegde waarde die nodig zijn om een bepaald product of een bepaalde dienst tot bij een klant te brengen (Sullivan et al., 2002). Value stream mapping, afgekort VSM, is een instrument waarmee de stroom van materiaal en informatie in kaart gebracht kan worden en waarmee men kan weergeven welke weg een product of dienst door de waardeestroom aflegt (Rother & Shook, 1999). Het doel van value stream mapping is om verspilling in de waardeestroom te helpen identificeren en een geschikt alternatief te vinden om deze verspilling te verwijderen, of op zijn minst te verminderen (Hines & Rich, 1997). Activiteiten in de waardeestroom kunnen opgesplitst worden in drie categorieën: waardetoevoegende activiteiten, noodzakelijke activiteiten die geen waarde toevoegen en onnodige activiteiten die geen waarde toevoegen (Hines & Rich, 1997). De laatstgenoemde categorie is overbodig en wordt best geëlimineerd. De VSM tool biedt een blauwdruk voor het implementeren van lean concepten door gebruik te maken van drie stappen: de ‘current state map’, de ‘future state map’ en een implementatieplan (Sullivan et al., 2002). Een voordeel van de value stream mapping tool is dat het de hele waardeestroom visualiseert en niet enkel een afzonderlijk proces (Rother & Shook, 1999). Verder biedt het instrument ook een gemeenschappelijke taal zodat een eenduidige visie binnen een organisatie ontwikkeld kan worden (Liker & Meier, 2005). Een voorbeeld van een value stream map is weergegeven in Figuur 6. Wat volgt is een stappenplan van het value stream mapping proces, om de lezer voldoende vertrouwd te maken met het instrument.



Figuur 6: Een voorbeeld van een current state value stream map (Rother & Shook, 1999)

Een belangrijk onderdeel van value stream mapping is het duidelijk specificeren van de waarde van een product zoals die door de klant wordt waargenomen. Indien men niet reflecteert over de eisen van de klant, bestaat het risico dat men een waardestream optimaliseert die de klant iets anders biedt dan wat hij of zij werkelijk wenst (Rother & Shook, 1999). Bovendien is het belangrijk om slechts op één productfamilie te concentreren, aangezien de waarde voor de klant per productfamilie kan verschillen. Een productfamilie kan gedefinieerd worden als een groep producten die gelijksoortige verwerkingsstappen doorloopt en door soortgelijke werktuigen bewerkt wordt (Rother & Shook, 1999). Nadat is besloten op welke productfamilie de VSM methode zal worden toegepast, wordt de current state bestudeerd. Om de current state in kaart te brengen, wordt eerst een soort van 'big picture' map opgesteld. Later kan de current state gedetailleerder beschreven worden aan de hand van zeven tools, die in sectie 4.3 worden besproken. De big picture map komt tot stand door informatie op de werkvloer te verzamelen en processen en stromen neer te schrijven met behulp van de symbolen in Figuur 7 (Sullivan et al., 2002). Rother en Shook (1999) adviseren om te beginnen aan het einde van de waardestream (bij de klant) en stroomopwaarts te werken, in plaats van te beginnen bij de leverancier en stroomafwaarts te werken. Op die manier worden de processen, die rechtstreeks geconnecteerd zijn met de klant en het tempo bepalen voor de andere processen, in het begin in kaart gebracht (Rother & Shook, 1999).



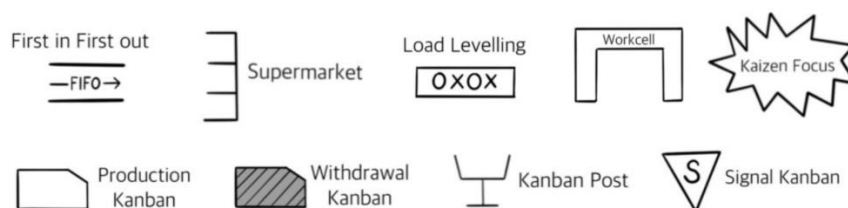
Figuur 7: VSM symbolen current state (Braglia, Carmignani, & Zammori, 2006). De notatie CT verwijst naar 'cycle time', CO verwijst naar 'changeover time', UT verwijst naar 'uptime', EPE verwijst naar 'every part every interval'

Om de current state te weerspiegelen worden eerst de klantbehoeftes afgebeeld met behulp van een databox waarin gegevens zoals bijvoorbeeld de klantvraag en het tempo van de klantvraag genoteerd worden. Vervolgens adviseert men om processen uit te tekenen met behulp van procesboxen ('manufacturing process box' in Figuur 7). Een procesbox staat symbool voor een proces waarin het materiaal stroomt. De procesbox stopt daar waar processen worden ontkoppeld en de materiaalstroom stopt (Rother & Shook, 1999). Zo zou een assemblageproces waarin verschillende werkstations verbonden zijn met een beperkte voorraad tussen de stations, getekend kunnen worden als één procesbox, maar zou een assemblageproces met verschillende ontkoppelde werkstations en een toenemende voorraad die in batches verplaatst moet worden, best afgebeeld worden als twee procesboxen (Rother & Shook, 1999). Ook bij het opstellen van de procesboxen moeten bepaalde gegevens verzameld worden die van belang zijn om te bepalen wat de future state zal zijn. Om deze reden wordt onder elke procesbox een databox getekend. Enkele typische procesgegevens die in de bijhorende databoxen genoteerd kunnen worden, zijn 'cycle time', 'changeover time', 'uptime' en 'every part every interval'. Cycle time is de geobserveerde tijd die verloopt tussen het moment dat een onderdeel uit het proces komt en het moment dat het volgende onderdeel uit het proces komt. De changeover time daarentegen is de tijd die nodig is om over te schakelen van de productie van het ene product naar het andere. Uptime is het percentage van de tijd dat een machine functioneert. Every part every interval (EPE) is ook bekend onder de Japanse term Heijunka. EPE staat voor de frequentie waarmee men alle onderdelen produceert. Zo kan men bijvoorbeeld alle onderdelen eens per dag, per week of per maand produceren. In Figuur 7 worden alle onderdelen per drie dagen geproduceerd (Rother & Shook, 1999). Voorts is het belangrijk om de plaats en de hoeveelheid van de voorraad in het proces te registreren, aangezien deze aangeven waar de stroom stopt. Indien er meerdere voorraadlocaties zijn tussen twee processen, worden deze best allemaal geregistreerd. Na het tekenen van de voorraad wordt de leverancier inclusief databox toegevoegd aan de value stream map. Tenslotte wordt de

informatiestroom toegevoegd. In lean manufacturing wordt de informatiestroom met evenveel belang behandeld als de materiaalstroom. Het doel is om de informatie zodanig te laten stromen dat het ene proces enkel maakt wat het volgende proces nodig heeft, wanneer het dat nodig heeft (Rother & Shook, 1999).

Om een beeld te krijgen van de prestaties van de current state, kan de lead time vergeleken worden met de 'value-adding time'. De lead time is de tijd die een onderdeel nodig heeft om zijn weg door de waardeestroom af te leggen, van begin tot eind, terwijl de value-adding time de tijd is die daadwerkelijk waardevol is en resulteert in een afgewerkt product waarvoor de klant bereid is te betalen (Rother & Shook, 1999). Een groot verschil tussen lead time en value-adding time kan wijzen op materiaalbewegingen die door de producent worden gepusht en niet door de klant worden geïnitieerd. Push betekent dat een proces iets produceert ongeacht de daadwerkelijke behoeften van een volgende bewerking in het productieproces of een eindklant. (Rother & Shook, 1999). Vaak is een pushproces in organisaties het resultaat van productieschema's waarbij geschat wordt wat het volgende proces nodig zal hebben in plaats van de werkelijke vraag in rekening te nemen. Wanneer elk proces zijn eigen planning heeft en opereert als een geïsoleerd eiland, wordt de productie losgekoppeld van de klant. Hierdoor produceren de processen aan een tempo dat zinvol is vanuit hun perspectief, in plaats van het perspectief van de waardeestroom en kunnen upstream processen de neiging hebben om onderdelen te produceren die de klant nu niet nodig heeft (Rother & Shook, 1999). De toenemende voorraad en het push systeem maakt het bijna onmogelijk om lean te produceren en een vlotte werkstroom van het ene proces naar het andere te creëren.

De future state map kan helpen om een scenario te visualiseren waarin er een continue stroom is en elk proces zo nauwkeurig mogelijk produceert wat de klant nodig heeft, wanneer hij het nodig heeft. De future state value stream mapping symbolen kunnen waargenomen worden in Figuur 8.



Figuur 8: VSM symbolen future state (Rother & Shook, 1999)

Rother en Shook (1999) stelden zeven richtlijnen op om een future state mogelijk te maken die lean is:

- (1) Produceer volgens de taktijd. De taktijd geeft aan hoe vaak een onderdeel of product moet geproduceerd worden, gebaseerd op de verkoopsnelheid, om aan de eisen van de klant te voldoen. Hij wordt berekend door de beschikbare werktijd per shift te delen door de vraag van de klant per shift. De taktijd is een referentiegetal waarmee organisaties het tempo van de productie kunnen afstemmen op het tempo van de verkoop.

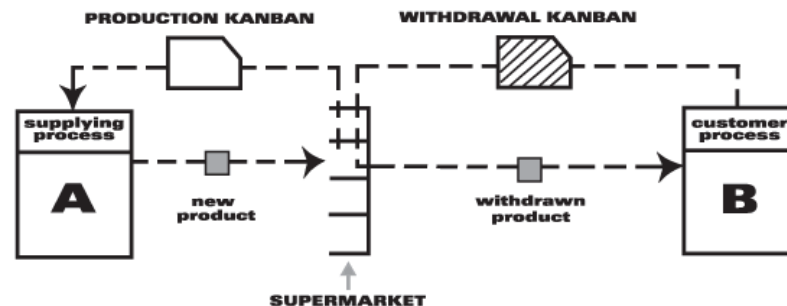
Produceren volgens de taktijd is een techniek om het effect van variabiliteit in de vraag te verminderen (Sunder M & Ganesh, 2021). Dit kan onderbouwd worden door de vergelijking van Kingman. De variabiliteitsfactor van deze vergelijking kan namelijk opgesplitst worden in flowvariabiliteit en procesvariabiliteit (Kingman, 1961). Aangezien flowvariabiliteit wordt veroorzaakt door de manier waarop werk in het systeem wordt gelanceerd, zorgt produceren volgens de taktijd voor een daling van de variabiliteitsfactor. Het reduceren van variabiliteit is cruciaal omwille van de wet van de variabiliteit die impliceert dat een toename van de variabiliteit in een productiesysteem een daling in de performantie van dat productiesysteem veroorzaakt (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

- (2) Ontwikkel waar mogelijk een continue stroom. Continue stroom verwijst naar het produceren van één stuk per keer waarbij elk item onmiddellijk van de ene processtap naar de volgende wordt doorgegeven zonder buffer tussenin.

Bovenstaande richtlijn kan echter genuanceerd worden door de wet van de variabiliteitsbuffers. Hoewel getracht kan worden om variabiliteit te reduceren, is het niet mogelijk om variabiliteit volledig te elimineren (Bergman & Klefsjö, 2010). Echter, kan variabiliteit in een productiesysteem wel gebufferd worden door een combinatie van voorraad, capaciteit en tijd (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

- (3) Gebruik een FIFO-buffer of een ‘supermarkt’ om productie te controleren waar een continue stroom niet mogelijk is. Er kunnen plekken in de waardeestroom zijn waar een continue stroom niet mogelijk is. Dit kan komen door omsteltijden, doordat processen ver van elkaar verwijderd zijn en verzending van één stuk tegelijk niet realistisch is (zoals bijvoorbeeld bij leveranciers) of doordat processen te onbetrouwbaar zijn om rechtstreeks aan andere processen in een continue stroom te koppelen. Indien een proces niet via een continue stroom aan de rest van de waardeestroom gekoppeld kan worden, kan men gebruik maken van een FIFO (first in, first out) buffer. Door een maximum te bepalen voor deze FIFO-buffer, kunnen problemen in het productieproces gedetecteerd worden. De keuze van het maximum, dient zodanig te gebeuren dat het enkel bereikt wordt indien er zich een probleem voordoet. Een supermarkt is een methode om voorraad te beheren wanneer FIFO niet toegepast kan worden, omdat de voorraad

bestaat uit verschillende soorten onderdelen of producten, waarvan men niet weet in welke volgorde ze gevraagd zullen worden. Met behulp van een supermarkt kan een (interne) klant willekeurig een onderdeel of product uit de buffer nemen, waarna met behulp van een kanban signaal, de afname van de (interne) klant terug aangevuld kan worden. Figuur 9 illustreert hoe het principe van supermarkten en kanbans werkt.



Figuur 9: Illustratie van de werking van supermarkten en kanbans (Rother & Shook, 1999)

Via een production kanban wordt een signaal aan het upstream proces gegeven om een eenheid te produceren, terwijl de withdrawal kanban een signaal geeft dat een eenheid uit de supermarkt aan het downstream proces geleverd moet worden. De 'kanban post' uit Figuur 8 geeft aan waar kanbankaarten verzameld worden voor periodieke ophalingen. Het 'signal kanban' symbool uit Figuur 8 wordt gebruikt wanneer de voorraadniveaus in een supermarkt tot een minimum zijn gedaald en het downstream proces een nieuwe batch nodig heeft. Met behulp van FIFO-buffers, supermarkten en kanbans kan men het productieproces controleren zonder de productie te plannen, maar anderzijds wordt er meer voorraad geïntroduceerd dan bij een systeem met continue stroom. Het is daarom aangewezen dit enkel toe te passen indien noodzakelijk.

Volgens Hopp en Spearman (1996) is het plaatsen van een limiet op de hoeveelheid voorraad in het systeem de reden voor het succes van pull. In een kanban systeem is het aantal WIP begrensd door het aantal kanbankaarten. Wat er ook gebeurt in het productiesysteem, het WIP-niveau kan de vooraf bepaalde limiet niet overschrijden (Pettersen & Segerstedt, 2009). Aangezien cycle time toeneemt met het WIP-niveau (Little, 2011), en kanban WIP-explosies voorkomt, worden ook cycle time explosies voorkomen. Hierdoor vertoont een productiesysteem met kanban minder variabele cycle times dan een productiesysteem zonder limiet op de hoeveelheid voorraad (W. J. Hopp & Spearman, 1996). De wet van de lead time geeft aan dat lead time een toenemende functie is van zowel het gemiddelde als de standaardafwijking van de cycle time (Chen & Ye, 2002; W. J. Hopp & Spearman, 1996). Lage cycle time variabiliteit laat dus toe om kortere lead times te realiseren. Volgens Hopp en

Spearman (1996) is de sleutel tot een goede klantenservice dus geen continue stroom, maar een beperking op het WIP-niveau.

- (4) Kies het ‘pacemakerproces’. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van een pull systeem, moet er meestal slechts één proces in de waardeestroom gepland worden. Dit punt wordt het pacemakerproces genoemd, omdat de manier waarop de productie in dit proces geregeld wordt, het tempo bepaalt voor alle upstream processen. Het pacemakerproces is vaak het meest downstream proces in de waardeestroom, of met andere woorden, het proces dat wordt aangestuurd door de orders van de externe klant. Indien men in de waardeestroom gebruik heeft gemaakt van één of meerdere supermarkten, is het pacemakerproces het eerste proces na de laatste supermarkt.
- (5) Nivelleer de productmix ter hoogte van het pacemakerproces. Vaak wordt het door assemblage afdelingen eenvoudiger bevonden om grote batches van één producttype te produceren en omschakelingen naar andere producttypes te vermijden. Echter, maakt deze aanpak het moeilijk om klanten te bedienen die een ander product wensen dan het product dat op dat moment in grote hoeveelheden wordt geproduceerd. Hierdoor worden organisaties gedwongen om een grotere voorraad aan te houden, in de hoop dat wat de klant wil beschikbaar is. Het nivelleren van de productmix betekent het gelijkmatig produceren van verschillende producttypes over een tijdsperiode. Hoe meer de productmix genivelleerd wordt ter hoogte van het pacemakerproces, hoe beter een organisatie in staat is om aan de verschillende eisen van de klanten te voldoen zonder een grote voorraad aan te houden. In Figuur 8 kan het symbool voor productie nivellering (of ‘load leveling’ in het Engels) waargenomen worden.
- (6) Nivelleer het productievolume. Veel bedrijven geven grote batches werk vrij aan hun productieprocessen, waardoor de affiniteit met de vraag van de klant (of met andere woorden de taktijd) afneemt en het creëren van een pull systeem bemoeilijkt wordt. Daarom wordt aanbevolen om taken volgens een vaste regelmaat aan het pacemakerproces te lanceren. Door productie instructies van een kleine en consistente hoeveelheid vrij te geven aan het pacemakerproces, en tegelijkertijd een gelijke hoeveelheid producten af te nemen, creëert men een ‘paced withdrawal’.

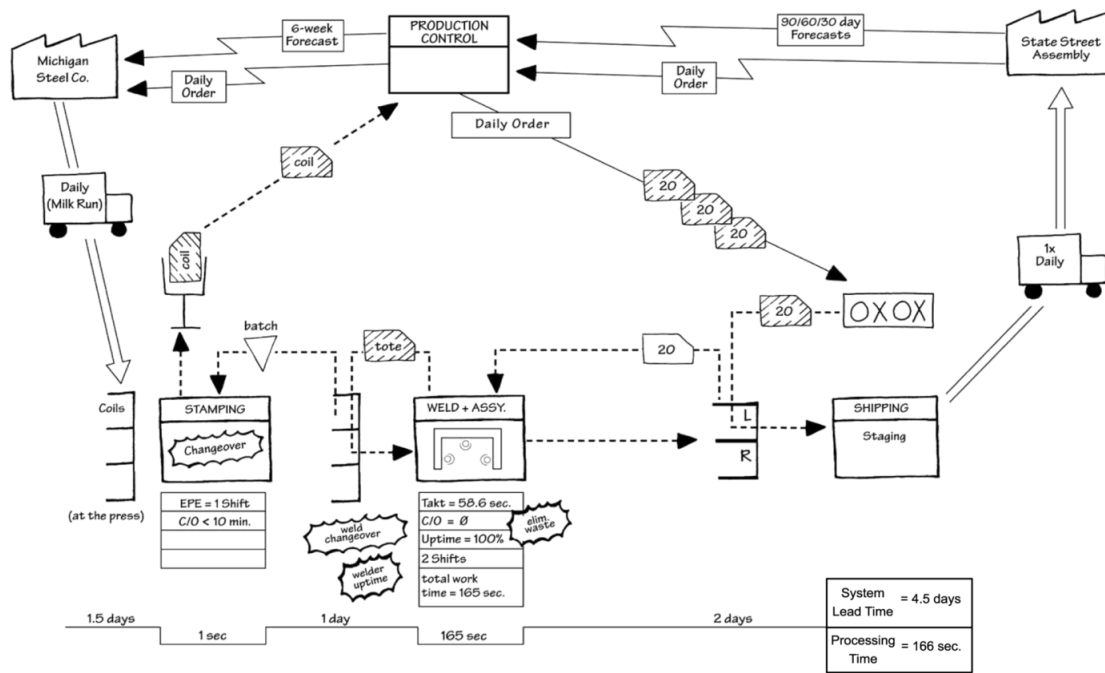
Terwijl men door het nivelleren van de productmix (5) een bepaalde repetitiviteit tracht te creëren, probeert men door het nivelleren van het productievolume (6) volumeshocks te reduceren. Beide acties kunnen gerechtvaardigd worden door de wet van de variabiliteit, die stelt dat een toename van de variabiliteit in een productiesysteem een daling in de performantie van dat productiesysteem veroorzaakt (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

- (7) Ontwikkel het vermogen om regelmatig alle onderdelen van de productfamilie te produceren. Door het verkorten van omsteltijden en het produceren van kleinere batches kunnen organisaties

de capaciteit ontwikkelen om sneller te reageren op veranderende downstream behoeften. De regelmaat waarmee men alle producten produceert, kan aangegeven worden door de EPE (every product every interval) maatstaf. Om voldoende flexibiliteit te bewaren, houdt men deze EPE best zo klein mogelijk.

Hopp en Spearman (1996) benadrukken echter wel dat het nivelleren van de productmix onmogelijk is tenzij omsteltijden zeer kort of onbestaande zijn. Om deze omsteltijden te verkorten, dienen interne omsteltijden zoveel mogelijk omgezet te worden in externe omsteltijden. Interne omsteltijden kunnen namelijk gedefinieerd worden als taken die plaatsvinden wanneer de machine stilstaat, terwijl externe omsteltijden taken zijn die uitgevoerd kunnen worden terwijl de machine nog draait (W. J. Hopp & Spearman, 1996).

Op basis van bovenstaande richtlijnen kan men ‘kaizen bursts’ opstellen. Dit zijn ingrepen die men dient uit te voeren om de future state te bereiken (Rother & Shook, 1999). In complexere situaties, is het mogelijk dat een instrument zoals bijvoorbeeld discrete event simulatie aangewezen is om een future state te ontwerpen (Sullivan et al., 2002). De future state map van het voorbeeld in Figuur 6 is te vinden in Figuur 10.



Figuur 10: Voorbeeld future state value stream map (Rother & Shook, 1999)

Nadat de future state in kaart is gebracht, moet een implementatieplan worden ontwikkeld dat beschrijft hoe de future state kan worden bereikt. Het plan moet gedetailleerd aangeven welke gebieden eerst zullen worden verbeterd, hoe dat zal gebeuren en in welke volgorde andere verbeteringen zullen plaatsvinden (Sullivan et al., 2002). Een belangrijke opmerking voor het implementeren van de future

state is dat men aanraadt om te focussen op één productfamilie, in plaats van voor meerdere productfamilies een onvolledige en inconsistente implementatie te verwezenlijken (Liker & Meier, 2005). Bovendien is het van belang om te vermelden dat het value stream mapping proces de functionele grenzen binnen een organisatie overschrijdt. Omdat bedrijven vaak georganiseerd zijn volgens afdelingen en functies, wordt er best een team samengesteld dat bestaat uit medewerkers van verschillende departementen. Deze cross-functionele samenstelling van vaardigheden is essentieel om een succesvolle implementatie te realiseren (Sullivan et al., 2002).

4.3 Value Stream Mapping Tools

Het doel van de zeven value stream mapping tools is om verspillingen in de current state op te sporen (Sullivan et al., 2002). De zeven tools zijn afkomstig van uiteenlopende functionele of academische achtergronden en voegen elk een unieke dimensie toe (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998). Afhankelijk van welke verspillingen voorkomen binnen een organisatie, kan er voor een andere methode gekozen worden (Jones, Hines, & Rich, 1997). Tabel 2 geeft een overzicht van de 7 VSM tools. In de kolom met verspillingen worden de zeven meest fundamentele verspillingen, die in sectie 4.1 besproken werden, vermeld (Hines & Rich, 1997). De letters H, M en L verwijzen naar de correlatie tussen een gegeven value stream mapping tool en een type verspilling; hoe hoger deze correlatie, hoe nuttiger de gegeven tool voor het terugdringen van dat type verspilling. Lege cellen in de tabel geven aan dat er geen correlatie is tussen een bepaalde verspilling en tool (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998; Pavnaskar, Gershenson, & Jambekar, 2003).

Verspillingen	Value stream mapping tools						Physical structure (a) volume (b) value
	Process activity mapping	Supply chain response matrix	Production variety funnel	Quality filter mapping	Demand amplification mapping	Decision point analysis	
Overproductie	L	M		L	M	M	
Wachten	H	H	L		M	M	
Transport	H						L
Oververwerking of onjuiste verwerking	H		M	L		L	
Overbodige voorraad	M	H	M		H	M	L
Onnodige beweging	H	L					
Defecten	L			H			

Legende: H = Hoge correlatie en bruikbaarheid
M = Middelmatische correlatie en bruikbaarheid
L = Lage correlatie en bruikbaarheid

Tabel 2: Selectiematrix voor de zeven value stream mapping tools (Hines & Rich, 1997)

4.3.1 Process activity mapping

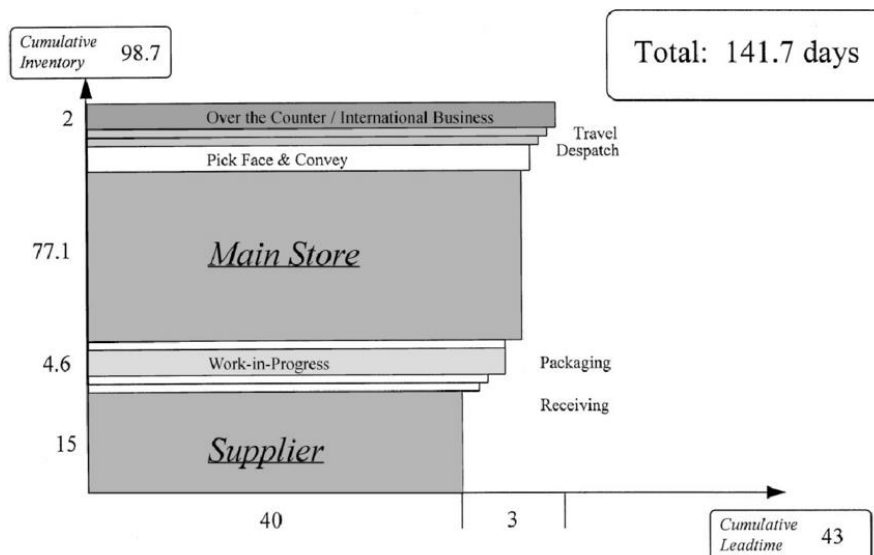
Process activity mapping is een methode die zijn oorsprong vindt in de industriële ingenieurswetenschappen (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998). De tool wordt ingezet om verspilling, inconsistenties en irrationele praktijken te elimineren zodat producten en diensten van een hoge kwaliteit gemakkelijk, snel en op een economische manier aangeboden kunnen worden (Hines & Rich, 1997). Om process activity mapping te kunnen toepassen, dienen enkele stappen gevolgd te worden. Eerst worden alle activiteiten van het huidige proces gedetailleerd geregistreerd. Daaropvolgend wordt aangegeven of een activiteit betrekking heeft op bewerking (operation), vervoer (transport), inspectie (inspect), opslag (store) of wachten (delay) (Jones et al., 1997). Bovendien wordt voor elk van de activiteiten geregistreerd welke machines en ruimtes gebruikt worden, welke afstand er afgelegd wordt, welke tijdsduur de activiteit in beslag neemt en hoeveel personen vereist zijn voor de activiteit. Deze gegevens kunnen vervolgens gehanteerd worden om vragen te beantwoorden, zoals: Waarom vindt een activiteit plaats? Wie doet het? Op welke machine? Waar, wanneer en hoe (Jones et al., 1997)? Dankzij deze vragen kunnen onnodige activiteiten geëlimineerd, vereenvoudigd, gecombineerd of herschikt worden. Na het uitwerken van verschillende alternatieven, kan de beste benadering geïmplementeerd worden (Hines & Rich, 1997). Verspillingen die via deze tool aangepakt kunnen worden zijn wachten, transport, oververwerking of onjuiste verwerking en onnodige beweging (Sullivan et al., 2002). In Figuur 11 wordt een voorbeeld van process activity mapping weergegeven. In deze proces activity map voegt het overgrote deel van de activiteiten geen waarde toe voor de klant. Dit kan onderaan Figuur 11 waargenomen worden bij 'percentage operations'. Wegens de uiterst lage verhouding van waardetoevoegende activiteiten, werd de term 'minutes per million' (MPM) gebruikt (Hines, Rich, & Esain, 1998).

#	STEP	FLOW	AREA	DIST (M)	TIME (MIN)	PEOPLE	OPERATION	TRANSPORT	INSPECTION	DELAY	STORE	COMMENTS
1	DRIVER TAKES PAPERWORK TO OFFICE	T	OUTSIDE/OFFICE	50M	0.5	1	O	T	I	S	D	
2	CHECK BOOKED IN/ISSUE TICKET	I	OFFICE	10	1	1(+1)	O	T	I	S	D	(DRIVER)
3	DRIVER TO VEHICLE	T	OFFICE/OUTSIDE	50M	0.5	1	O	T	I	S	D	
4	OPEN BACK OF TRUCK	O	OUTSIDE	1	1	1	O	T	I	S	D	
5	BACK ON TO BAY	T	OUTSIDE/BAY	30M	1	1	O	T	I	S	D	
6	WAIT FOR PUMP TRUCK	D	BAY	15	1	1	O	T	I	S	D	
7	UNLOAD LORRY	T	SPLITTING	25M	1	1(+1)	O	T	I	S	D	
8	WAIT FOR TOTAL UNLOADING	D	SPLITTING	20	2(+1)	1	O	T	I	S	D	10 PALLETS
9	WAIT FOR PAPERWORK	D	SPLITTING	10	1	1	O	T	I	S	D	DRIVER (TOTAL 30)
10	DRIVER TO OFFICE FOR PAPERWORK	T	OUTSIDE/OFFICE	20M	0.5	1	O	T	I	S	D	
11	GET PAPERWORK	I	OFFICE	3	1(+1)	1	O	T	I	S	D	
12	DELAY TO START SPLITTING	D	SPLITTING	120	1	1	O	T	I	S	D	
13	SPLITTING	O	SPLITTING	50	2	1	O	T	I	S	D	
14	MOVE PALLET TO QUANTIFICATION	T	QUANTIFICATION	20M	1	1	O	T	I	S	D	PUMP TRUCK
15	DELAY TO QUANTIFY	D	QUANTIFICATION	240	1	1	O	T	I	S	D	
16	QUANTIFY	I	QUANTIFICATION	10	1	1	O	T	I	S	D	
17	MOVE TO LIFT & LOAD	T	INSPECTION/LIFT	3M	2	1	O	T	I	S	D	
18	MOVE TO WIP	T	LIFT TO WIP	5M	0.3	1	O	T	I	S	D	
19	DELAY	D	LIFT TOP	2	1	1	O	T	I	S	D	
20	REMOVE FROM LIFT	T	LIFT TOP	2M	2	1	O	T	I	S	D	
21	PLACE IN STORAGE AREA	T	FLOOR	10M	1	1	O	T	I	S	D	
22	STORAGE	D	FLOOR	2880	1	1	O	T	I	S	D	
23	COLLECT PRODUCTION ORDER	T	TO OFFICE	25M	15	1	O	T	I	S	D	
24	PULL STOCK TO PRODUCTION AREA	T	TO PACKING	10M	2	1	O	T	I	S	D	HAND PUMP
25	DELAY	D	PACKING	15	1	1	O	T	I	S	D	SETUP
26	LOAD MACHINE & CYCLE	O	PACKING	2M	0.1	1	O	T	I	S	D	
27	PLACE IN TOTE	T	PACKING	0.5M	0.1	(1)	O	T	I	S	D	
28	WAIT FOR BATCH	D	PACKING	30	1	1	O	T	I	S	D	
29	LOAN CONVEYOR	T	PACKING TO CONVEYOR	12M	0.5	1	O	T	I	S	D	
30	TRAVEL TO CRANE	T	TO CRANE	150M	5	1	O	T	I	S	D	
31	WAIT FOR CRANE	D	CRANE	5	1	1	O	T	I	S	D	
32	PUT INTO MAIN STORE	T	CRANE/STORE	75M	1	1	O	T	I	S	D	
33	STORE	D	STORE	155.4	33.6	1	O	T	I	S	D	
	TOTAL			489.5 M	138.8	29						
	OPERATIONS				51.1	4						
	PERCENTAGE OPERATIONS				322	13.8%						
					MPM							

Figuur 11: Voorbeeld process activity mapping (Hines, Rich, & Esain, 1998)

4.3.2 Supply chain response matrix

Het doel van de tweede value stream mapping tool is tijdcompressie (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998). Deze aanpak geeft de voorraadniveaus en de lead time voor een specifiek producttype in een eenvoudig diagram weer. De horizontale as geeft de totale lead time van het product weer, terwijl de verticale as uitdrukt hoeveel dagen vraag men kan beantwoorden met de huidige voorraadniveaus. De som van de horizontale en verticale as resulteert in de totale reactietijd van een organisatie en verwijst naar de hoeveelheid tijd die verstrijkt tussen het moment waarop een veranderde klantenwens wordt waargenomen en het moment waarop men aan deze veranderde klantenwens kan voldoen, zonder voorraden verloren te laten gaan. Volgens de lean filosofie is deze best zo laag mogelijk (Jones et al., 1997). Dankzij de supply chain response matrix kunnen afzonderlijke lead times en voorraadhoeveelheden die alarmerend zijn, opgespoord worden en vervolgens gericht aangepakt worden (Hines & Rich, 1997). De tool kan worden toegepast op twee soorten verspillingen, namelijk wachten en overbodige voorraad (Sullivan et al., 2002). In Figuur 12 wordt een voorbeeld van een supply chain response matrix weergegeven. In dit voorbeeld werd een supply chain response matrix opgesteld voor een distributiebedrijf, dat producten van zijn leverancier verpakt om deze vervolgens op basis van de orders van de retailer te picken en te verzenden. Uit de horizontale as blijkt dat er een cumulatieve lead time van 43 dagen is en de verticale as geeft aan dat de toeleveringsketen met de huidige voorraadniveaus 98,7 dagen aan vraag kan beantwoorden. De totale reactietijd van het distributiebedrijf bedraagt in dit voorbeeld dus 141,7 dagen. Bovendien kan opgemerkt worden dat de lead time van de leverancier aanzienlijk lang is en dat er een zeer grote voorraad goederen aanwezig is in het distributiecentrum (Hines, Rich, & Esain, 1998).

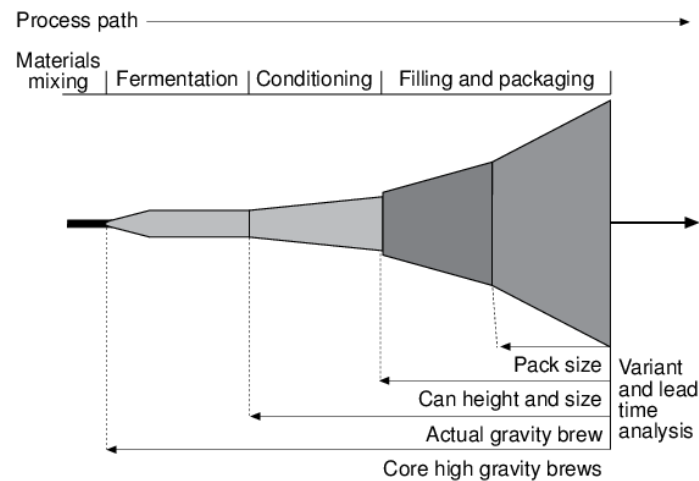


Figuur 12: Voorbeeld supply chain response matrix (Hines, Rich, & Esain, 1998)

4.3.3 Production variety funnel

De production variety funnel tool vindt haar oorsprong in het operationeel management en is een visuele techniek die de verscheidenheid aan geproduceerde producten in elke fase van het productieproces in kaart brengt (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998; Sullivan et al., 2002). De horizontale as van de grafiek weerspiegelt het procesverloop met alle productiestappen, terwijl de verticale as de verscheidenheid aan geproduceerde producten per productiestap weergeeft (Sullivan et al., 2002). De tool geeft inzicht in hoe de toeleveringsketen werkt en geeft bovendien de bijhorende complexiteit weer. De aanpak kan nuttig zijn om te helpen beslissen hoe wijzigingen kunnen aangebracht worden in het productieproces (Jones et al., 1997). Een vergelijkbare methode is de IVAT-analyse, die bedrijven categoriseert als I-, V-, A- of T-bedrijven. Een dergelijke afbakening stelt individuen in staat om de overeenkomsten en verschillen te begrijpen tussen verschillende bedrijfstakken. Zo produceren I-bedrijven volgens de IVAT-analyse slechts één producttype via een productieproces dat niet varieert en in een enkele richting verloopt. Vaak functioneren bedrijven in de chemische sector op deze manier. V-bedrijven gebruiken daarentegen een beperkt aantal grondstoffen die worden verwerkt tot een grote verscheidenheid van eindproducten in een over het algemeen uiteenlopend patroon. Bedrijven die tot deze categorie behoren, maken vaak deel uit van de textiel- en metaalverwerkende industrie. A-bedrijven gebruiken veel grondstoffen om een beperkte reeks eindproducten te realiseren, via verschillende grondstofstromen en verschillende installaties. Dergelijke bedrijven komen typisch voor in de lucht- en ruimtevaartindustrie of in andere belangrijke assemblage-industrieën. Tot slot zijn er de T-bedrijven: deze bieden een breed scala van eindproducten aan op basis van een eerder beperkte set componenten en halfassemblages, die ze vervolgens assembleren volgens de wensen van de klant. Bedrijven die volgens deze methode werken, behoren typisch tot de elektronica- en huishoudelijke apparatenindustrie (Hines & Rich, 1997). Volgens Sullivan (2002) kan de production variety funnel gebruikt worden voor twee soorten verspillingen, namelijk overbodige voorraad en oververwerking of onjuiste verwerking. Beide verspillingen vertonen wel slechts een middelmatige correlatie met de production variety funnel tool. Hines en Rich (1997) beweren dat voorraden aangepakt kunnen worden indien men inzicht waar variatie in het productieproces verminderd kan worden. Dit kan gestaafd worden door de vergelijking van Kingman die suggereert dat procesvariabiliteit een belangrijke driver is voor een stijging in de tijd van de wachtrij. Wanneer men vervolgens de relatie tussen cycle time en tijd in de wachtrij aanwendt, kan men vaststellen dat verhoogde procesvariabiliteit tot een langere cycle time leidt. Deze langere cycle time resulteert op zijn beurt in meer WIP indien men de throughput rate constant houdt volgens de wet van Little (W. J. Hopp & Spearman, 1996). Het is echter niet onmiddellijk duidelijk hoe oververwerking of onjuiste verwerking gedetecteerd kan worden met behulp van de production variety funnel tool. In Figuur 13 wordt een voorbeeld van een production variety funnel weergegeven. Bovenaan de figuur wordt het procesverloop van een bierbrouwerij afgebeeld. Bier

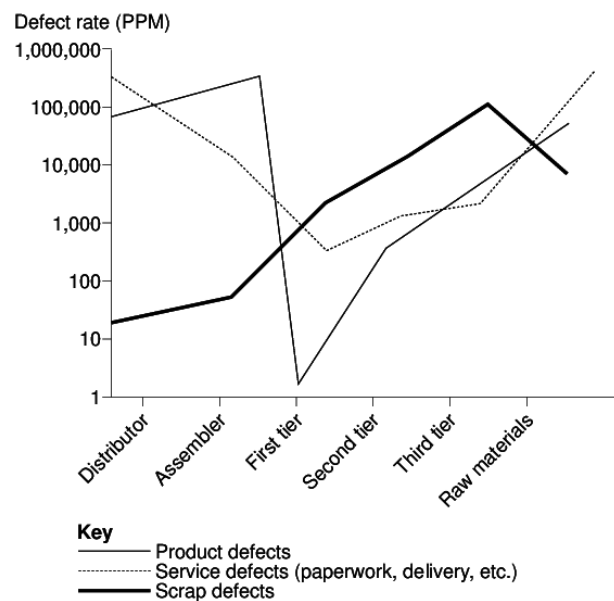
brouwen start bij het mixen van grondstoffen, vervolgens moet het bierbrouwsel gisten, hierna wordt het bierbrouwsel geconditioneerd en tot slot worden de blikjes gevuld en verpakt. De verscheidenheid aan geproduceerde producten neemt toe naarmate het productieproces vordert (Hines & Rich, 1997).



Figuur 13: Voorbeeld production variety funnel (Hines & Rich, 1997)

4.3.4 Quality filter mapping

Quality filter mapping is een instrument dat kwaliteitsproblemen detecteert aan de hand van een grafiek met op de verticale as het aantal defecten en op de horizontale as het verloop van het proces (Sullivan et al., 2002). De methode deelt de kwaliteitsproblemen op in drie soorten (product defecten, service defecten en interne scrap) en plot deze als drie aparte functies op de grafiek (Sullivan et al., 2002). Product defecten worden gedefinieerd als gebreken van geproduceerde goederen die niet worden ontdekt door inspecties, en bijgevolg afgeleverd worden aan klanten (Jones et al., 1997). Service defecten hebben geen betrekking op productiefouten, maar houden verband met problemen die klanten ondervinden met de dienstverlening van organisaties. Enkele voorbeelden van service defecten zijn ongepaste levering (te laat of te vroeg) of de levering van onjuist papierwerk of documentatie (Jones et al., 1997). Tot slot verwijst interne scrap naar defecten die wel door inspecties worden ontdekt (Jones et al., 1997). Dankzij de quality filter map kan men zien waar deze drie verschillende soorten kwaliteitsgebreken in de toeleveringsketen voorkomen, en kan deze informatie gebruikt worden voor latere verbeteringsactiviteiten (Hines & Rich, 1997). De tool wordt slechts voor één soort verspillingen gehanteerd, namelijk defecten (Sullivan et al., 2002). De relevantie van de quality filter mapping tool kan ondersteund worden door het denkkader van factory physics. Volgens de wet van de herbewerking zijn defecten namelijk zeer destructief voor productieprocessen, aangezien herbewerking van interne scrap de gemiddelde cycle time en variabiliteit van de cycle time doet toenemen (Chen & Ye, 2002). Wanneer de wet van de lead time vervolgens toegepast wordt, kan men concluderen dat voor een gelijkblijvend service level, de lead time zal toenemen (Chen & Ye, 2002; W. J. Hopp & Spearman, 1996). In Figuur 14 wordt een voorbeeld van quality filter mapping weergegeven.

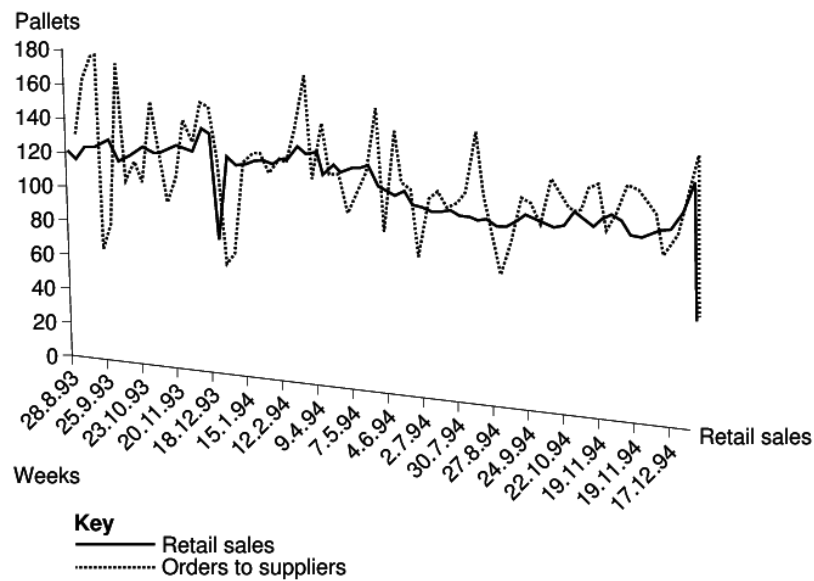


Figuur 14: Voorbeeld quality filter mapping (Jones et al., 1997)

4.3.5 Demand amplification mapping

De demand amplification mapping tool komt voort uit de systeemdynamica en tracht het bullwhip effect visueel in kaart te brengen (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998; Sullivan et al., 2002). Het bullwhip effect is het effect waardoor de variabiliteit in de bestelorders toeneemt naarmate men verder van de oorspronkelijke vraagbron verwijderd raakt (Sullivan et al., 2002). Indien de bestelorders door verschillende spelers in de toeleveringsketen worden doorgegeven, zal de variabiliteit bij elke overdracht toenemen (Jones et al., 1997). Vaak ondervinden organisaties moeilijkheden bij het beantwoorden van de vraag door deze variabiliteit. Dit heeft tot gevolg dat veel organisaties overtollige voorraden, productie, arbeid en capaciteit aanhouden (Jones et al., 1997). Deze vaststelling kan verklaard worden door de wet van de variabiliteitsbuffers, die stelt dat variabiliteit in een productiesysteem gebufferd kan worden door een combinatie van voorraad, capaciteit en tijd (Spearman, 2014). Aan de hand van de demand amplification mapping tool kunnen twee curves opgesteld worden: een curve die de werkelijke verkopen aan de eindklant in functie van de tijd weergeeft en een curve die de bestelorders aan de upstream leverancier in functie van de tijd weergeeft (Hines & Rich, 1997). Vaak is de variabiliteit in de vraag van de klant veel kleiner dan in de bestellingen aan de leverancier. Dankzij dit analytisch instrument kan men bestuderen hoe de werkelijke eindvraag van de klant verandert op verschillende tijdstippen en kan men vervolgens deze informatie gebruiken om de toekomstige vraag en de te produceren aantallen te voorspellen. (Hines & Rich, 1997). Demand amplification mapping wordt voornamelijk ingezet om overbodige voorraden (hoge correlatie) en overproductie en wachten

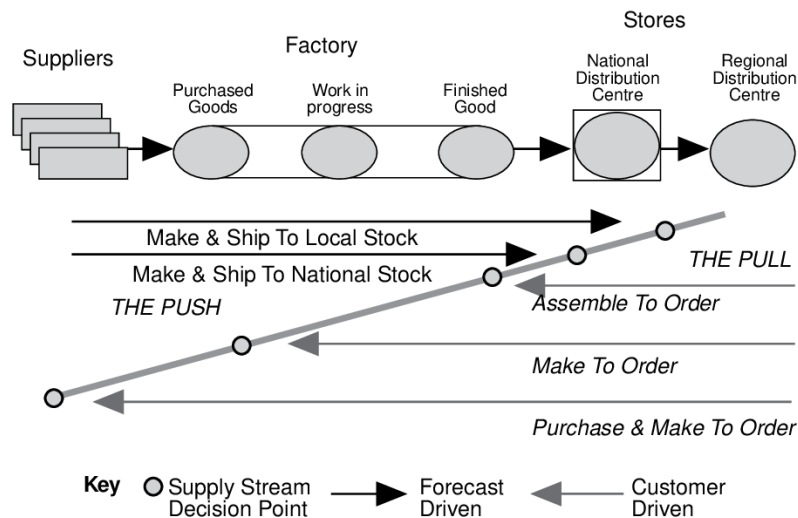
(middelmatige correlatie) te elimineren of te verminderen (Sullivan et al., 2002). In Figuur 15 wordt een voorbeeld van demand amplification mapping weergegeven.



Figuur 15: Voorbeeld demand amplification mapping (Jones et al., 1997)

4.3.6 Decision point analysis

Decision point analysis vindt zijn oorsprong in het veld van efficient consumer response (Hines, Rich, Bicheno, et al., 1998). Het is een tool die helpt om te bepalen waar het zogenaamde beslissingspunt ligt waarbij de waardeestroom overgaat van een pull proces naar een push proces en waar producten niet langer gemaakt worden op basis van de werkelijke vraag, maar op basis van voorspellingen (Jones et al., 1997). Dankzij het inzicht van waar dit beslissingspunt ligt, kan men verschillende scenario's ontwerpen waarin het beslissingspunt wordt verplaatst en deze eventueel op lange termijn implementeren indien dit een beter ontwerp van de waardeestroom mogelijk maakt (Hines & Rich, 1997). Het instrument blijkt voornamelijk nuttig voor T-bedrijven of voor leveringsketens die soortgelijke kenmerken vertonen. T-bedrijven bieden een breed scala van eindproducten aan en produceren halfassemblages om deze vervolgens te assembleren volgens de wensen van de klant (Hines & Rich, 1997). Decision point analysis is een geschikte tool om verspillingen zoals overproductie, wachten en overbodige voorraad onder handen te nemen. Deze verspillingen vertonen wel slechts een middelmatige correlatie met de decision point analysis tool. (Sullivan et al., 2002). In Figuur 16 wordt een voorbeeld van decision point analysis weergegeven.



Figuur 16: Voorbeeld decision point analysis (Jones et al., 1997)

4.3.7 Physical structure mapping

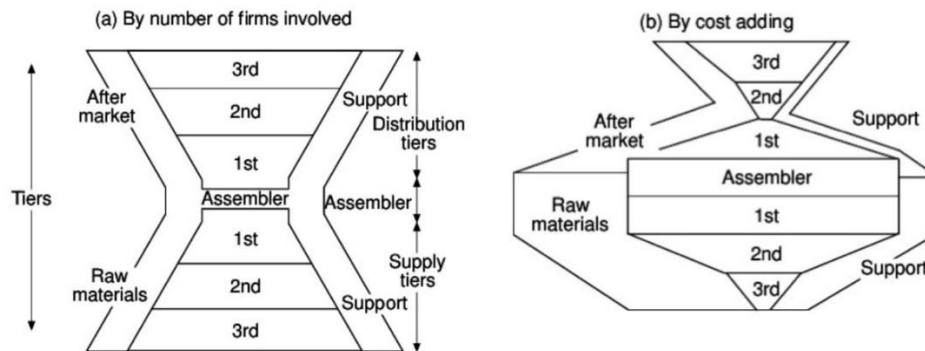
Physical structure mapping is een instrument dat kan bijdragen om te begrijpen hoe een bepaalde toeleveringsketen er uitziet. In Figuur 17 wordt een voorbeeld van physical structure mapping weergegeven. Het instrument kan in twee delen worden gesplitst, namelijk: de volumestructuur (Figuur 17a) en de kostenstructuur (Figuur 17b) (Hines & Rich, 1997).

Het volumestructuurdiagram toont in het midden het assemblageproces met aan de ene kant het toeleveringsgebied van de organisatie en aan de andere kant het distributiegebied van de organisatie. Tot het toeleveringsgebied behoren niet enkel grondstofleveranciers, maar ook ondersteunende leveranciers zoals leveranciers van gereedschap, kapitaalgoederen en verbruiksgoederen. Het distributiegebied omvat daarentegen de markt voor vervangingsonderdelen, alsook vele andere ondersteunende organisaties zoals bijvoorbeeld third-party logistics (3PL's). Het volumestructuurdiagram omvat alle betrokken bedrijven, waarbij de oppervlakte van elk deel van het diagram evenredig is met het aantal bedrijven in elke groep (Jones et al., 1997).

Het kostenstructuurdiagram brengt de industrie op soortgelijke wijze in kaart, maar in plaats van het gebied van het diagram te koppelen aan het aantal betrokken bedrijven, wordt het gebied gekoppeld aan de kosten die per groep in de toeleveringsketen gemaakt worden. In Figuur 17b kan een kostenstructuurdiagram van de automobielsector waargenomen worden, waarin de meeste kosten worden gemaakt door grondstofleveranciers, eerste graad leveranciers en het assemblageproces. De distributie is in dit voorbeeld geen grote kostenpost in vergelijking met de andere groepen uit de toeleveringsketen. Dankzij het kostenstructuurdiagram kan men nagaan of de kosten van het proces te rechtvaardigen zijn met de waarde zoals die door de klant wordt waargenomen (Jones et al., 1997).

Physical structure mapping kan leiden tot een herontwerp van de wijze waarop de toeleveringsketen functioneert. Net zoals bij process activity mapping kan worden geprobeerd om overbodige activiteiten

te elimineren, andere te vereenvoudigen, anders te combineren en te zoeken naar volgordeveranderingen die verspilling elimineren of verminderen (Hines & Rich, 1997). Hoewel physical structure mapping geen enkele hoge of middelmatige correlatie met een van de verspillingen vertoont, kan de tool volgens Sullivan (2002) toegepast worden om verspillingen zoals transport en overbodige voorraad te reduceren.



Figuur 17: Voorbeeld physical structure mapping (Jones et al., 1997)

5. Conclusies en inzichten

In deze thesis werd onderzocht welke inzichten van factory physics de kernideeën van value stream mapping ondersteunen en of het steeds wenselijk is om de doelstellingen van value stream mapping na te streven.

Er kan besloten worden dat meerdere value stream mapping technieken, waaronder bijvoorbeeld het produceren volgens de taktijd en het nivelleren van de productmix en productievolumes, gericht zijn op het verminderen van flow- of procesvariabiliteit zoals gespecificeerd door factory physics. Desalniettemin bestaat klantvraag in de realiteit vaak uit een variabele productmix en variabele volumes en kan het blindelings toepassen van deze technieken leiden tot een mismatch tussen wat er geproduceerd wordt en wat er gevraagd wordt door de klanten.

Voorts dienen bepaalde value stream mapping principes genuanceerd te worden in het licht van factory physics. Hoewel value stream mapping pleit voor een productiesysteem op basis van pull in plaats van push om als organisatie lean te worden, argumenteert factory physics dat het plaatsen van een limiet op de hoeveelheid voorraad in het productiesysteem en niet het implementeren van pull, de sleutel is tot het creëren van een vlotte werkstroom. Echter is het ook in push systemen, die werken op basis van voorspellingen, mogelijk om het WIP-niveau te controleren en kan de nadruk op pull tot verwarring leiden.

Bovendien lijkt de VSM methode de perceptie te creëren dat produceren volgens de vraag van de klant en kanban synoniemen zijn, terwijl kanbansignalen in de realiteit geïnitieerd worden door hiaten in de voorraad en niet door de vraag van de klant. Het is dus mogelijk dat organisaties een continue stroom creëren met behulp van de kanban techniek, maar op het einde van de waardeestroom toch over een aanzienlijke voorraad eindproduct beschikken.

Een andere kritische bedenking betreft de zeven befaamde verspillingen: overproductie, wachten, transport, oververwerking of onjuiste verwerking, overbodige voorraad, onnodige beweging en defecten. Ondanks dat deze verspillingen makkelijk te begrijpen en herkennen zijn, leiden ze de aandacht af van datgene wat de verspillingen veroorzaakt, namelijk flow- en procesvariabiliteit. Bovendien laat de VSM methode geen nuance voor situaties waarin niet alle verspillingen gereduceerd kunnen worden. Het factory physics denkkader benadrukt daarentegen dat organisaties, afhankelijk van hun strategie, de variabiliteit die niet geëlimineerd werd, kunnen bufferen door een combinatie van voorraad, capaciteit en tijd. Door de zeven verspillingen te vervangen door een opdeling die overeenstemt met de variabiliteitsbuffers, zouden organisaties het verband tussen variabiliteit en de performantie van hun productiesysteem beter kunnen voorzien.

Wat betreft de zeven value stream mapping tools die via correlaties aan de verschillende verspillingen worden gekoppeld, is het niet steeds duidelijk hoe deze tools kunnen bijdragen tot het terugdringen van bepaalde verspillingen. Ondanks dat bepaalde tools enkel een lage of middelmatige correlatie vertonen, wordt toch de indruk gewekt dat de tools doeltreffend zijn.

Kortom kan geconcludeerd worden dat value stream mapping een rooskleurig beeld creëert omwille van de gesimplificeerde assumpties, die niet steeds corresponderen met de realiteit. Hierdoor bestaat het risico dat het toepassen van de value stream mapping principes en tools niet tot de gewenste doelstellingen leidt.

Dankwoord

Graag wil ik iedereen bedanken die heeft bijgedragen tot het verwezenlijken van deze thesis. In de eerste plaats dank ik mijn promotor, prof. dr. Inneke Van Nieuwenhuysse, voor het delen van haar expertise en het aanbevelen van literatuur die van onschatbare waarde was voor dit onderzoek. Mede door haar feedback heb ik deze masterproef tot een goed einde kunnen brengen. Bovendien wil ik graag een speciaal woord van dank richten tot mijn ouders voor hun onvoorwaardelijke steun gedurende mijn opleiding. Tot slot ook een welgemeende dankuwel aan al mijn vrienden, die steeds klaarstonden om voor de nodige afleiding te zorgen.

Bibliografie

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International journal of production economics*, 107(1), 223-236. doi:10.1016/j.ijpe.2006.09.009
- Bergman, B., & Klefsjö, B. (2010). *Quality from customer needs to customer satisfaction* (3 ed.). Lund: Studentlitteratur AB.
- Braglia, M., Carmignani, G., & Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems. *International Journal of Production Research*, 44(18-19), 3929-3952. doi:10.1080/00207540600690545
- Chen, H., & Ye, H. (2002). An Examination of Some Factory Physics Principles. *Journal of the Operations Research Society of China*, 4. doi:10.1007/s40305-015-0115-x
- Godinho Filho, M., & Uzsoy, R. (2010). The effect of shop floor continuous improvement programs on the lot size-cycle time relationship in a multi-product single-machine environment. *International journal of advanced manufacturing technology*, 52(5-8), 669-681. doi:10.1007/s00170-010-2770-8
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011. doi:10.1108/01443570410558049
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46-64. doi:10.1108/01443579710157989
- Hines, P., Rich, N., Bicheno, J., Brunt, D., Taylor, D., Butterworth, C., & Sullivan, J. (1998). Value Stream Management. *The International Journal of Logistics Management*, 9(1), 25-42. doi:10.1108/09574099810805726
- Hines, P., Rich, N., & Esain, A. (1998). Creating a lean supplier network: a distribution industry case. *European journal of purchasing & supply management*, 4(4), 235-246. doi:10.1016/S0969-7012(98)00015-X
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569-16572. doi:10.1073/pnas.0507655102
- Hopp, W. J. (2011). *Supply Chain Science*: Waveland Press.
- Hopp, W. J. (2018). Positive lean: merging the science of efficiency with the psychology of work. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 398-413. doi:10.1080/00207543.2017.1387301
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (1996). *Factory physics: foundations of manufacturing management*. Chicago: Irwin.
- Jones, D. T., Hines, P., & Rich, N. (1997). Lean logistics. *International journal of physical distribution & logistics management*, 27(3/4), 153-173. doi:10.1108/09600039710170557
- Kingman, J. F. C. (1961). The single server queue in heavy traffic. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 57(4), 902-904. doi:10.1017/S0305004100036094
- Lewis, M. A. (2000). Lean production and sustainable competitive advantage. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(8), 959-978. doi:10.1108/01443570010332971
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way : 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: Mcgraw-hill.

- Liker, J. K., & Meier, D. (2005). *The Toyota Way Fieldbook*. New York: McGraw-Hill Education.
- Little, J. D. C. (1961). A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$. *Operations Research*, 9(3), 383-387. doi:10.1287/opre.9.3.383
- Little, J. D. C. (2011). Little's Law as Viewed on Its 50th Anniversary. *Operations Research*, 59(3), 536-549. doi:10.1287/opre.1110.0940
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075-3090. doi:10.1080/0020754021000049817
- Pettersen, J.-A., & Segerstedt, A. (2009). Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP. *International journal of production economics*, 118(1), 199-207. doi:10.1016/j.ijpe.2008.08.043
- Pound, E. S., Bell, J. H., & Spearman, M. L. (2014). *Factory Physics for Managers: How Leaders Improve Performance in a Post-Lean Six Sigma World* (First edition. ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*: Lean Enterprise Institute
- Serrano Lasa, I., Ochoa Laburu, C., & de Castro Vila, R. (2008). An evaluation of the value stream mapping tool. *Business process management journal*, 14(1), 39-52. doi:10.1108/14637150810849391
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H.-Y. (2017). A cross-sector review on the use of value stream mapping. *International Journal of Production Research*, 55(13), 3906-3928. doi:10.1080/00207543.2017.1311031
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2010). Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. *International journal of advanced manufacturing technology*, 53(5-8), 799-809. doi:10.1007/s00170-010-2860-7
- Spearman, M. L. (2014). Of Physics and Factory Physics. *Production and operations management*, 23(11), 1875-1885. doi:10.1111/poms.12188
- Sullivan, W. G., McDonald, T. N., & Van Aken, E. M. (2002). Equipment replacement decisions and lean manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 18(3), 255-265. doi:10.1016/S0736-5845(02)00016-9
- Sunder M, V., & Ganesh, L. S. (2021). Lean additives in a service factory: A design science approach. *Technovation*, 104, 102269. doi:10.1016/j.technovation.2021.102269
- Suri, R. (1998). *Quick response manufacturing: a companywide approach to reducing lead times*. Portland Productivity Press.
- Womack, J. P. (2006). VALUE STREAM MAPPING. *Manufacturing Engineering*, 136(5), 145-146,148,150-156.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson.