

Verbeterproject Bekistingproces

Casestudy met Lean6sigma naar productieve manuren op
het project: 'Sporen in Den Bosch'



Colofon

Auteur	D.T. Floor (s1008013)
Docent Universiteit Twente	Dr. J.T. Voordijk
Begeleiders Heijmans	Ir. V.H.A. de Waal & Ing. W. van de Polder
Kenmerk	Definitief
Datum	28 Januari 2013
Versie	1.0
Bestand	Verslag Definitief.docx

“De meest belangrijke, en eigenlijk werkelijk unieke, bijdrage van het management in de twintigste eeuw was de vijftigvoudige toename in de productiviteit van de fabrieksarbeider. De meest belangrijke bijdrage die het management moet leveren in de eenentwintigste eeuw is soortgelijk om de productiviteit van het kenniswerken en de kenniswerker te doen toenemen”.

(Peter F. Drucker; Amerikaans management consultant en auteur 1909-2005)

Afbeelding voorzijde: Project: ‘Sporen in Den Bosch.’ Bron: Prorail (2012)

Samenvatting

Aanleiding

Het rapport bevat een casestudy naar productieve manuren binnen het bekistingproces op het project: 'Sporen in den Bosch'. Het project betreft het verbeteren van een knelpunt in het spoorwegennet. Vlak voor het station Den Bosch komen de spoorlijnen vanuit Utrecht en Nijmegen samen, wat een zogenaamde 'bottleneck' oplevert. Dit knelpunt ontstaat bij de overbrugging van kanaal de Dieze. Om huidige problemen te verminderen en om aan de toekomstige capaciteit te kunnen voldoen worden er twee extra spoorlijnen en een fly-over gebouwd. De extra sporen zijn bedoeld om meer capaciteit te genereren en de fly-over zorgt ervoor dat gelijkvloers kruisen mogelijk wordt gemaakt. Binnen het project zijn vier timmerploegen van Heijmans betrokken, die grotendeels actief zijn binnen het zogenaamde bekistingproces. In de casestudy wordt onderzocht hoe productief deze timmerlieden kunnen werken en tegen welke problemen ze aanlopen. 'Productief' is gedefinieerd als de uren dat de timmerlieden noodzakelijke en/of waardetoevoegende handelingen verrichten. De casestudy wordt uitgevoerd met behulp van de eerste 3 stappen van de lean6sigma methodiek en gaat gepaard met 20.000 euro aan verwachte jaarlijkse baten op het betreffende project. Het rapport is onderdeel van een verbeterproject en heeft als doel:

"Het aandragen van inzichten aan Heijmans in bewerkingstijden in het bekistingproces en de productiviteit binnen het proces, door een analyse van een bouwproject te maken met behulp van de Lean6sigmastappen: Define, Measure en Analyse over procestijden en door verklarende meningen van betrokken personen."

Resultaten

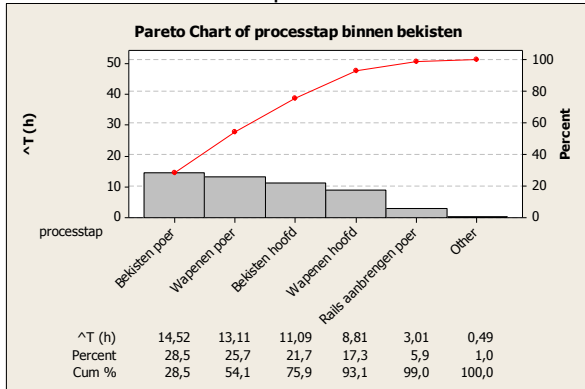
Uit de data-analyse blijkt het volgende:

- Slechts 42,2% van de gerealiseerde manuren is productief, waarvan de meeste tijd op gaat aan bekisting en wapeningsgerelateerde activiteiten. De overige tijd gaat op aan wachttijd, opruimen etc.
- Binnen de fase bekisten is er een sterk verschil aanwezig tussen het bekisten bij de werkplek 'poer' en in de 'fly-over'. Bij de 'poer' zijn minder constante handelingen, vermoedelijk veroorzaakt doordat de werkplek minder is opgeruimd, de werkzaamheden door twee ploegen worden uitgevoerd en doordat de bekistingactiviteiten parallel moeten worden uitgevoerd naast werkzaamheden van andere ploegen (HSVT, vlechters, etc.).
- Het dagdeel is van invloed op de data. Tussen 7.00-9.00 uur (voorschaft) zijn de timmerlieden productiever dan de rest van de dag.
- De ploegen onderling werken even productief. Echter de ploeg met de minst diverse werkzaamheden, heeft een kleinere spreiding in productiviteit. Een kleinere diversiteit van werkzaamheden zorgt daarom voor een kleinere spreiding.
- Timmerlieden binnen een ploeg werken even productief, met een gelijke spreiding.
- De gemiddelde duur van een (productieve) handeling en het aantal (productieve) handelingen dat een timmerman op een dag uitvoert is niet van invloed op de productiviteit.
- De totale werkinstructieduur per dag is niet van invloed op de productiviteit.

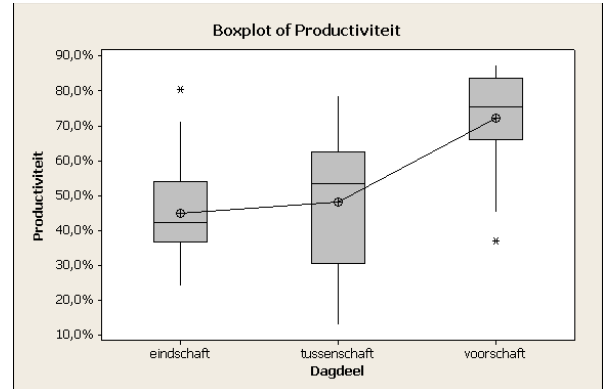
Uit de WOW-analyse, gesprekken met de timmerlieden/(hoofd)uitvoerder en observaties blijkt dat een aantal activiteiten zorgen voor een lage productiviteit namelijk:

- Kraanbeschikbaarheid → Oorzaak: Onvoldoende vooruit denken timmerlieden en uitvoerder speelt er te weinig op in.
- Werkplekbeschikbaarheid → Oorzaak: Uitgelopen planning en projectdeadline.
- Geplande gesprekken → Oorzaak: Incidentele gebeurtenissen.
- Mentaliteit Timmerlieden → Oorzaak: Leeftijd, anders gewend.

Voornamelijk de eerste twee activiteiten kunnen verbeterd worden. Echter vallen deze onder het onderzoek van de niet-productieve uren.



Figuur 1 Fase Bekisten



Figuur 2 Productiviteit per dagdeel

Aanbevelingen

Voor de LSS-stappen 'improve' en 'control' worden een aantal aanbevelingen gedaan. De timmerlieden en uitvoering moeten met elkaar in gesprek gaan over de overbrugging van de 'communicatiekloof'. Er moet een oplossing bedacht worden voor de 'kraanbeschikbaarheid' en meer parallel laten verlopen van werkzaamheden in het proces. De uitvoering moet zorgen voor duidelijke dagtaken die niet te divers van aard zijn. Ook moet door de uitvoering kritisch nagedacht worden of de timmerlieden op de juiste manier worden ingezet. Opruimen is vrij duur als dat door gespecialiseerde timmerlieden wordt gedaan. En tenslotte moet er onderzocht worden waarom men 's ochtends productiever is dan de rest van de dag.

Verder zijn er verbeteringen mogelijk in de niet-productieve uren zoals wachten op de kraan, pauze-uitloop, opruimwerkzaamheden en wachten op andere ploegen. De wachttijd op de kraan is opvallend, omdat er op het project extra kraan capaciteit aanwezig is. Het probleem ontstaat door het ad hoc werken van de timmerlieden, waar de uitvoerder te weinig op in speelt. De wachttijd op andere ploegen ontstaat door een eerder opgelopen vertraging in de planning, waardoor verschillende ploegen op hetzelfde tijdstip op dezelfde locatie hun werkzaamheden moeten uitvoeren. Beide problemen worden herkend in soortgelijke studies gehouden in Turkije en China en worden daarom verondersteld generiek te zijn. Daarom de volgende concrete aanbevelingen:

- Dagelijks wordt er kort overleg (+/-15 min) gepleegd tussen de voorman van een timmerploeg en de uitvoerder over de kraanplanning, werkzaamheden, beschikbare tekeningen etc. De uitvoerder stemt de kraan af met andere actoren.
- Minimaal één keer in de week eten de uitvoerder en timmerlieden samen, om een beter beeld te krijgen van elkaar en om aan het vertrouwen te werken.
- De uitvoerder maakt een duidelijke dagplanning voor tenminste 3 dagen vooruit. En plaatst deze in de schaftkeet. Op deze manier kunnen de timmerlieden vooruitdenken en doorwerken als de werkplek niet beschikbaar is of als er wachttijd ontstaat.
- Overleggen worden bij voorkeur aan het eind van de dag gehouden.
- Invoeren flexibele schafttijden.
- Kritisch onderzoeken of huidige pauze-indeling juist is. Aan het eind van de dag werken timmerlieden namelijk het langst onafgebroken.

Voorwoord

28 Januari 2013

Het onderzoek is uitgevoerd vanuit de opleiding Civiele Techniek (& Management) aan de Universiteit Twente. Het betreft een bacheloreindopdracht binnen de richting bouwen. Civiele techniek is aangesloten bij de faculteit construerende wetenschappen. Het onderzoek zelf is uitgevoerd bij Heijmans Civiel op de afdeling innovatie. Binnen deze afdeling is veel kennis aanwezig over het gebruik van Lean6Sigma binnen verbeterprojecten.

Het citaat op de omslag vond ik treffend voor het onderzoek. In de 20^{ste} eeuw werden er grote productiviteitsslagen gemaakt, door de opkomst van machines etc. Tegenwoordig is een hogere productiviteit halen meer een kwestie van de juiste machines op de juiste plaatsen op het juiste tijdstip te gebruiken. Dat vraagt om een vooruitdenken en de kennis op de juiste manier in te zetten. Uit dit onderzoek komt naar voren dat problemen ontstaan door ad hoc werk en teveel mensen in één gebied aan het werk. De kennis van de verschillende actoren moet bij elkaar gebracht worden en beter ingezet worden. De vijftigvoudige toenames zijn misschien niet meer te realiseren, maar ook zeker in de bouwwereld valt het een en ander te verbeteren.

Ik heb in de periode oktober 2012 t/m december 2012 bij Heijmans gelopen en heb deze periode als plezierig ervaren. Ik vond het ontzettend interessant en leerzaam om van zowel de praktijk als het kantoorleven wat mee te maken. De gesprekken tussen personen van diverse achtergronden geven een brede kijk op het bedrijf Heijmans en de bouwsector in zijn algemeenheid. Ik wil Vincent de Waal en Wietse van de Polder bedanken voor de begeleiding vanuit Heijmans. De kritische blik enerzijds en de vrijheid anderzijds heb ik als prettig ervaren. Ook gaat een woord van dank uit naar mijn begeleider vanuit de universiteit Hans Voordijk, voor alle begeleiding rondom de opdracht.

Diederick Floor,
d.t.floor@student.utwente.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Voorwoord	5
1 Inleiding	8
2 Projectkader	9
2.1 Aanleiding en probleemstelling onderzoek	9
2.2 Doel en belang van het onderzoek	9
2.3 Onderzoeksvragen	10
2.4 Onderzoeksmethode	11
3 Conceptueel Kader	15
3.1 Bekisten	15
3.2 Procesverbetering	18
3.3 Productiviteit	22
4 Casestudy	25
4.1 Definieer het project	26
4.2 Selecteer de interne CTQ	27
4.3 Valideer de meetprocedure	27
4.4 Beoordeel het huidige proces	30
4.5 Identificeer mogelijke invloedsfactoren?	34
4.6 Conclusie casestudy	43
5 Theoretische verklaring casestudy	45
5.1 Productiviteitsstudies in de literatuur	45
5.2 Casestudy vs literatuur	46
6 Conclusie en Discussie	48
6.1 Conclusies	48
6.2 Discussie	50
6.3 Aanbevelingen	50
7 Bibliografie	52
8 Bijlagen	54
Bijlage A Organisatiebeschrijving	I
Bijlage B Bouwproject vs bouwproces	II
Bijlage C Opdeling Bekistingproces microniveau (Theorie)	IV
Bijlage D Opbouw Bekisting	V
Bijlage E Interview methodiek	VI
Bijlage F Project-charter: samenvatting	VII
Bijlage H Batenanalyse	VIII
Bijlage I Projectdetails	IX
Bijlage J Belanghebbendenmatrix	X
Bijlage K Meetformulier voorbeeld	XI

Bijlage L	Processtappen	XII
Bijlage M	Wachttijdenformulier	XIII
Bijlage N	Definitielijst	XIV
Bijlage O	Methodiek Valideren	XV
Bijlage P	Methodiek Invloedsfactoren	XVI
Bijlage Q	Visgraad invloedsfactoren	XVII
Bijlage R	Procesprestatie	XVIII

1 Inleiding

Het rapport bevat een casestudy naar productieve manuren binnen het bekistingproces op het project: Sporen in den Bosch. Het project Sporen in den Bosch, betreft het verbeteren van een knelpunt in het spoorwegennet. Vlak voor het station Den Bosch komen de spoorlijnen vanuit Utrecht en Nijmegen samen, wat een zogenaamde 'bottleneck' oplevert. Dit knelpunt ontstaat bij de overbrugging van kanaal de Dieze. Om huidige problemen te verminderen en om aan de toekomstige capaciteit te kunnen voldoen worden er twee extra spoorlijnen en een fly-over gebouwd. De twee extra sporen zijn bedoeld om meer capaciteit te genereren en de fly-over zorgt ervoor dat gelijkvloers kruisen mogelijk wordt gemaakt. Binnen het project zijn vier timmerploegen van Heijmans betrokken, die veel werkzaamheden verrichten binnen het zogenaamde bekistingproces. In de casestudy wordt onderzocht hoe productief deze timmerlieden kunnen werken en tegen welke problemen ze aanlopen. De casestudy wordt uitgevoerd met behulp van de lean6sigma methodiek.

In het rapport wordt in hoofdstuk 2 het projectkader besproken. In dit deel wordt de aanleiding en het doel van het onderzoek beschreven. Ook worden hier de onderzoeksvragen en het onderzoeksmodel uitgewerkt. Dit deel vormt de basis voor de verdere uitwerking van het rapport.

In hoofdstuk 3 wordt het conceptuele kader uitgewerkt. Dit deel bevat de theoretische onderbouwing en ondersteuning van het onderzoek. In dit deel wordt ingezoomd op de kenmerken en principes rondom bekisten. Verder wordt uitgewerkt wat de principes zijn van Lean6Sigma (LSS) en hoe het als instrument kan dienen binnen procesverbetering. Ook wordt ingegaan op de implementatie van LSS binnen Heijmans. Ten slotte wordt beschreven wat 'productief' is en welke definities er in de literatuur gehanteerd worden. Een aantal veel gebruikte definities binnen de casestudy worden in dit deel theoretisch onderbouwd.

Hoofdstuk 4 beslaat de casestudy en vindt zijn onderbouwing in hoofdstuk 3. De leidraad van de casestudy zijn de eerste drie stappen binnen de door Heijmans gebruikte LSS-methodiek. Allereerst wordt het project beschreven en gedefinieerd, vervolgens wordt beschreven waaraan gemeten wordt (Critical To Quality). Om de CTQ te meten moet vervolgens een meetplan opgesteld worden en moet de methode valide zijn om tot betrouwbare resultaten te komen. Vervolgens worden de metingen gehouden en wordt het huidige proces beoordeeld. Vanuit de data en gesprekken worden mogelijke invloedsfactoren bepaald. En tenslotte worden de resultaten kort besproken in de conclusie.

In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de casestudy naast twee vergelijkbare studies uit Turkije en China gelegd. De verschillen en overeenkomsten worden besproken, om inzicht te krijgen in hoeverre deze resultaten herkend worden. En om te bepalen in hoeverre de problemen generiek zijn.

In hoofdstuk 6 worden de conclusies, discussie en aanbevelingen gepresenteerd. Het bevat een kritische reflectie op de resultaten en biedt aanbevelingen voor enerzijds de laatste twee fases in de LSS-methodiek en anderzijds over onderzoeksgebieden waarin dit onderzoek beperkt is.

In hoofdstuk 7 en 8 zijn respectievelijk de bibliografie en de bijlagen te vinden. Door het rapport heen wordt er naar de bijlagen verwezen.

2 Projectkader

2.1 Aanleiding en probleemstelling onderzoek

Heijmans is sinds enkele jaren actief bezig met de toepassing van Lean6sigma (LSS) management op projecten. LSS is een verbetermethodiek en zorgt ervoor dat de productiviteit hoger wordt (Lean) en de productvariantie kleiner (Six Sigma). LSS is opgedeeld in een aantal processtappen, die de basis vormen voor een verbeterproject. Deze verbeterprojecten moeten een structurele kostenreductie te weeg brengen, waardoor bijgedragen wordt de het strategische speerpunten 'Winstgevendheid', 'Kwaliteitsverbetering' en 'Duurzaamheid'. Binnen Heijmans is men voortdurend op zoek naar verbeterprojecten en men verwacht ook kostenreductie te kunnen realiseren bij timmerlieden betrokken bij het bouwproces. Echter is daarvoor praktijkgericht onderzoek noodzakelijk binnen het bouwproces.

Daartoe wil men graag onderzoek verrichten naar een veel voorkomend proces binnen projecten. Het bekistingproces is een geschikt proces, aangezien daar dagelijks vele manuren voor worden ingezet, wat een significante invloed heeft op de totale projectduur (Ko, Wang, & Kuo, 2011, p. 13). Als blijkt dat er significante verbeteringen mogelijk zijn in het bekistingproces, dan kan dat aanleiding geven tot verder onderzoek naar oplossingen. Daartoe moet in kaart gebracht worden wat de efficiëntie is van elke processtap door te kijken naar de productieve uren.

Voornamelijk bekisting van complexe projecten is van belang, omdat daar relatief veel tijd en manuren in omgaan en omdat het vaak binnen het kritieke pad van een project valt. Binnen het management van Heijmans bestaat het vermoeden dat binnen die projecten mogelijkheden zijn om de productiviteit te verhogen en de kwaliteit te verbeteren. Voor het management is het daarom belangrijk om meer van de praktijk te weten wat betreft procestijden, ervaringen van mensen op de werkvloer etc. Aan de andere kant is het voor mensen op de werkvloer een mogelijkheid om het praktisch nut van LSS te tonen en inzicht te geven in de oorzaken van de problemen. Daartoe ontstaat de volgende probleemstelling:

Probleemstelling:

Heijmans B.V. Civiel heeft geen inzicht in de productieve manuren binnen het bekistingproces van complexe projecten.

2.2 Doel en belang van het onderzoek

De aanleiding van het onderzoek vormt de aanzet tot de doelstelling. De doelstelling is geformuleerd om de relevantie van het onderzoek aan te geven.

2.2.1 Doelstelling:

De doelstelling vormt het uitgangspunt van het onderzoek en luidt als volgt:

Het doel van dit onderzoek is het aandragen van inzichten aan Heijmans in bewerkingstijden en productiviteit van het bekistingproces, door een analyse van een bouwproject te maken met behulp van de Lean6sigmastappen: Define, Measure en Analyse over procestijden en door verklarende meningen van betrokken personen.

2.2.2 Belang onderzoek

Het plaatsen en stellen van bekisting is een proces wat vaak terugkomt binnen projecten. Over de gehele projectduur neemt het aanzienlijk wat tijd in beslag. Het is daarom belangrijk dat er op een

efficiënte manier met het proces wordt omgegaan. In het onderzoek wordt gekeken naar de productieve manuren binnen het bekistingproces. Er wordt onderzocht of en hoe het aantal productieve manuren vergroot kan worden. Ook wordt onderzocht of het proces verbeterd kan worden en of er veel herbewerkingen binnen het proces zijn. Dit onderzoek koppelt een praktijksituatie aan de literatuur over bekisting, zodat de methodiek op meerdere projecten toepasbaar is en zodat de bevindingen eenvoudiger generiek te maken zijn. Dit onderzoek helpt Heijmans om de problemen te signaleren en te kijken in welke deelprocessen ze optreden. Het onderzoek kan aanleiding geven om het bekistingproces anders in te richten.

2.3 Onderzoeksvragen

De volgende onderzoeksvragen worden gebruikt:

Hoofdvraag:

Hoe kan de productiviteit van de timmerlieden binnen het bekistingproces verhoogd worden, door middel van de LSS-methodiek en waardoor ontstaan fouten in het proces?

Deelvragen:

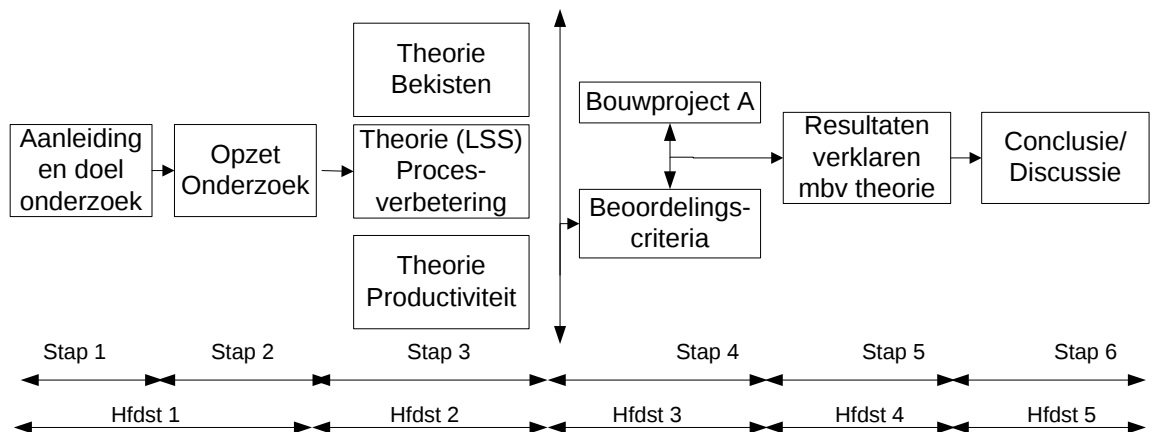
1. Hoe steekt het bekistingproces in elkaar?
 - i. Wat wordt in de literatuur verstaan onder een bouwproces?
 - ii. Wat zegt de literatuur over de kenmerken en onderdelen van het bekistingproces?
 - iii. Wat zijn de kenmerken van de binnen Heijmans toegepaste bekistingmethode?
2. Op welke manier kan een bekistingproject worden verbeterd met behulp van LSS?
 - i. Hoe dient Lean6sigma als instrument voor procesverbetering
 - ii. Wat zijn de oorsprong en principes van Lean6sigma?
 - iii. Hoe wordt de LSS methodiek praktisch vormgegeven binnen Heijmans?
 - iv. Hoe kan Lean6sigma toegepast worden binnen het onderzoek met betrekking tot projectverbetering van het bekistingproces?
3. Hoe kan productiviteit beschreven worden?
 - i. Wat zijn de principes van projectplanning binnen bouwprocessen?
 - ii. Welk onderscheid is er te maken met betrekking tot soort activiteiten?
 - iii. Hoe kan de term productiviteit operationeel gemaakt worden?
4. Wat is van invloed op de productiviteit van timmerlieden?
 - i. Hoe steekt het onderzochte project in elkaar?
 - ii. Hoe zijn de procestijden in het onderzochte project in werkelijkheid verdeeld?
 - iii. Welke factoren zijn van invloed op de productiviteit?
 - iv. Wat ervaren de betrokken actoren als invloedsfactoren?
5. Worden de resultaten van de casestudy in vergelijkbare studies herkend?
 - i. Wat zijn de resultaten van soortgelijke productiviteitsstudies in de literatuur?
 - ii. Hoe kunnen de verschillen en overeenkomsten theoretisch verklaard worden?
6. In hoeverre kunnen er algemene conclusies getrokken worden uit het onderzochte project en wat is de reikwijdte ervan?
 - i. Conclusie
 - ii. Discussie
 - iii. Aanbevelingen

2.4 Onderzoeksmethode

In de onderzoeksmethode komen het onderzoeksmodel, de onderzoeksvragen en een afbakening van het onderzoek naar voren.

2.4.1 Onderzoeksmodel

Om de uiteindelijke doelstelling van het onderzoek te halen, moeten een aantal stappen doorlopen worden. Het onderzoek kan gedefinieerd worden als een 'problemanalytisch onderzoek', omdat er onderzocht moet worden dat er een probleem is, waarom het een probleem is en waaruit het probleem bestaat (Verschuren & Doorewaard, 2007). Het probleem wordt in kaart gebracht door een casestudy. De casestudy kenmerkt zich door een smal domein, arbeidsintensieve benadering, meer diepte dan breedte, selectieve steekproef, betreft het geheel, open waarneming op locatie, kwalitatieve gegevens (Verschuren & Doorewaard, 2007).



Figuur 3 Onderzoeksmodel

In Figuur 3 geven de verticale pijlen in het model 'de confrontatie' aan en enkelvoudige horizontale pijlen geven een afleiding aan.

2.4.2 Beschrijving onderzoekstappen

Het onderzoek is opgebouwd uit een aantal stappen. Van elke stap wordt beschreven wat het doel is en hoe deze bijdraagt in het proces.

Stap 1

Stap 1 bevat de directe aanleiding en het doel van het onderzoek. Hierin wordt beschreven wat de probleemstelling is, waarom het een probleem is en waarom er onderzoek nodig is. De informatie wordt verkregen uit literatuur en informatie van Heijmans.

Stap 2

Stap 2 bevat de onderzoeksofzet, onderzoeksvragen en de scope van het onderzoek. De informatie wordt verkregen via Heijmans en beschikbare literatuur.

Stap 3

Stap 3 bevat theoretisch onderzoek naar de inhoud van het bekistingproces. De literatuur moet de principes van bekisting duidelijk maken en inzicht geven in een geschikte procesindeling, wat bruikbaar is voor het meten van procestijden.

Vervolgens wordt er onderzoek gedaan naar LSS als instrument voor procesverbetering. Door literatuur wordt LSS in perspectief gezet en tevens wordt ingegaan op de methodiek toegepast binnen Heijmans. Ook wordt ingegaan op de vraag hoe LSS als instrument kan dienen om het bekistingproces te verbeteren.

Als laatste bevat stap 3 literatuur over definities omtrent productiviteit. De literatuur moet duidelijk maken hoe tijd en kwaliteitsaspecten meegenomen kunnen worden in het onderzoek. De eerste 3 stappen van Lean6sigma, namelijk: 'define', 'measure' en 'analyse', worden gebruikt en vormen de leidraad voor het empirisch onderzoek.

Stap 4

Stap 4 is de daadwerkelijke 'casestudy' en bevat de projectomschrijving en empirische resultaten. Deze stap wordt systematisch uitgewerkt door middel van de eerste 3 stappen van LSS namelijk: Define, Measure, Analyse. De projectomschrijving wordt gemaakt doormiddel van literatuur, gesprekken, documenten en het analyseren van de bouwplaats. De resultaten van het empirisch onderzoek bevatten informatie over tijdsduur van processen, invloedsfactoren en de kwaliteit van het proces. De informatie wordt verkregen door interviews met betrokken personen en meetresultaten van het bekistingproces. Deze worden uitgewerkt en vormen de basis voor stap 5.

Stap 5

In stap 5 worden de empirische resultaten bediscussieerd met soortgelijke studies vanuit de literatuur. Daarvoor worden de resultaten van twee vergelijkbare studies vergeleken met de resultaten uit het empirisch onderzoek.

Stap 6

Deze stap bevat de conclusie, discussie en aanbevelingen van het onderzoek. En gaat in op de vraag in hoeverre de conclusies veralgemeniseerbaar zijn.

2.4.3 Onderzoeksmethodiek:

In de onderzoeksmethodiek wordt uitgewerkt waarom er voor verschillende soorten bronnen is gekozen en hoe deze ingezet gaan worden.

Literatuur en projectdetails

Uit de literatuur worden verschillende zaken gehaald. Er wordt informatie gezocht met betrekking tot bekisten, plannen en beheersen. Deze theoretische principes moeten handvatten bieden aan het praktische onderzoek. De projectdetails maken de context van het onderzoek inzichtelijk en maken invloedsfactoren op de productiviteit duidelijk.

Metingen

Het bekistingproces wordt opgedeeld in verschillende stappen. Deze moeten uit de literatuur naar voren komen. Vervolgens worden op de bouwplaats aan de hand van die stappen, metingen uitgevoerd. In principe wordt slechts één project bekeken. Binnen dit project zal de bekistingcyclus zich echter een aantal keer herhalen. Er worden tenminste 2 subonderdelen onderzocht.

Volgens Flyvbjerg (2007) is het mogelijk om ook op basis van één geval algemene conclusies te trekken. Hij stelt een aantal misvattingen aan de orde waaronder Misunderstanding 2: *"One cannot generalize on the basis of an individual case; therefore, the case study cannot contribute to scientific development"* (Flyvbjerg, 2007). Het voordeel van één project onderzoeken is dat er dieper ingegaan kan worden op het project en dat achterliggende redenen en de context beter naar voren komen. Voor de conclusies is het wel belangrijk dat de principes uit het onderzochte project generiek zijn voor gelijksoortige projecten.

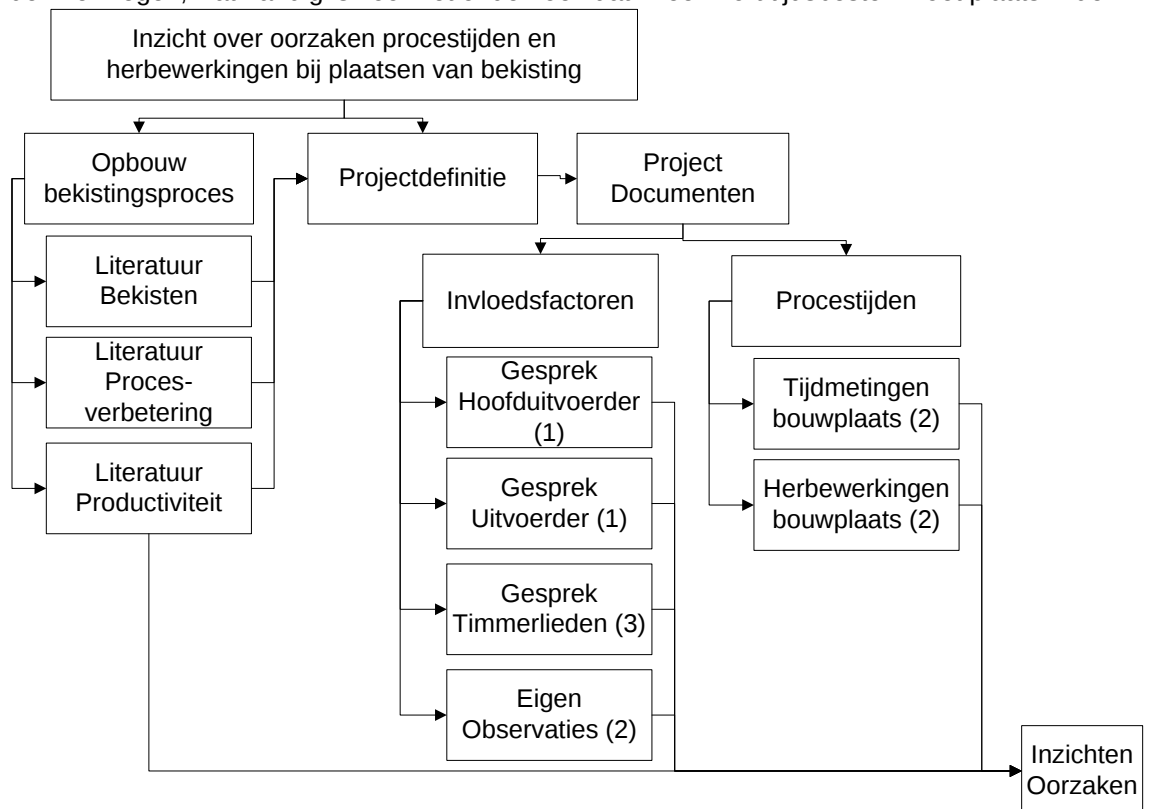
De reden dat er voor metingen is gekozen, is omdat er geen metingen beschikbaar zijn. Anderzijds is de betrouwbaarheid hoger, omdat de metingen goed afgestemd kunnen worden op principes uit de literatuur, daardoor zijn deze beter bruikbaar.

Interviews/gesprekken

Interviews/gesprekken worden met betrokken personen binnen Heijmans gehouden. De betrokken personen fungeren als informanten (Verschuren & Doorewaard, 2007, p. 217) omdat zij kennis verschaffen en vanuit verschillende organisatielagen komen. De personen zullen anoniem individueel, doormiddel van een face-to-face interview, ondervraagd worden over het proces.

De betrokken personen zijn de hoofduitvoerder, uitvoerder en enkele timmerlieden. Deze personen worden met de resultaten van de metingen geconfronteerd en hen wordt gevraagd naar mogelijke invloedsfactoren. Ook wordt gevraagd naar oorzaken van herbewerkingen. In totaal zal er één interview worden afgenomen met de hoofduitvoerder, één met de uitvoerder en minimaal 3 met bekistingstellers. De reden is dat er vaak slechts één hoofduitvoerder op het project zit en dat deze met standaarden werkt en daarmee een vrij realistisch beeld geeft. Op het project is ook slechts een uitvoerder aanwezig, daardoor zijn meerdere interviews niet mogelijk. De bekistingstellers zijn met meerdere aanwezig, daarom is het van belang meerdere mensen te interviewen om een breder beeld te krijgen van de problematiek.

Het voordeel van de interview methode is dat er veel informatie en inzichten in een relatief korte tijd worden verkregen, wat handig is voor het onderzoek dat in een kort tijdsbestek moet plaatsvinden.



Figuur 4 Stappenoverzicht voor beantwoorden probleemstelling

2.4.4 Afbakening onderzoek

Binnen Scope:

- De eerste 3 stappen van Lean6sigma (define, measure, analyse).
- Voor het bekistingproces wordt een eigen definitie gehanteerd en bevat alleen het plaatsen, stellen, invetten en controleren van specifieke bekisting.
- Voor Lean6sigma wordt de Heijmans definitie gehanteerd, wat het belangrijkste concept weergeeft.
- Onderzoek richt zich op specifieke bekisting, omdat die onderdeel uitmaakt van het kritieke pad van het project.
- Bij het verbeteren van het project wordt alleen de bewerkingstijd van timmerlieden meegenomen.

Buiten Scope:

- Wapenen en beton storten
- Wachttijden, herbewerkingen
- Handelingssnelheid van de timmerlieden
- Handelingen verricht door de uitvoerder of assistent-uitvoerder

3 Conceptueel Kader

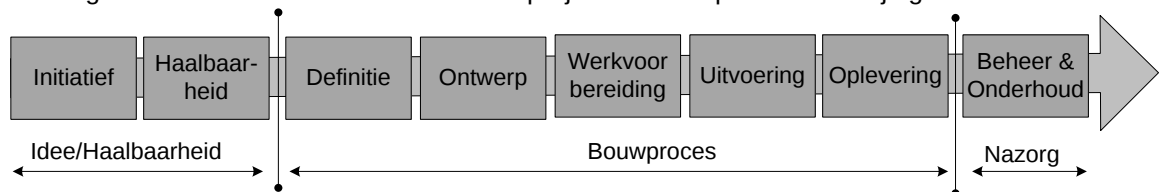
In het conceptueel kader worden drie onderdelen uitgewerkt namelijk theorie over bekisten, procesverbetering en productiviteit. Deze drie zaken ondersteunen de casestudy. In paragraaf 3.1 worden de stappen, eigenschappen en kenmerken van het bekistingproces uitgewerkt. In paragraaf 3.2 komt naar voren wat de kenmerken zijn van procesverbetering ten opzichte van andere procesmanagementprincipes en wordt Lean Six Sigma (LSS) geïntroduceerd. In paragraaf 3.3 worden de termen productiviteit, procesplanning en soorten activiteiten uitgediept. Ook biedt het operationele definities van (theoretische) termen omtrent productiviteit, wat de basis biedt voor de casestudie. Het is verder belangrijk om een bouwproject procesmatig te beschrijven, omdat de LSS-methodiek zich normaliter richt op processen. Daarom wordt daar ook uitgebreid op ingegaan.

3.1 Bekisten

Het bekistingproces is een proces dat veelvuldig voorkomt op de bouwplaats. Het vormt een groot deel van de bouwtijd en bouwkosten binnen een bouwproject. In het conceptueel kader wordt ingegaan op de opbouw en de kenmerken van het bekistingproces. Ook wordt de koppeling gemaakt tussen bouwproject en bouwproces. Lean6sigma wordt voornamelijk in de procesindustrie gebruikt, terwijl de bouw zich juist kenmerkt door het projectmatig werken. Dat de bouw echter ook als proces gezien kan worden wordt in deze paragraaf duidelijk gemaakt.

3.1.1 Wat wordt in de literatuur verstaan onder een bouwproces?

Het bouwproces wordt vaak in verschillende fasen opgedeeld. Wentzel & Eekelen (2005) onderscheiden de fasen: Uitgangspunten, ontwerp, uitwerking en bouw. Binnen de verschillende fasen zijn weer subonderdelen te onderscheiden. Het proces van bekisten valt onder de uitvoeringsfase. Het verschil tussen een bouwproject en bouwproces is in Bijlage B beschreven.



Figuur 5 Fasen van een bouwproces(Wentzel & Eekelen, 2005)

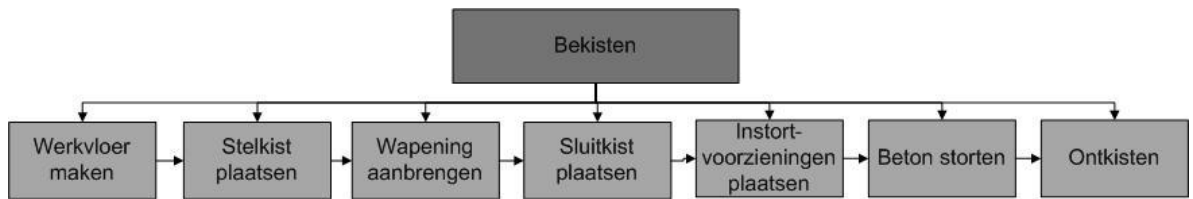
3.1.2 Wat zegt de literatuur over de kenmerken en onderdelen van het bekistingproces?

Van bouwproces naar bekistingproces

Het bekistingproces valt binnen de fase uitvoering van het bouwproces. De fase uitvoering is ook onder te verdelen in een aantal stappen bijvoorbeeld skeletbouw, onderbouw, bovenbouw en afbouw. Bekisten wordt voornamelijk gebruikt voor draagconstructies (wanden, kolommen, vloeren etc.) en vormt daarmee één van de eerste fasen van het uitvoeringsproces.

Er zijn vele soorten bekisting te onderscheiden, maar globaal gezien doorloopt elk bekistingproces de fases: “design and plan the mold, draft shop drawings, prepare materials, machine molds, set out, inspect layout, assemble mold, monitor and remedy mold during concrete pouring, and remove mold and re-support operations” (Shen, 1992; in (Ko, Wang, & Kuo, 2011, p. 16)). Vertaalt naar de Nederlandse situatie is het proces in te delen in de stappen zoals in Figuur 6 weergegeven¹.

¹ Opgesteld met behulp van Hoofduitvoerder Gert Besemer binnen Heijmans



Figuur 6 Opbouw bekistingproces

Soorten bekisting

Bekisting kent zijn toepassing in verschillende segmenten. Grofweg is er een onderscheid te maken tussen traditionele bekisting en systeembekisting (Liyan and Yang, 2004; in (Ko, Wang, & Kuo, 2011, p. 14)). Traditionele bekisting kenmerkt zich door de toepassing op unieke en ingewikkelde situaties. De bekisting wordt meestal op de bouwplaats samengesteld en bestaat uit houten gordingen en/of liggers met houten beplating (Buko Materieeldienst, 2008). Systeembekisting kent zijn toepassing op situaties die vaker voorkomen. De bekisting is opgebouwd uit afzonderlijke elementen die met behulp van bekistingsloten aan elkaar gekoppeld zijn. De beplating is meestal van hout of kunststof en het frame van staal of aluminium. De toepassingsgebieden van zowel traditionele als systeembekisting zijn voornamelijk vloeren, wanden en kolommen (Heuveling & Kerkhoven, 2012). Op de bouwplaats worden ook nog wel eens beide type bekistingen tegelijk gebruikt. Het frame is dan vaak opgebouwd uit systeembekisting (ook wel modulaire bekisting genoemd) en de platen en afwerking uit traditionele bekisting.

Kenmerken bekistingproces

In de literatuur worden een aantal opvallende kenmerken genoemd van het bekistingproces. In onderstaand overzicht zijn een aantal feiten opgesomd over het bekistingproces met betrekking tot kosten (Ko, Wang, & Kuo, 2011, p. 13):

- Bekistingproces is goed voor ongeveer 15% van de totale bouwkosten;
- Bekistingproces is goed voor ongeveer een derde van de kosten van de constructiebouw;
- Bekisting is een van de vier belangrijkste kostenfactoren in de gewapende betonbouw, naast beton-, elektra- en staalproductie.

Deze feiten geven het belang aan van optimalisatie van het bekistingproces, omdat het grote impact heeft op de totale projectkosten. Ko, Wang, & Kuo (2011, p.13) trekken op basis van de genoemde feiten de conclusie: "Therefore, formwork engineering is not only critical for the successful completion of construction projects, but is also a critical factor in construction industry profitability."

Het bekistingproces is ook één van de fases in een bouwproject waar de meeste ongelukken gebeuren. Jannadi & Assaf (1998) en Zambianchi (2007); in (Adam, Calderón, & Pallarés, 2009, p. 293) concluderen dat het maken van de bekisting voor betonconstructies de meest gevaarlijke fase is in relatie tot (val)incidenten. Het CIRC rapport (2001); in (Jaillon, Poon, & Chiang, 2008), omschrijft de huidige constructieactiviteiten in de compacte stad Hong Kong zelfs als: 'arbeidsintensief, gevaarlijk en vervuilend.'

Deze problemen worden ook in de Nederlandse situatie deels herkend. In 2007 had 9,7% van de bekistingstimmermannen in Nederland te maken met een arbeidsongeval, tegen een gemiddelde van 4,3% in de bouwsector (Arbouw, 2007, p. 25). Ook wat betreft vervuiling veroorzaakt Nederland jaarlijks 11 miljoen ton bouw en sloopafval, echter wordt daarvan 90% gerecycled (Jaillon, Poon, & Chiang, 2008, p. 311). Echter geldt voor elke vorm van afval dat er mensen mee bezig zijn geweest in de vorm van transport, bewerkingstijd of op andere manieren. Aangezien afval niet waardetoevoegend is in het bouwproces is minimalisatie van afvalproductie noodzakelijk voor winstmaximalisatie.

Betrokken actoren bekistingproces

Binnen een bekistingproces zijn diverse actoren betrokken. Zo zijn er steigerbouwers, bekistingstellers, betonstaalvlechters, de opzichter, constructeur, toezichthouder en betonstorters betrokken. Juist omdat er zoveel partijen betrokken zijn gaat het nog wel eens mis met de veiligheid en tijdsplanning, De Boer (2010) zegt over veiligheid tijdens het bekisten in het blad Cobouw: "Iedereen doet zijn best, niemand wil dat het misgaat. De verantwoordelijkheden zijn simpelweg over te veel partijen verdeeld". Opvallend is verder dat de betonstaalvlechters het enige bouwplaatsberoep is binnen de bouwbranche die binnen de top 5 valt met meeste klachten over werken onder tijdsdruk. Meer dan 60% van de betonstaalvlechters ervaart te werken onder tijdsdruk en de vlechters hebben 25% meer klachten als het gemiddelde van de bouwplaatsmedewerkers (Arbouw, 2007, p. 38).

3.1.3 Wat zijn de kenmerken van de binnen Heijmans toegepaste bekistingmethode?

Binnen Heijmans wordt er gebruik gemaakt van zowel systeembekisting als traditionele bekisting. Binnen de systeembekisting maakt Heijmans voor de hulpconstructie veel gebruik van modulaire bekisting. De voorganger van modulaire bekisting is de voor het project, 'op maat' gemaakte stalen hulpconstructie, die na afloop werd verschroot (Schopman, 2006). Modulaire bekisting voorkomt onnodige verspilling van staal, doordat het op meerdere projecten toepasbaar is. Voor de overige onderdelen wordt gebruikt gemaakt van peri dragers en peri trio systeembekisting. Peri trio is een universeel bekistingsysteem. Door middel van verschillende plaatbreedtes wordt de gewenste vorm gerealiseerd. In plaats van peri trio kan er ook traditionele (op hand gemaakte) bekisting gebruikt worden. Traditionele bekisting wordt op maat gemaakt en wordt daardoor vaak eenmalig toegepast, terwijl peri trio universeel toepasbaar is.

Peri drager is de ondersteuning van de peri trio of traditionele bekistingplaten, zodat de druk verdeeld kan worden. De peri drager wordt ondersteunt door de modulaire bekisting en biedt bevestigingsmogelijkheden voor de peri trio of traditionele bekistingplaten. Zie Bijlage D voor meer beeldmateriaal over de opbouw van bekisting.



Peri Trio
(Systeembekisting) of
Traditionele Bekistingplaten

Gele balken zijn Peri dragers
en vormen de schakel tussen
de bekistingplaten en het
modulair systeem

Grijze balken vormen het
Modulair Systeem

Figuur 7 Opbouw modulaire bekisting (Bron: Heijmans document)

3.2 Procesverbetering

Door het ontbreken van een goede afstemming tussen verschillende actoren en het ontbreken van een goede communicatie binnen een partij ontstaan er veel onnodige kosten in civiel technische projecten. De gemiddelde kostenoverschrijding van Nederlandse infrastructurele projecten is 10.3% blijkt uit onderzoek (Cantarelli, 2009). Deze kostenoverschrijdingen worden voor een groot deel veroorzaakt door zogenaamde faalkosten. Straatman (2000)² definieert faalkosten als: 'Alle extra kosten die tijdens het bouwproces ontstaan door onduidelijkheden, miscommunicatie, tijdgebrek, onvoldoende informatie, verkeerde handelingen en/ of leveringen, ontbreken van vergunningen, wijzigingen in een laat stadium, werkonderbrekingen wachttijden enzovoort, die gaande het bouwproces moeten worden opgevangen'. De grootte van de faalkosten rechtvaardigt het bestaan van procesmanagement en bevestigt de noodzaak ervan. In dit onderdeel wordt verduidelijkt hoe de kwaliteit van het proces verbeterd kan worden.

3.2.1 Hoe dient Lean6sigma als instrument voor procesverbetering?

Procesverbetering is een onderdeel van procesmanagement. Procesmanagement is een breed begrip waar verschillende componenten onder vallen, vaak gerelateerd aan efficiëntie en kwaliteit. Deze componenten benaderen procesmanagement op verschillende manieren. Lean6sigma vraagt om een aanpak vanuit het component procesverbetering.

Van procesmanagement naar lean6sigma.

Procesmanagement is te omschrijven als (zie ook paragraaf 3.1.1):

De Bruijn et al. (2004) in Wamelink (2010), p. 45	Procesmanagement: "De nadruk ligt op hoe iets tot stand komt – het proces - in plaats van op de inhoud - het resultaat – echter kunnen proces en inhoud niet van elkaar worden losgemaakt: processen produceren inhoud."
---	--

Binnen procesmanagement zijn veel activiteiten gerelateerd aan efficiëntie en kwaliteit. Het is namelijk zeer gewenst dat zowel efficiëntie als kwaliteit in een proces worden nagestreefd. Juran (1989); onderscheidt, drie aspecten gerelateerd aan kwaliteit namelijk: 'Kwaliteitsplanning', 'Kwaliteitsbeheersing' en 'Kwaliteitsverbetering'. Al deze aspecten vragen een andere organisatieaanpak en dragen op een andere manier bij aan de verhoging van kwaliteit binnen processen. Globaal zijn de velden te omschrijven als:

Does, Koning, Mast (2008), p.23	Kwaliteitsplanning: "Vaststellen behoefte van klanten en de ontwikkeling van producten en processen die nodig zijn om aan deze behoefte te voldoen."
Does, Koning, Mast (2008), p.23	Kwaliteitsbeheersing: "Het voortdurend bewaken van leveringen van producten of diensten, het detecteren van onregelmatigheden en het reageren op deze onregelmatigheden."
Does, Koning, Mast (2008), p.24	Kwaliteitsverbetering: "Georganiseerde en systematisch streven naar verbetering om de kwaliteit en efficiëntie te verhogen."

Het grootste verschil tussen 'kwaliteitsbeheersing' en 'kwaliteitsverbetering' is, dat kwaliteitsbeheersing zich richt op 'sporadische problemen' en dat de huidige 'status quo' gehandhaafd blijft, door reactief te reageren op problemen. Kwaliteitsverbetering, daarentegen richt zich op 'chronische problemen' en zoekt systematisch naar (blijvende) verbetermogelijkheden van processen. De Lean6sigma methode vraagt een aanpak vanuit procesverbetering.

² In Akkermans (2006, p. 2,3)

3.2.2 Wat zijn de oorsprong en principes van Lean6sigma?

Lean6sigma (LSS) is een bewezen methodiek gericht op een duurzame verbetering van bedrijfsprocessen. De methodiek leidt tot een reductie van de kosten, verhoogde klanttevredenheid en een verkorting van de doorlooptijd. LSS is ontstaan uit de onderdelen 'Lean' en 'Six Sigma', de principes van elke methode zijn te vinden in Figuur 8.

Program	Six Sigma	Lean thinking
Theory	Reduce variation	Remove waste
Application guidelines	1. Define. 2. Measure. 3. Analyze. 4. Improve. 5. Control.	1. Identify value. 2. Identify value stream. 3. Flow. 4. Pull. 5. Perfection.
Focus	Problem focused	Flow focused

Figuur 8 Verschillen 'lean' en 'six sigma' (Nave, 2002)

Lean

Lean, ook wel bekend onder 'lean manufacturing', 'lean production' of 'lean thinking', komt oorspronkelijk uit de productie-industrie en richt zich op de verbetering van bedrijfsprocessen. De methode is afkomstig van de Japanse autofabrikant Toyota, die zich richtte op een slanke productie. De principes van 'lean' zijn gebaseerd op ideeën van Hendry Ford en Taylor, die beide efficiëntie in bedrijfsprocessen nastreefden. Lean wordt ingezet om verkorting van de doorlooptijd te realiseren door een snelle doorstroom te creëren en verspilling in tijd en materiaal te voorkomen (Womack et al. ,1990; in Green, 1998).

Six Sigma

Six Sigma komt oorspronkelijk uit de productie-industrie van Motorola. Six Sigma is een term afkomstig uit de statistiek en kent haar toepassing door de gerichtheid op een goede en constante kwaliteit van bedrijfsprocessen. De oorzaken van fouten worden uit het proces gehaald en afwijkingen worden geminimaliseerd.

Lean6sigma

LSS combineert het beste van 'lean' en 'six sigma' en levert uiteindelijk een efficiënter en beter proces op in combinatie met een hogere kwaliteit van product en proces. Van 'six sigma' worden de analyse en diagnoseaanpak overgenomen, evenals de organisatiestructuur. 'Lean' wordt voornamelijk gebruikt om de processen te verbeteren. Dat resulteert volgens George (2002) in de volgende zaken:

- "Achieve major cost and lead time reductions
- Compress order-to-delivery cycle times
- Battle process variation and waste throughout your organization"

3.2.3 Hoe wordt de LSS methodiek praktisch vormgegeven binnen Heijmans?

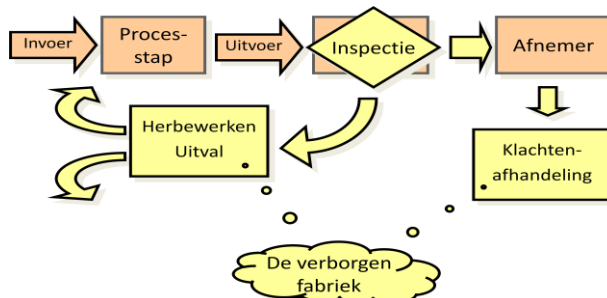
Heijmans heeft in 2010 LSS in de gehele organisatie ingevoerd. Er was al enige kennis van LSS aanwezig doordat in 2007 het bedrijf Burgers Ergon werd overgenomen, die al vanaf 2003 de LSS methodiek toepaste. De gebruikte methodiek binnen Heijmans wordt ondersteunt door IBIS UvA, het Instituut voor Bedrijfs- en Industriële Statistiek van de Universiteit van Amsterdam.

Doel LSS-projecten

In dit onderzoek wordt een definitie van LSS gebruikt die binnen Heijmans toegepast wordt. In het kader daarvan is het doel van LSS-projecten: "De prestatie van een proces substantieel te verbeteren op één of meerdere dimensies (Does, Koning, & Mast, Lean Six Sigma; Stap voor stap, 2008, p. 30)". Heijmans gebruikt LSS om de volgende doelen te realiseren(Heijmans, 2012):

- Hogere klanttevredenheid
- Lagere Kosten en doorlooptijden
- Werk voor medewerkers wordt leuker

Om het proces te verbeteren moet er kennis zijn van het proces en er moet een mogelijkheid zijn tot verbetering. Om een rendabele verbetering te realiseren is het van belang om op de 'grote problemen' te focussen. Het pareto-principe leert ons dat ongeveer 80% van de uitkomsten wordt veroorzaakt door 20% van de oorzaken. Een LSS-project is voor Heijmans acceptabel als de



verwachte opbrengsten verminderd met de investeringen meer dan €20.000 per jaar oplevert.

Om een procesverbetering te starten moet er proceskennis aanwezig zijn. Daarom zullen voorstellen van verbeteringen voornamelijk vanuit de werkvloer komen (Bottum up). Betrokkenen kunnen helpen de zogenaamde 'verborgen fabriek' zichtbaar te maken.

Figuur 9 De verborgen fabriek (Bron: Heijmans presentatie)

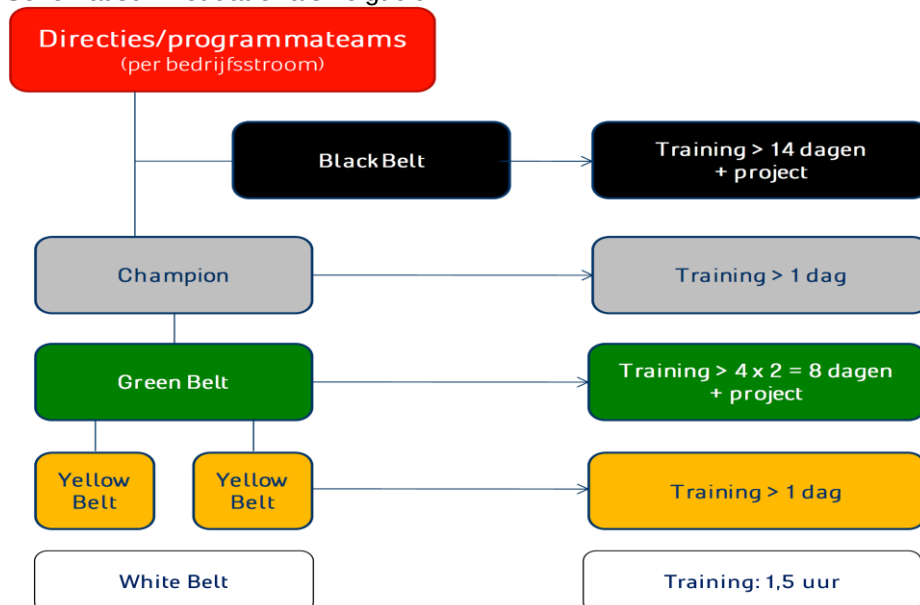
Organisatie LSS-projecten

De LSS-projecten binnen Heijmans hebben een doorlooptijd van 6 maanden. Projecten worden uitgevoerd als een redelijk vermoeden bestaat dat een substantieele verbetering mogelijk is. Binnen een LSS-project zijn er verschillende mensen betrokken:

Tabel 1 Rollen van LSS-medewerkers

Werknemer:	Rol:
Champion	Projecteigenaar; Geeft aan wat er verbeterd moet worden en controleert of het project op het juiste spoor zit vanuit organisatieperspectief.
Blackbelt (BB)	Kennis van LSS methodiek, voert LSS-projecten met baten > €50.000 uit.
Green belt (GB)	Kennis van LSS methodiek, voert LSS-projecten met baten > €20.000 uit.
Yellow belt (YB)	Advies vanuit de werkvloer, kent het probleem en proces
White belt (WB)	Kennis van LSS, helpt mee denken.

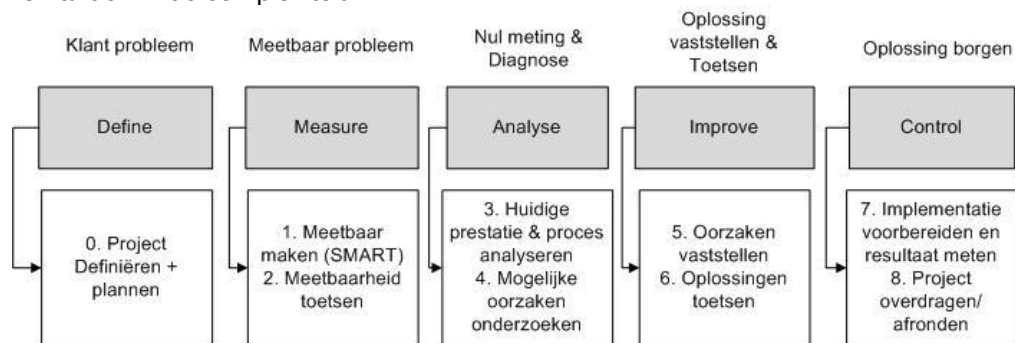
Schematisch ziet dat er als volgt uit.



Figuur 10 Hiërarchische structuur LSS (Bron: Heijmans presentatie Yellow belt training)

Methodiek LSS-stappen

Elk LSS project duurt voor Heijmans-projecten in feite maximaal 6 maanden. Gedurende deze periode worden de vijf stappen van LSS doorlopen en moet er een structurele verbetering gerealiseerd zijn. De kracht van LSS zit hem in verbeteringen toepassen in overzichtelijke en beheersbare processen. Als de projecten te grootschalig worden, kan het probleem ontstaan te verzanden in de complexiteit.



Figuur 11 LSS Stappen

3.2.4 Hoe kan Lean6sigma toegepast worden binnen het onderzoek met betrekking tot procesverbetering van het bekistingproces?

De LSS-methodiek is een systematische aanpak om structurele verbeteringen te realiseren. Om een structurele verbetering toe te passen moet er eerst duidelijk zijn dat er een probleem is, wat het probleem is en welke oplossingen er mogelijk zijn. Dat vraagt om een integrale aanpak, waarbij zowel actoren vanuit de werkvloer als actoren vanuit het management betrokken moeten worden. De reden is dat de mate van proces-, probleem- en LSS-kennis over de verschillende organisatielagen verspreid is.

Het bekistingproces is een geschikt proces voor LSS, omdat het een veel voorkomend proces is op bouwplaatsen. Hoewel elk bekistingproces specifieke elementen bevat, zijn de elementen wel grotendeels onder te brengen in het theoretisch bekistingschema en daarmee procesmatig te beschrijven. Het feit dat bekisten als proces beschreven kan worden, betekent ook dat blijvende procesverbetering mogelijk moet zijn en daarmee geschikt is voor LSS. Een LSS-project binnen Heijmans onderzoekt in feite één (deel)proces en stelt op basis daarvan verbeteringen voor, die ook voor toekomstige projecten geschikt kunnen zijn. Dat is een uitstekend voorbeeld van wat Flyvbjerg (2007), met 'misunderstanding 2' bedoeld, namelijk dat je wel degelijk algemene conclusies kunt trekken op basis van één casestudy.

Vanuit de LSS-methodiek kan het bekistingproces in kaart gebracht worden en wordt er een beschrijving gegeven van hoeveel tijd er in elke processtap omgaat. Doormiddel van analyses worden de grootste problemen binnen het proces aangepakt. Vanuit het pareto principe kan namelijk gezegd worden dat de grootste problemen, relatief veel procesvertraging opleveren. De kracht van verbetering zit hem in een grondige aanpak van enkele elementen, in plaats van alle elementen half aan te pakken.

Vanuit alle betrokkenen moet er draagvlak zijn om het proces te verbeteren, ook vanwege het feit dat de bouw als conservatief bekend staat. De mensen op de werkvloer zullen met de verbeterde procesindeling moeten werken, daarom is het van belang hen mee te laten denken met de oplossingen.

3.3 Productiviteit

Productiviteit wordt ook wel omschreven als: "Productie per productiefactor per tijdseenheid"³. Daarin komen twee belangrijke zaken naar voren, enerzijds het tijdsaspect en anderzijds de productiefactor. Beide termen worden in deze paragraaf gekoppeld aan respectievelijk planning en activiteit.

Een goede projectplanning vermindert faalkosten in de bouw. Een projectplanning is echter afhankelijk van een aantal factoren, zoals omvang van het werk, complexiteit van het werk, de betrokken personen, beschikbaarheid van materieel, materiaal, omgevingsaspecten etc. In deze paragraaf wordt ingegaan op het beschrijven van productiviteit en werkprocessen. Ook wordt er ingegaan op soort activiteiten, welke wel en welke niet productief te noemen zijn. En er worden een aantal definities gegeven die handvatten bieden voor de casestudy.

3.3.1 Wat zijn de principes van projectplanning binnen bouwprocessen?

Kenmerken bouwprojecten

Elk bouwproject kan als volgt gekarakteriseerd worden (Wentzel & Eekelen, 2005, p. 5):

- "Bestaat uit onderling afhankelijke stappen in specifieke tijdsvolgorde;
- Proces moet leiden tot vooraf bepaald resultaat;
- Proces moet plaatsvinden binnen voor aangegeven tijdslimiet;
- Resultaat moet gerealiseerd worden met vooraf gelimiteerde financiële middelen;
- Met realisatie project wordt projectorganisatie belast."

Daarin komen twee belangrijke zaken naar voren die betrekking hebben op projectplanning. Allereerst zijn er afhankelijke stappen die in een specifieke tijdsvolgorde moeten gebeuren en daarnaast moet het gehele proces binnen een tijdslimiet plaatsvinden. Om een project op tijd af te krijgen is een goede planning van de activiteiten nodig.

Plannen van activiteiten

In het plannen van een project moet er allereerst rekening gehouden worden met de tijdslimiet. Alle activiteiten moeten in beperkte tijd gebeuren. De meeste projecten kennen een 'overall planning' die de hoofdactiviteiten weergeeft en detailplanningen voor deelprocessen. Elke planning beschrijft een doorlooptijd. Doorlooptijd is als volgt te omschrijven:

In 't Veld (2007), p104	Doorlooptijd: "De tijd gemeten vanaf de invoer tot en met de uitvoer van het product."
-------------------------	--

Binnen een bouwproces is er ook altijd een kritiek pad aanwezig. Dat zijn alle van elkaar afhankelijke activiteiten die in een bepaalde volgorde moeten worden uitgevoerd en waarvan de uitloop van één schakel het gehele proces vertraagt.

Beschrijven van procestijd

In elk project worden er werkzaamheden (deelprocessen) verricht die leiden tot een bepaald eindresultaat. Voor projectplanning is het van belang te weten hoe deze processen tot stand komen, hoe lang ze duren en hoe ze beschreven kunnen worden. In 't Veld (2007) onderscheidt vier begrippen die een rol spelen bij de beschrijving van processen:

In 't Veld (2007), p162	Effectiviteit: "De verhouding tussen het bereikte resultaat ($R_{\text{werkelijk}}$) en het beoogde resultaat (R_{norm})."
-------------------------	---

³ <http://www.encyclo.nl/begrip/productiviteit>

In 't Veld (2007), p162	Efficiency: "De verhouding tussen de offers die we hadden moeten brengen (O_{norm}). en de offers die we daadwerkelijk gebracht hebben ($O_{werkelijk}$)."
In 't Veld (2007), p163	Productiviteit ($P_{werkelijk}$): "De verhouding tussen het bereikte resultaat ($R_{werkelijk}$) en de offers die we daarvoor hebben gebracht ($O_{werkelijk}$)."
In 't Veld (2007), p164	Prestatie: "De verhouding tussen de werkelijk bereikte productiviteit ($P_{werkelijk}$) en de gewenste productiviteit (P_{norm})."

Een organisatie zal normaal gesproken een zo hoog mogelijke prestatie nastreven. Een hoge productiviteit draagt daaraan bij en deze wordt bereikt door een maximaal resultaat (datgene wat bereikt moet worden) na te streven, met minimale offers (tijd, geld, mankracht etc.).

Binnen productiviteit is er een onderscheid te maken tussen 'productief' bezig zijn en 'niet-productief' bezig zijn. 'Productief' bezig zijn draagt bij aan het resultaat, terwijl 'niet-productief' zijn daar niet aan bijdraagt. Om een hoge productiviteit na te streven is het van belang de offers te minimaliseren. Niet-productieve offers zijn o.a. faalkosten, wachttijden etc.

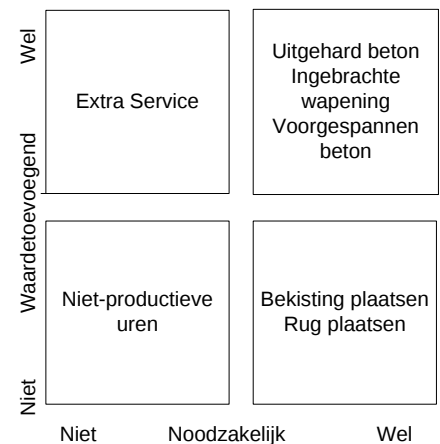
3.3.2 Welk onderscheid is er te maken met betrekking tot soorten activiteiten?

In een proces is er grofweg een onderscheid te maken tussen *waardetoevoegende activiteiten* en *niet-waardetoevoegende activiteiten*. In praktijk blijkt deze scheidslijn echter minder helder te zijn, alleen al om het feit dat een activiteit vanuit verschillende perspectieven kan worden bekeken (Saukkoriipi, 2004). Vanuit klantperspectief zullen alleen de activiteiten waardetoevoegend zijn, waar de klant direct voor betaalt en dus een blijvende waarde hebben. Uitgehard beton is bijvoorbeeld waardetoevoegend, maar van het hele bekistingproces daaromheen merkt de klant bij de oplevering niets. Vanuit procesperspectief zijn deze activiteiten wel degelijk van belang. Aangezien de LSS-methodiek vanuit klantperspectief werkt, zal ook op basis daarvan een onderscheid gemaakt worden tussen vier verschillende activiteiten afgeleid van Kaplan and Cooper (1998) in Saukkoriipi (2004) (zie Figuur 10).

1. Noodzakelijk en waardetoevoegend
2. Noodzakelijk maar niet waardetoevoegend
3. Niet noodzakelijk maar wel waardetoevoegend
4. Niet noodzakelijk en ook niet waardetoevoegend

In de eerste categorie vallen de activiteiten die uiteindelijk een blijvend product opleveren voor de klant, dat is bijvoorbeeld een betonnen constructie. De tweede categorie beslaat activiteiten die noodzakelijk zijn om het blijvende product te realiseren, maar op zich zelf niet waardetoevoegend zijn voor de klant, bijvoorbeeld bekisten. De derde categorie beslaat extra service. Deze activiteiten vallen buiten de afspraak met de klant, maar leveren hem wel voordeel op, bijvoorbeeld sterker beton leveren, eerder opleveren project etc.

De laatste categorie beslaat niet productieve activiteiten, zoals wachttijden, opruimen, stil staan praten etc. deze activiteiten zijn niet noodzakelijk en ook niet waardetoevoegend voor de klant. Voornamelijk de niet noodzakelijke activiteiten moeten zo klein mogelijk gehouden worden. Op de werkvloer zullen de categorieën 2 en 4 verreweg deze meeste activiteiten bevatten, omdat bekisten per definitie niet waardetoevoegend is vanuit klantperspectief. Waardetoevoegende activiteiten worden veelal verricht door vlechters en betonstorters.



Figuur 12 Soorten activiteiten

3.3.3 Operationele definities productiviteit

In het onderzoek worden de volgende twee definities gebruikt voor productief en niet productief. Productief zijn alle noodzakelijke handelingen, al dan niet waardetoevoegend vanuit klantperspectief. Ook de niet noodzakelijke handelingen, die wel waardetoevoegend zijn worden onder productieve uren geschaard. De reden is dat deze extra activiteiten enerzijds lastig te meten zijn en anderzijds kan er een strategisch doel achter kan zitten. Niet productieve uren zijn alle niet noodzakelijke handelingen, die ook niet waardetoevoegend zijn. Samengevat worden de volgende definities gehanteerd in het onderzoek:

- Productieve uren: Alle uren dat een timmerman *noodzakelijke* en/of *waardetoevoegende* bewerkingshandelingen uitvoert.
- Niet productieve uren: Alle uren dat een timmerman *niet noodzakelijke* en *niet waardetoevoegende* activiteiten verricht.

Productiviteit gaat dus niet zozeer over hoe snel of hard een timmerman werkt, maar dat hij bezig is met noodzakelijke danwel waardetoevoegende activiteiten. De reden voor deze definitie ligt in het feit dat het lastig is om de zeer diverse activiteiten in een vergelijkingseenheid uit te drukken. In vergelijkbare studies wordt vaak gebruik gemaakt van FTE/m², maar op het te onderzoeken project ligt dat complexer, vanwege het geringe aantal repeterende handelingen.

Vanuit de LSS-methodiek zijn er een aantal onderdelen om op te focussen. In het onderzoek wordt gemeten aan productieve uren, wat vanuit de LSS-methodiek onder bewerkingstijden valt. In Tabel 2 is de vertaalslag te zien die vanuit de theorie naar de praktijk wordt gemaakt. Deze tabel biedt de basis voor de CTQ (Critical To Quality) wat later in de casestudy naar voren komt. De CTQ is datgene waar uiteindelijk aan gemeten wordt.

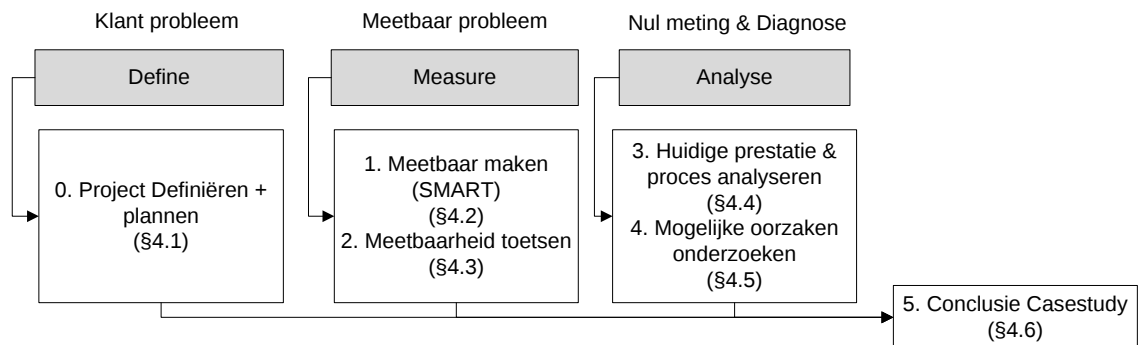
Tabel 2 Operationaliseren theoretische begrippen LSS

Onderdeel	Theorie	Vertaalslag	Praktijk (Projectspecifiek)
Strategisch focuspunt	Winst	>	Winstgevendheid
Projectdoel	Kostenreductie	>	Kostenreductie
Deeldoel	Doorlooptijd	>	Gerealiseerde manuren
CTQ	Wachttijd	>	Niet productieve manuren
CTQ	Bewerkingstijd	>	Productieve manuren

4 Casestudy

Het onderzochte project is 'Sporen in den Bosch'. Het knooppunt Den Bosch is een knelpunt in het spoorwegennet. Om aan de toenemende spoordrukke te kunnen voldoen wordt het knooppunt Den Bosch aangepakt zodat het in de toekomst weer goed functioneert. Als het project gereed is kunnen treinen vanuit Utrecht en Nijmegen ongehinderd vanuit hun eigen spoor Den Bosch bereiken. Daartoe worden de sporen verdubbeld en wordt er een fly-over gebouwd, zodat treinen vanuit Nijmegen het spoor vanuit Utrecht ongelijkvloers kunnen kruisen. Op deze manier kunnen treinen in de toekomst tegelijk aankomen en sneller vertrekken en arriveren.

Op dit project wordt de productiviteit van de aanwezige timmerlieden gemeten. Dat wordt gedaan door de eerst 3 stappen van LSS te doorlopen. Dagelijks lopen er ongeveer 10 timmerlieden rond die veelal aan het bekisten zijn. Door het bekistingproces van deze timmerlieden te onderzoeken wordt onderzocht of de verwachte baten ook daadwerkelijk te realiseren zijn. Hoofdstuk 4 is opgebouwd aan de hand van de LSS-stappen (zie Figuur 13).



Figuur 13 Opbouw casestudy vanuit de LSS-methodiek

- Paragraaf 4.1 gaat in op de projectdoelen, baten en organisatie van het project
- Paragraaf 4.2 maakt duidelijk wat er gemeten wordt (CTQ).
- Paragraaf 4.3 gaat in op het meetprocedure en validatie .
- Paragraaf 4.4 geeft de procesprestatie weer
- Paragraaf 4.5 weergeeft de invloedsfactoren vanuit de data en vanuit de gesprekken.
- Paragraaf 4.6 bevat de conclusie over de eerste 3 LSS stappen.

In Bijlage N is een definitielijst opgenomen, om gebruikte begrippen binnen de casestudy duidelijker te maken. De verbanden in paragraaf 4.5 zijn voor de leesbaarheid van het verslag kort beschreven, een uitgebreide uitwerking is te vinden in Bijlage R.

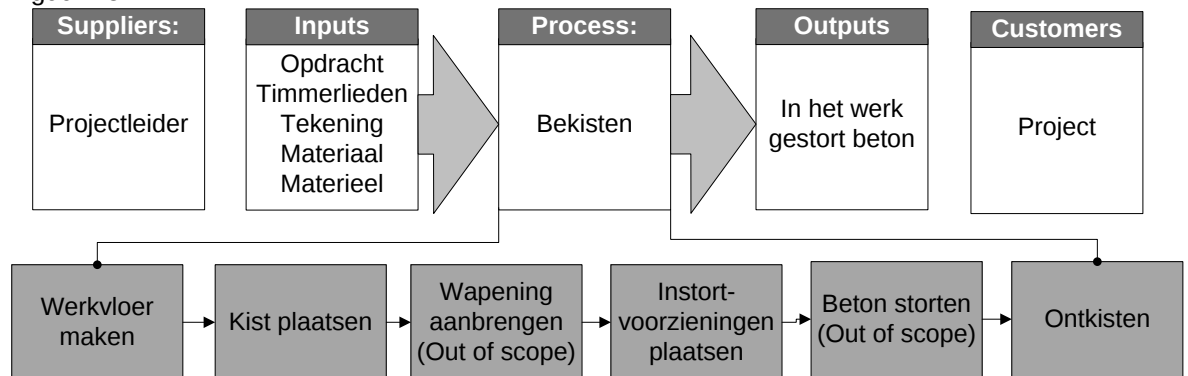


Figuur 14 Beeld impressie project. VLNR: Fly-over gesteund op een poer + poer in aanbouw onder huidige spoorbrug (1), Binnenaanzicht fly-over (2), Fly-over met positie kranen (3). Bron: Prorail (2012)

4.1 Definieer het project

4.1.1 SIPOC en projectdoelen

De SIPOC (Supplier-Input-Process-Output-Customer) geeft een procesbeschrijving op macro-niveau en meso-niveau. De SIPOC is de praktische vertaling van het theoretisch proces weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15 SIPOC

4.1.2 Projectdoelen

De projectdoelen zijn als volgt:

- Inzichtelijk maken waar de tijd in op gaat binnen de processtappen (Bewerkingstijden).
- Duidelijk maken waar de beste mogelijkheden zitten om de productiviteit te verhogen en waarom.
- Inzichtelijk maken in welke fase de meeste herbewerkingen zitten en waarom.

4.1.3 Batenanalyse

De gemiddeld kostenoverschrijding van Nederlandse infrastructurele projecten is 10,3% blijkt uit onderzoek van Cantarelli (2009). Dat heeft te maken met zogenaamde faalkosten, oftewel alle extra kosten die tijdens het bouwproces ontstaan door onduidelijkheden, miscommunicatie, tijdgebrek, onvoldoende informatie, verkeerde handelingen en/ of leveringen, ontbreken van vergunningen, wijzigingen in een laat stadium, werkonderbrekingen wachttijden etc.

Als aangenomen wordt dat de planning een realistisch beeld geeft van wat de productiviteit van een timmerman behoort te zijn, dan zit de verhoging van de productiviteit hem in het verkleinen van de faalkosten. Stel dat in elk onderdeel van de organisatie de faalkosten gelijk verdeeld zijn, dan betekent het, dat de timmerlieden ook bedoeld of onbedoeld 10% faalkosten met zich meebrengen. Verwacht wordt dat er minimaal 5% productiever kan worden gewerkt door de grootste (generieke) problemen binnen het proces aan te pakken en een betere procesindeling te generaliseren. Dat leidt voor het project 'Sporen in Den Bosch' tot een kostenbesparing van ruim €20.000 per jaar. Voor verdere info zie Bijlage H.

Tabel 3 Harde baten voor project Sporen Den Bosch

Grootheid	Eenheid
Aantal timmerlieden	10
Werkdagen per jaar	260
Uren per dag	8
Uurloon timmerman (€)	42
Deel van de dag aan het bekisten	0,5
Productiviteitsverhoging	0,05
Totale besparing per jaar (€)	21840

4.1.4 Organisatie

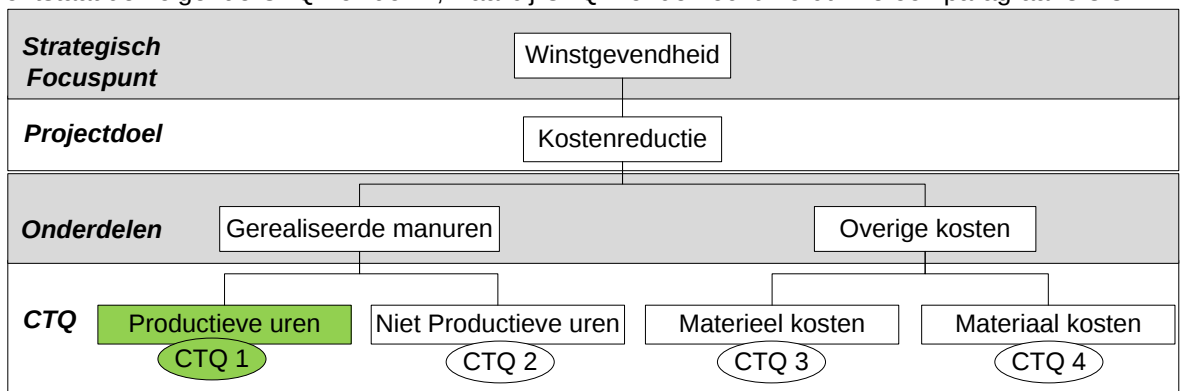
De organisatie omtrent het project is te vinden in Bijlage I.

4.1.5 Belanghebbenden

In Bijlage J in een belanghebbenden matrix te vinden. Daarin wordt voor de belangrijkste actoren beschreven wat hun invloed en belang is op dit LSS project. Het is van belang om de actoren op de juiste wijze bij het LSS-project te betrekken om tot een goede oplossing te komen. Voor een succesvol projectverloop moet iedereen op zijn minst medewerking verlenen. De belanghebbenden zijn de timmerlieden, betrokken (hoofd)uitvoerder(s) en de projectchampion.

4.2 Selecteer de interne CTQ

De CTQ (Critical To Quality) 'productieve uren van de timmerlieden' moet worden verbeterd. Vanuit de LSS methodiek moet een vertaalslag gemaakt worden naar de situatie in praktijk. Het onderzoek richt zich op de CTQ: Productieve uren, oftewel de bewerkingstijd. Productieve uren zijn alle noodzakelijke activiteiten in het proces, die direct of indirect waardetoevoegend zijn. Uiteindelijk ontstaat de volgende CTQ-flowdown, waarbij CTQ 1 onderzocht wordt. Zie ook paragraaf 3.3.3.



Figuur 16 CTQ flowdown

4.3 Valideer de meetprocedure

4.3.1 Meetplan

Voordat de metingen worden gestart moet er een meetprocedure worden opgesteld. Het doel waaraan gemeten wordt volgt uit de CTQ-flowdown. Om ook daadwerkelijk de CTQ te meten moet er een passend meetplan worden opgesteld. Voor de steekproefomvang zijn een aantal vuistregels opgesteld vanuit de LSS methodiek.

- Numerieke CTQ's: Minimaal 30 metingen;
- Binaire CTQ's (waarnemingen met twee mogelijke waarden): 300-400 metingen;
- Verschillende producten of medewerkers betrokken binnen een proces: Minimaal 5 metingen per product of medewerker.

Daaruit volgt de volgende tabel.

Tabel 4 Meetprocedure

Grootheid	Eenheid
CTQ	Productieve uren
Meetprocedure	Met een klok meten hoelang een timmerman bezig is met elke handeling
Eenheid	Handeling
Steekproef grote	33 metingen verspreid over 8 timmerlieden (264 uur data)
Wie verzamelt data	Diederick en Sonja
Periode	7 t/m 16 Nov 2012 verspreid over 6 dagen
Hoe te analyseren	Alleen productieve uren met behulp van minitab

In de casestudy worden alle handelingen van de timmerlieden ingedeeld op zowel productieve uren (bewerkingstijden) als niet-productieve uren (wachtijden), om een sluitend proces te krijgen. Voordat er gemeten kan worden, moet eerst het bekistingproces geoperationaliseerd worden. Daartoe wordt er één dag geobserveerd op de bouwplaats en overlegd met de uitvoerder, om de praktische handelingen in het theoretisch proces te plaatsen. Op deze manier wordt de vertaalslag gemaakt van theorie naar praktijk (zie Bijlage L). Ook de elementen uit het wachtijdenformulier worden geoperationaliseerd (Bijlage M).

Vervolgens wordt het meetformulier opgesteld. Daarop kan elke handeling van de timmermannen worden genoteerd. De timmerlieden worden individueel geobserveerd, binnen een ploeg. Daardoor worden er minimaal 2 a 3 timmerlieden per dag gevolgd. Een voorbeeld van het gehanteerde meetformulier is te vinden in Bijlage K.

Nadat de schema's kloppend zijn gemaakt worden er een dag validatie metingen gehouden, om te controleren of enerzijds alle handelingen ook daadwerkelijk goed zijn onder te brengen binnen de opgestelde schema's en anderzijds te kijken hoe zo'n betrouwbaar mogelijke dataset ontstaat.

4.3.2 Validatie

Voordat gemeten wordt moeten de meetprocedure gevalideerd worden. In deze paragraaf wordt uitgelegd op welke wijze dat is gedaan. Een uitgebreidere beschrijving van de validatie methodiek is te vinden in Bijlage O.

Validatie meetsysteem

Voor de validatie van het meetsysteem zijn drie zaken van belang:

- Zijn de definities en berekeningen correct?
- Wordt het juiste aspect van de CTQ gemeten?
- Zijn er verstoringen of uitzonderingssituaties die de meetwaarden beïnvloeden?

De definities worden opgesteld met behulp van literatuur en gesprekken met de hoofduitvoerder. Definities bestrijken bijvoorbeeld het werkgebied en type werk/handeling. Van te voren wordt het theoretisch proces vergeleken met de praktijk, door een aparte dag te observeren en het proces te operationaliseren. De te verrichten activiteiten worden met de uitvoerder besproken.

Om te zorgen dat het juiste aspect aan de CTQ wordt gemeten wordt het meetplan aan de blackbelt voorgelegd. Deze bekijkt of het met de meetprocedure het juiste aspect wordt gemeten.

De mogelijke invloedsfactoren op de data, worden zoveel mogelijk op basis van waarnemingen genoteerd tijdens de werkzaamheden, daarvoor is er een vak opmerkingen opgenomen in het meetformulier. Ook wordt tijdens de werkzaamheden en pauzes gevraagd aan de timmerlieden welke invloedsfactoren zij ervaren. De analyse van de data wordt teruggekoppeld aan de timmerlieden en de uitvoerder en mogelijke invloedsfactoren worden besproken. De input van het gesprek zijn geobserveerde invloedsfactoren en theoretische invloedsfactoren. Dat zijn bijvoorbeeld fase in het proces, weersomstandigheden, projectgrootte, tijd van het jaar etc.

Systematische fout

De systematische meetfout kan optreden door:

- Verkeerd afgestemde definities
- Structureel de verkeerde tijd te noteren.

De mogelijke problemen worden ondervangen door te overleggen met de hoofduitvoerder wat gebruikelijke definities zijn binnen het bouwproces en de definities ook expliciet te noemen in het verslag, zodat de betrokken personen weten wat er met een definitie wordt bedoeld. Een voorbeeld van een definitie is dat timmerlieden met werkkleding buiten de schaftkeet moeten staan als de

werktijd in gaat. Ze hoeven dan nog niet op de werkplek aanwezig te zijn. Ook kan het zijn dat er onduidelijkheid bestaat over de grootte van een werkplek, wat resulteert in een structureel onnauwkeurigheid. Buiten een werkgebied zijn, is namelijk per definitie niet-productieve. Het probleem van verkeerde tijden wordt ondervangen door eerst de begintijd op te schrijven en daarna de handelingen en opmerkingen te noteren.

Toevallige meetfout

In het geval van deze casestudy staan zijn de volgende vragen van belang:

- Meet iedereen dezelfde activiteit als dezelfde activiteit?
- Meet iedereen dezelfde begin en eindtijd voor de betreffende handeling?
- Is de meetapparatuur voldoende nauwkeurig?

De toevallige meetfout wordt zoveel mogelijk ondervangen door een dag proefmetingen te doen. In een periode van ongeveer 2 uur wordt door drie man dezelfde persoon geobserveerd. Alle handelingen van de persoon worden ingedeeld in het processchema van wachttijden of processtappen met bijbehorende tijden. Na de periode van 2 uur worden de verschillen bekeken en besproken. Deze methode wordt ongeveer 3 keer herhaald, totdat de meetverschillen acceptabel zijn. Acceptabel is dat iedereen minimaal 95% van de geobserveerde handelingen als dezelfde handeling of wachttijd ziet en de tijdsverschillen van begin of eindtijd onder de 10 seconde zitten. Ook wordt door iedereen hetzelfde type meetinstrument gebruikt en wordt precies dezelfde tijd, op de seconde nauwkeurig afgestemd. In dit geval is dat een digitale klok die op de honderdste seconde nauwkeurig kan meten. In praktijk is dat een nauwkeurigheid die door menselijke waarneming niet bereikt kan worden. Er wordt daarom op de seconde nauwkeurig gemeten.

4.3.3 Analyse plan

De output van de metingen zijn samengevat:

- 7 verschillende timmerlieden gemeten over 6 dagen, waarvan 3 timmerlieden meer dan 5 dagen zijn gevolgd.
- 33 observaties * 9 uur aan het werk/wachten/pauze = 297 uur aan data verdeeld over 26 verschillende processtappen en 29 verschillende wachttijden.
- Datum metingen/project onderdeel/ tijdstip handeling/ opmerkingen
- Weersomstandigheden

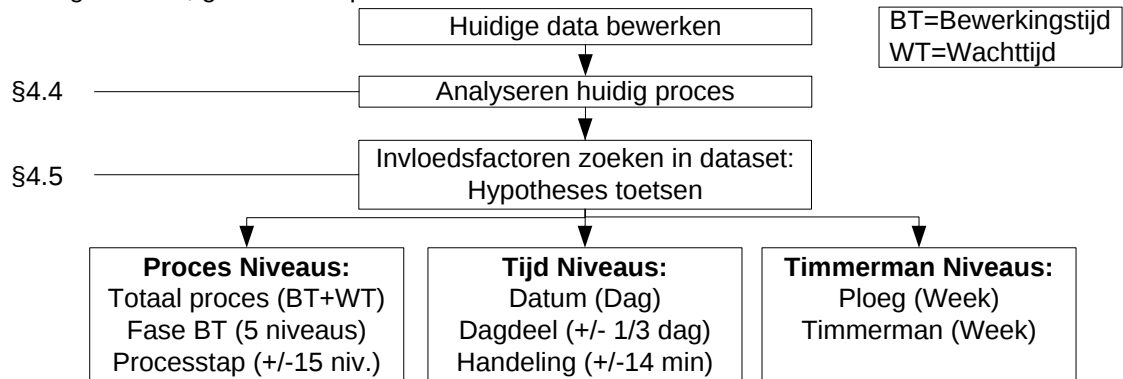
De metingen worden verkregen door van elke timmerman te meten hoeveel tijd hij kwijt is aan productieve uren (processtappen) en niet-productieve uren (wachttijden). Met de data zijn verschillende analyses te maken. Belangrijk is om het criteria van minimaal 5 metingen per product of medewerker in de gaten te houden en de 300-400 metingen voor categorische data. Daardoor zijn de volgende zaken mogelijk om te analyseren.

- Algemene productiviteit analyse tussen 33 timmerlieden onderling
- Vergelijking tussen timmerploegen en timmerlieden afzonderlijk
- Productiviteit vergelijken per dagdeel of datum.

Uit de gehouden gesprekken wordt geanalyseerd, wat de invloedsfactoren zijn en in welke mate deze van invloed zijn. In de analyse worden de productieve uren als uitgangspunt genomen. Er is een apart onderzoek dat de niet-productieve uren onderzoekt. Gedeeltelijk zal er overlap zijn in de analyse, maar dan voornamelijk als invloedsfactoren op het proces.

4.4 Beoordeel het huidige proces

Om tot een betrouwbare analyse van de data te komen, moet deze eerst worden bewerkt. De fouten moeten uit de data gehaald worden en een aantal categorieën wordt samengevoegd. In praktijk bleek het soms namelijk lastig een goed onderscheid te maken tussen bepaalde processtappen. Door de stappen samen te voegen wordt voorkomen dat er verkeerde conclusies worden getrokken, gebaseerd op onbetrouwbare data.

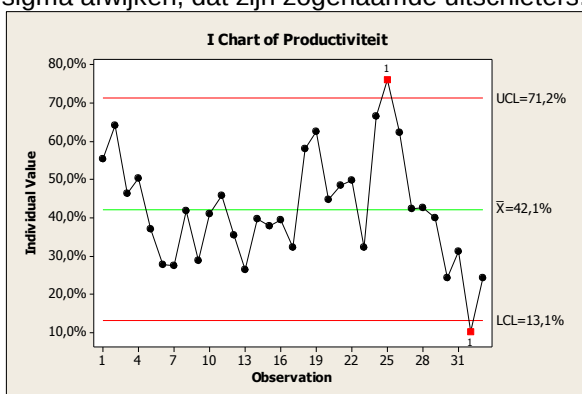


Figuur 17 Onderzoeksmethodiek data

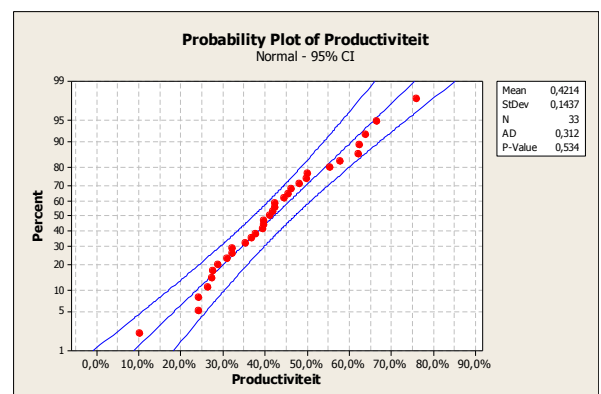
Vervolgens wordt het huidige proces in kaart gebracht. De verzamelde data wordt op drie manieren doorlopen op verbanden en opvallende details. Op zowel proces-, tijd, als timmerman-niveau kan worden ingezoomd. Door de data op deze manier te doorlopen ontstaat inzicht in de invloedsfactoren en ontstaan vermoedens tot mogelijke verbanden. Interessante vermoedens worden getoetst door middel van hypothesen.

4.4.1 Algemene procesdetails

De verzamelde data wordt weergegeven in zogenaamde regelkaart in Figuur 18. Elke meting zet de productieve uren af tegen de gerealiseerde manuren (periode van 7 uur en 50 minuten, pauzes zijn niet meegenomen). Uit Figuur 18 blijkt dat er twee metingen (meting 25 en 31) zijn die meer dan 3 sigma afwijken, dat zijn zogenaamde uitschieters.



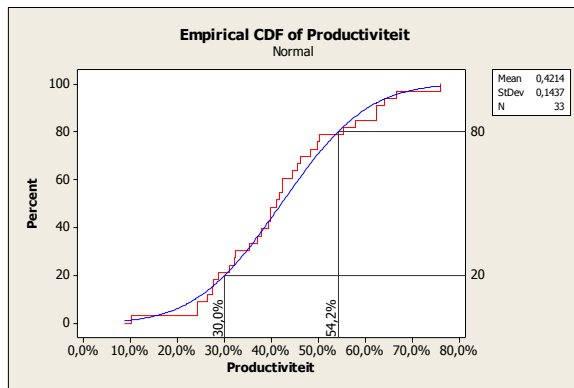
Figuur 18 Regelkaart productiviteit



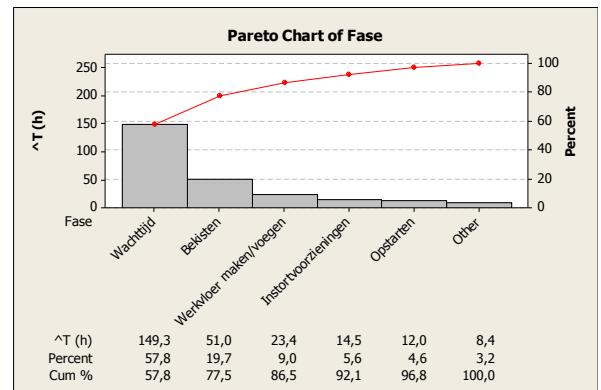
Figuur 19 Normaal verdeelde data, want $p > 0,05$

Uit Figuur 19 blijkt dat de dataset normaal verdeeld is, dat is van invloed op de toepassing van analyses. De dataset kan vervolgens worden beschreven met een empirical CDF (Figuur 20), zodat inzichtelijk wordt welk percentage van de metingen aan een bepaalde voorwaarde voldoet. Zo blijkt uit Figuur 20 dat de helft van de metingen een productiviteitsratio heeft beneden de 42%. En 20% van de metingen heeft zelfs een ratio beneden de 30%. Uit Figuur 21 valt op te maken dat gemiddeld 57,8% van de dag op gaat aan niet-productieve uren (wachttijd) en 42,2% aan

productieve uren (bewerkingstijd). In de data gaat het om de daadwerkelijke uren dat een timmerman bezig had moeten zijn. Aangezien er geen gesloten proces is gemeten, zegt de data van de bewerkingen alleen iets over wat er gemeten is en niet zozeer over de verhouding tussen activiteiten zoals deze voor komen in het proces.



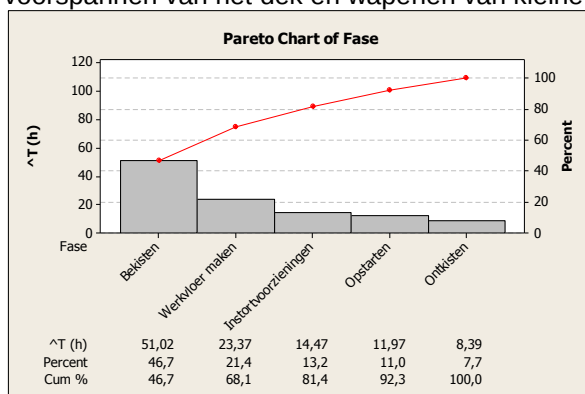
Figuur 20 Empirical CDF van productiviteit



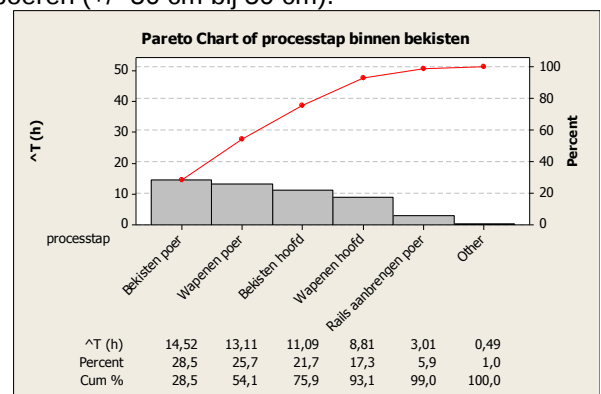
Figuur 21 Pareto Alle tijden per fase

Productieve uren

Van de productieve uren is bekisten met 52% de grootste activiteit (Figuur 22). Als ingezoomd wordt op het bekistingproces is opvallend dat een groot deel van de tijd op gaat aan wapeningsgerelateerde activiteiten, wat normaal gesproken een taak voor de vlechters is. Relatief korte wapeningsactiviteiten worden echter wel door de timmerlieden uitgevoerd. Wapeningsgerelateerde activiteiten zijn voornamelijk activiteiten met betrekking tot het voorspannen van het dek en wapenen van kleine poeren (+/- 50 cm bij 50 cm).



Figuur 22 Pareto Productieve uren per fase



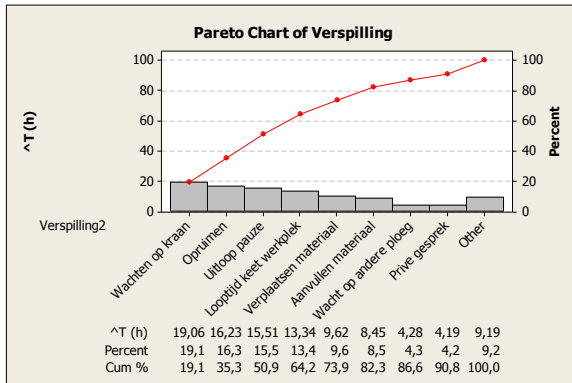
Figuur 23 Productieve uren in fase bekisten

Herbewerkingen

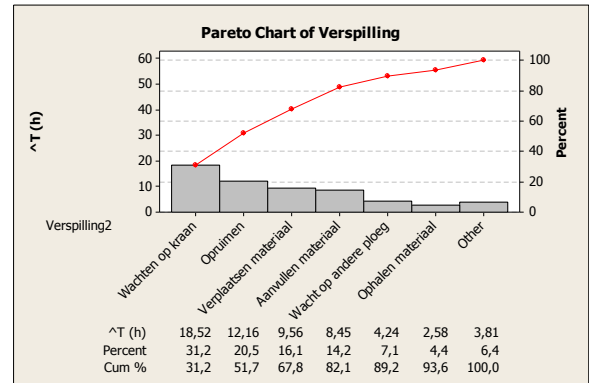
In het gemeten proces zijn nauwelijks herbewerkingen waargenomen. De enige herbewerking werd veroorzaakt door een verkeerde instructie van de uitvoerder. Maar deze is niet noemenswaardig.

Niet productieve uren

Binnen de niet-productieve uren zijn de meest tijdrovende activiteiten: 'Wachten op kraan', Opruimen, Uitloop pauze en Looptijd tussen keet en werkplek (Figuur 24). Echter zijn o.a. looptijd, uitloop van werkzaamheden en privégesprekken niet direct proces gerelateerd. Daarom wordt in Figuur 25 ingezoomd op de activiteiten die tijdens of door het uitvoeren van productieve handelingen veroorzaakt worden. Wederom komt 'Wachttijd op kraan' en 'Opruimen' veelvuldig voor. Beide activiteiten zijn goed voor meer dan 50% van de niet-productieve uren in het proces.



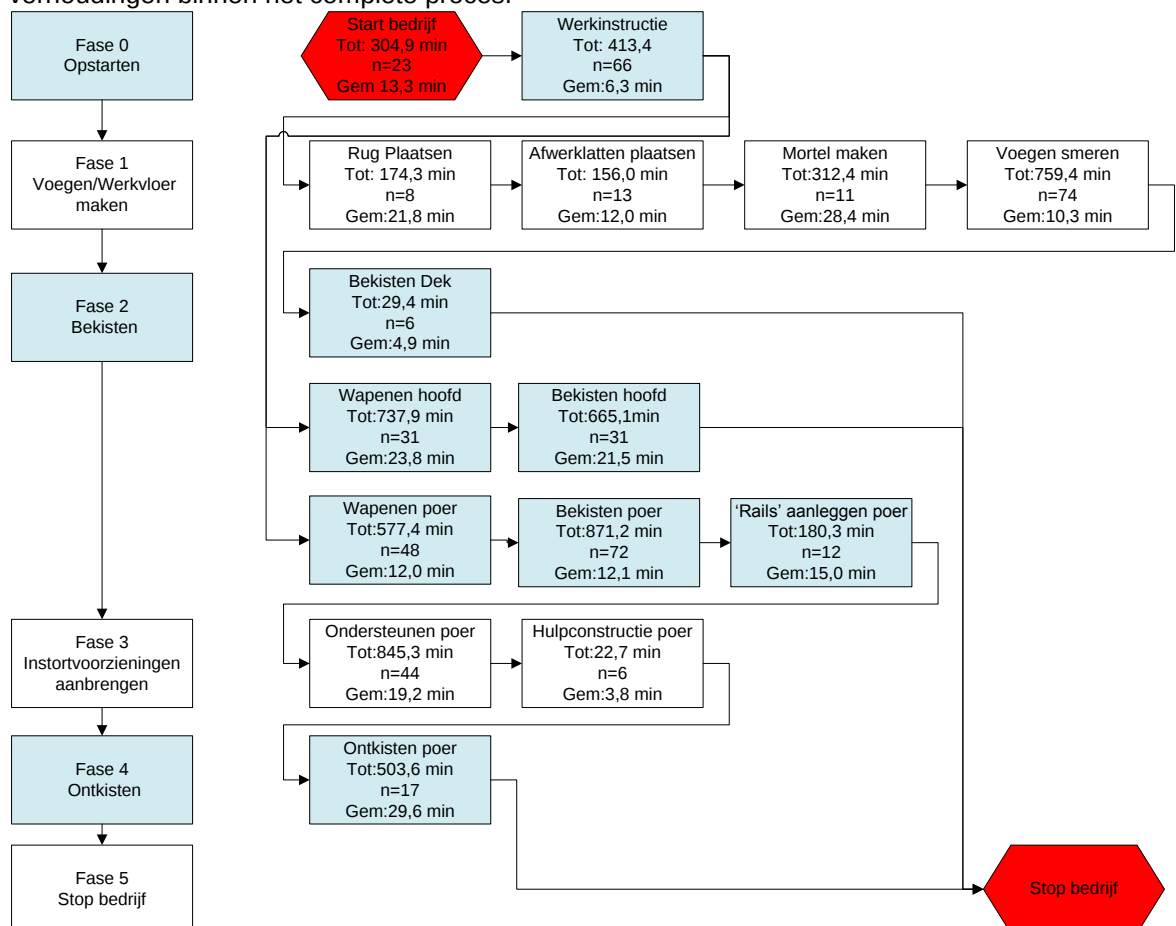
Figuur 24 Alle Verspillingactiviteiten



Figuur 25 procesgerelateerde verspillingactiviteiten

4.4.2 Value stream map

In onderstaand figuur staat de valuestream map (VSM). De VSM geeft een goed beeld van de gedane metingen op het proces. Aangezien er geen gesloten proces is gemeten zegt de VSM alleen iets over de verhoudingen van de processtappen binnen de metingen en niet over de verhoudingen binnen het complete proces.



Figuur 26 Value Stream map

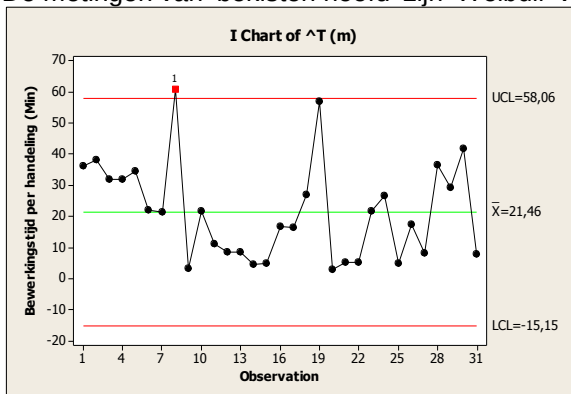
4.4.3 Procesdetails Bekisten

Uit de pareto analyse uit paragraaf §4.4.1 en de value stream map uit §4.4.2 blijkt dat de fase bekisten de meeste tijd in beslag neemt. Daarom wordt in deze paragraaf ingezoomd op deze fase.

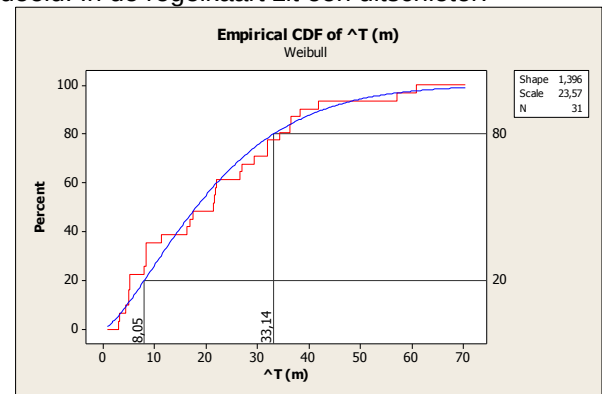
De procesdetails van de processtappen 'bekisten hoofd' en 'bekisten poer' worden vergeleken. Bij het 'bekisten hoofd' werd voornamelijk traditionele bekisting toegepast, wat ter plekke op maat gemaakt moest worden. De werkzaamheden werden voornamelijk door ploeg C gedaan en het hoofd was een relatief schone werkplek. Bij het bekisten van de poer werden zowel traditionele bekisting als systeembekisting gebruikt. De bekisting werd door ploeg A en ploeg B uitgevoerd in een zeer rommelige de werkplek. Ook waren andere ploegen binnen het werkgebied aan het werk.

Bekisten hoofd

De metingen van 'bekisten hoofd' zijn 'Weibull' verdeeld. In de regelkaart zit één uitschieter.



Figuur 27 Regelkaart 'bekisten hoofd'

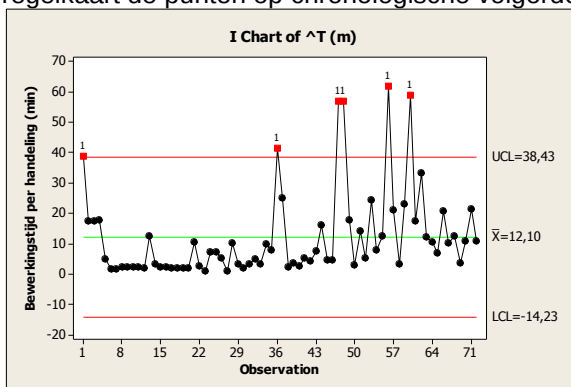


Figuur 28 Empirical CDF 'bekisten hoofd'

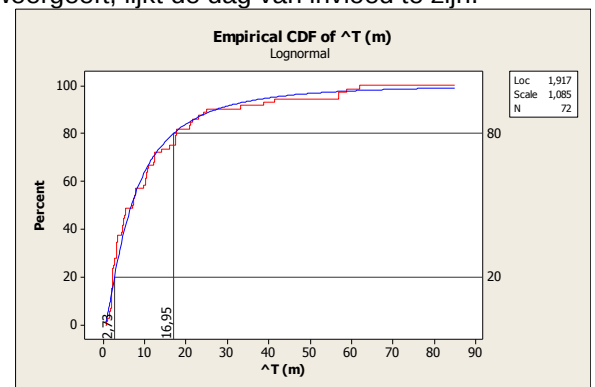
De gemiddelde handeling duur 21 minuten blijkt uit Figuur 27. En uit Figuur 28 blijkt dat 20% van de handelingen korter dan 8 minuten duurt.

Bekisten poer

De metingen van 'bekisten poer' zijn 'lognormal' verdeeld. In de regelkaart zijn zes uitschieters waar te nemen, welke voornamelijk in de tweede helft van de regelkaart zijn te zien. Aangezien de regelkaart de punten op chronologische volgorde weergeeft, lijkt de dag van invloed te zijn.



Figuur 29 Regelkaart 'bekisten poer'



Figuur 30 Empirical CDF 'bekisten poer'

De gemiddelde handeling duurt 12 minuten blijkt uit Figuur 29. Uit Figuur 30 blijkt dat 20% van de handelingen korter dan 3 minuten duurt.

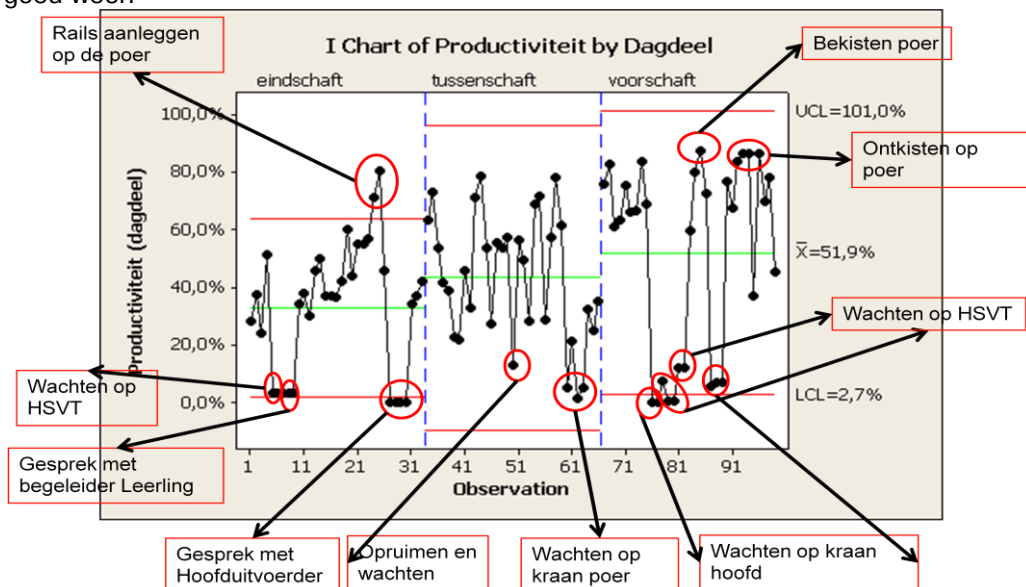
De fases 'bekisten hoofd' en 'bekisten poer' verschillen vrij sterk van elkaar. Bij de poer vinden relatief veel korte handelingen plaats, wat duidt op snelle wisseling van taken. Het vermoeden bestaat dat de timmerlieden niet goed door kunnen werken, doordat er veel handelingen door elkaar heen gebeuren. Binnen de fases bekisten is er dus ook al veel verschil aanwezig, waarschijnlijk zijn de plek en het type bekisting sterk van invloed.

4.5 Identificeer mogelijke invloedsfactoren?

De invloedsfactoren worden bepaald door middel van een exploratieve data-analyse. Allereerst worden uitschieters verklaard doormiddel van een Best of Best (BOB) en Worst of Worst (WOW) analyse in §4.5.1. Vervolgens worden er in §4.5.2 en §4.5.3 een aantal hypothesen getoetst om inzichtelijk te maken welke factoren bepalend zijn voor de productiviteit. De gevolgde methodiek en theoretische achtergronden zijn te vinden in Bijlage R. Tenslotte worden in §4.5.4 t/m §4.5.7 mogelijke invloedsfactoren weergegeven op basis van gesprekken, brainstormsessies en observaties. Deze invloedsfactoren zijn daardoor subjectief van aard.

4.5.1 Autopsies en BOB vs WOW

In de volgende regelkaart is goed te zien wat er gebeurd en waardoor er lage of juist hoge productiviteitsratio's worden gehaald. De invloedsfactoren geven de context van het onderzoek goed weer.



Figuur 31 Regelkaart met BOB en WOW

In onderstaande tabel worden de opvallende punten uitgelicht.

Tabel 5 BOB En WOW analyse. Tussen haakjes staat het aantal betrokken timmerlieden

Probleem	Proces-stap	Verklaring
Best of Best (BOB)		
Rails aanleggen poer (2)	Bekisten op poer	Er moet een 'rails' worden aangelegd op de tafel boven op de poer. Deze rails heeft als functie de brugliggers op te schuiven. De liggers moeten op de plek komen waar momenteel nog treinen rijden. Vanwege 'minder hinder', wordt deze techniek toegepast.
Bekisten Poer (1)	Bekisten Poer	De timmerman kan hard doorwerken, doordat zijn maatje het materiaal aanvoert. Aangezien dat niet altijd op de werkplek aanwezig is, heeft zijn maatje meer wachttijd.
Ontkisten poer (4)	Ontkisten poer	Het ontkisten van 8 poeren (traditionele bekisting) wordt gedaan door 1 timmerman (en leerling uitvoerder), de andere 3 timmerman ontkisten bovenop de poer (peri). Het werk is relatief makkelijk te verdelen.

Worst of Worst (WOW)		
Wachten op HSVT (8)	Bekisten onder poer	Hijs en verplaatsingstechnieken (HSVT) is bezig in het werkgebied van de timmerlieden. De ploeg moet liggers weghijsen op de plek waar de timmerlieden moeten bekisten. Het is onverantwoord om aan het werk te gaan, bovendien liggen de liggers in de weg.
Gesprek met hoofd-voerder (4)	NVT	Tussen de timmerlieden en de hoofdvoerder wordt een gesprek van 90 minuten gevoerd over een onderwerp met betrekking tot de CAO
Gesprek met leerling (2)	NVT	De begeleider van een leerling komt langs
Wachten op kraan (hoofd) (5)	Bekisten hoofd	In de fly-over is een ploeg aan het werk, zij zijn afhankelijk van aanvoer/afvoer/verplaatsen van materiaal door de kraan. De kraan is veel in gebruik door de vlechters en HSVT.
Wachten op kraan (poer) (3)	Ontkisten op poer	De kraan is in gebruik door HSVT voor het weghijsen van jukken. 1 timmerman kan redelijk doorwerken, vanwege enkele slijpwerkzaamheden.
Opruimen en wachten (1)	Bekisten poer	De timmerman doet veel opruimwerk, wat valt onder de wachttijden en niet onder bewerkingen. Daardoor kan een verkeerd beeld ontstaan.

Uit de analyse komt naar voren dat een aantal gebeurtenissen zwaar drukken op de productiviteit.

De WOW problemen zijn samen te vatten in drie hoofdactiviteiten

- Wachten op de kraan
- Werkplek niet beschikbaar
- Geplande gesprekken.

De timmerlieden zijn tijdens hun werkzaamheden veelal afhankelijk van de beschikbaarheid van een kraan. Op het hoofd werden in principe andere kranen gebruikt dan op de werkplek bij de poer. Bij de poer was de kraan veelal in gebruik door een gespecialiseerde ploeg binnen Heijmans, namelijk Hijs- Span- en verplaatsingstechnieken (HSVT). Op het hoofd maakten naast de timmerlieden, zowel HSVT als vlechters gebruik van de kraan. De timmerlieden verklaarden dat er vaak ad hoc om een 'hijsje' gevraagd wordt en dat er niet zozeer lang van te voren gepland wordt. De kraanmachinist krijgt wel taken mee, maar door de gevraagde hijsjes tussendoor loopt hij dikwijls vertraging op. Ook was de werkplek rondom de poer regelmatig niet beschikbaar, wat veel vertraging opleverde. Dit was te wijten aan de HSVT ploeg, die 3 liggers uit een moeilijke positie weg moest hijsen. Er moest zelfs een extra kraan aan te pas komen, wat de nodige vertraging opleverde. Deze activiteiten worden in dit onderzoek niet verder uitgediept, omdat het betrekking heeft op het onderzoek naar niet-productieve uren.

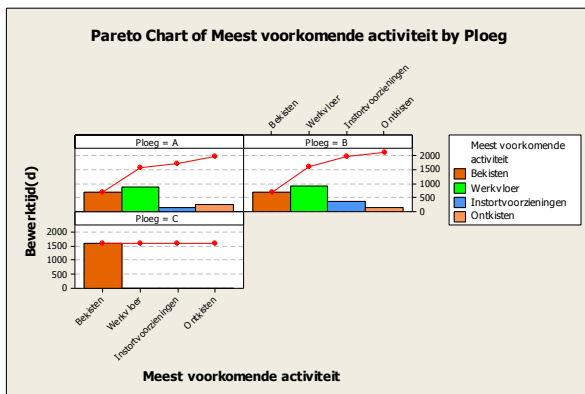
4.5.2 Verbanden Toetsen

Ploegen onderling

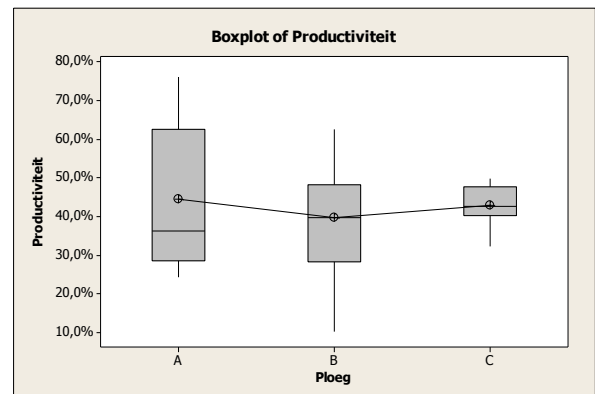
Er zijn in totaal 3 ploegen gemeten op het project Sporen in den Bosch. De ploegen A en B werkten samen en kregen alle gemeten dagen dezelfde opdracht mee. Ploeg A en B werkten samen aan zeer diverse activiteiten verspreid over verschillende werkplekken (Figuur 32). Ploeg C was voornamelijk op dezelfde werkplek aanwezig, met veelal dezelfde soort handelingen. Aangezien ploeg C, veelal andere activiteiten deed dan ploeg A en B, is dat mogelijk van invloed op de analyse. De vergelijking is beter te trekken tussen de timmerlieden van ploeg A en B, omdat zij wel dezelfde werkzaamheden deden. De analyse kan echter indicaties opleveren voor mogelijke invloed van diversiteit van werkzaamheden. De volgende hypothesen worden getoetst:

- Hypothese 1: De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag.
- Hypothese 2: De ploegen onderling hebben geen significant verschil in spreiding.

Hypothese 1 is aangenomen met een P-waarde van 0,707 en R-waarde van 2,28% (Figuur 33). Er zit dus geen significant verschil in de gemiddelden van de ploegen. Hypothese 2 is verworpen met een P-waarde van 0,014, er zit dus wel een significant verschil in spreiding tussen de ploegen onderling. Ploeg C heeft de kleinste spreiding, dat kan te verklaren zijn door het feit dat ploeg C veelal dezelfde activiteiten uitvoert.



Figuur 32 Meest voorkomende activiteit per ploeg



Figuur 33 Productiviteit (dag) per ploeg

Uit een uitgevoerde T-Toets (Tabel 6) wordt bevestigd dat er tussen ploeg A en B geen significante spreidingsverschillen zitten, maar als ploeg C met respectievelijk ploeg A en ploeg B wordt vergeleken blijken er wel significante verschillen aanwezig te zijn. Op basis van de analyse bestaat sterk het vermoeden dat het soort werk of activiteit van invloed is. Een minder diverse taak zorgt voor een constantere productiviteitsrating. Dat is niet verwonderlijk, het 'lopende band' principe leert namelijk dat veel wisseling van taken gevoeliger is voor wachttijden.

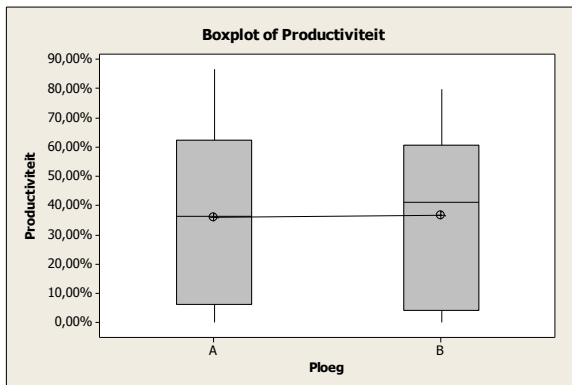
Tabel 6 T-Toets resultaten tussen ploegen

Ploeg 1	Ploeg 2	P-waarde Ploeg 1 (Normaliteit)	P-waarde (Gemiddelde)	P-waarde (Spreiding)
Ploeg A	Ploeg B	0,071	0,468	0,471
Ploeg B	Ploeg C	0,730	0,579	0,015
Ploeg C	Ploeg B	0,563	0,793	0,004

Ploegen A en B onderling

In de vorige analyse is er een vergelijking gemaakt tussen de 3 ploegen. Echter bleek dat de diversiteit van werkzaamheden sterk van invloed is op de spreiding. In deze analyse wordt ingezoomd op de verschillen tussen ploeg A en B, omdat zij dezelfde activiteiten deden. In de vorige analyse is deze ploegvergelijking ook gemaakt, maar zijn metingen gebruikt over verschillende dagen, ondanks de verschillende opkomst van timmerlieden per ploeg. Daarom worden nu alleen de metingen meegenomen van de dagen waarop beide ploegen aan het werk zijn en waarop beide timmerlieden aanwezig zijn. Daardoor blijven er 4 dagen over om te vergelijken. In deze analyse wordt ingezoomd op de productiviteit per dagdeel om voldoende metingen te krijgen.

- Hypothese 1: De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dagdeel van de ploegen A en B samen.
- Hypothese 2: De ploegen A en B onderling hebben geen significant verschil in spreiding.



Figuur 34 Verschillen ploeg A en B

Tabel 7 T-Toets ploeg A en B

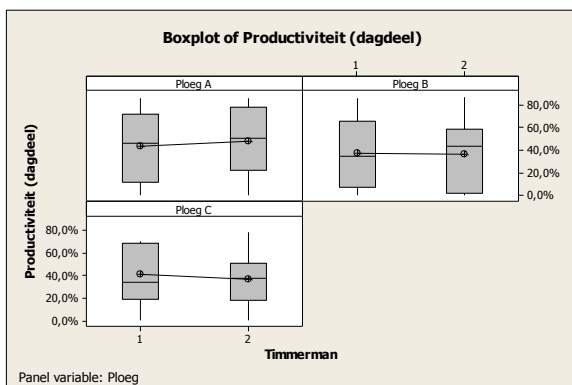
P-waarde	Oud	Nieuw
Gemiddelde	0,468	0,942
Spreiding	0,471	0,977

Beide hypothesen zijn aangenomen voor de ploegen A en B. Er zijn dus geen significante verschillen in spreiding en gemiddelde. De p-waarden zijn voor respectievelijk de T-toets en de F-toets (spreiding), 0,942 en 0,977. Dat betekent dat er geen verschil is in de gemiddelden en de spreiding. De p-waarden zijn veel hoger dan in de vorige analyse, dat heeft te maken met het feit dat er zoveel mogelijk invloedsfactoren buiten de analyse zijn gehouden.

Timmerlieden binnen een ploeg

De timmerlieden binnen een ploeg kunnen goed met elkaar vergeleken worden, omdat de timmerlieden binnen een ploeg dezelfde activiteiten uitvoeren. In dit geval kan de hypothese alleen op dagdelen getoetst worden vanwege het beperkt aantal metingen van ploeg B en C. In de metingen zijn alleen de dagen meegenomen dat beide timmerlieden binnen een ploeg aan het werk zijn. Leerlingen zijn ook niet meegenomen in deze analyse.

- Hypothese 1: De timmerlieden binnen een ploeg hebben geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit van de ploeg.
- Hypothese 2: De timmerlieden binnen een ploeg hebben onderling geen significant verschil in spreiding.



Figuur 35 Productiviteit timmerlieden binnen een ploeg

Tabel 8 T-Toets resultaten binnen de ploeg

Ploeg	Gemiddelde	Spreiding
	P-waarde	P-waarde
Ploeg A (dag)	0,635	0,199
Ploeg A (dagdeel)	0,620	0,820
Ploeg B (dagdeel)	0,920	0,793
Ploeg C (dagdeel)	0,723	0,566

Beide hypothesen zijn aangenomen voor de ploegen, op basis van een T-toets. Tussen de timmerlieden onderling is er geen significant verschil aanwezig in gemiddelde productiviteit per dagdeel en ook is er geen significant verschil in spreiding aanwezig. Voor ploeg A is het ook op de dag-niveau getoetst, voor de ploegen B en C was dat niet mogelijk vanwege te weinig metingen. Opvallend is het grote verschil in P-waarde in ploeg A voor dag en dagdeel. Dit kan verklaard worden door het feit dat de dagdelen niet even groot zijn. Een korte dagdeel telt met productiviteit even zwaar mee als een langer dagdeel, wat tegelijk een beperkende factor in de berekening is.

Dagdeel vs Dagproductiviteit

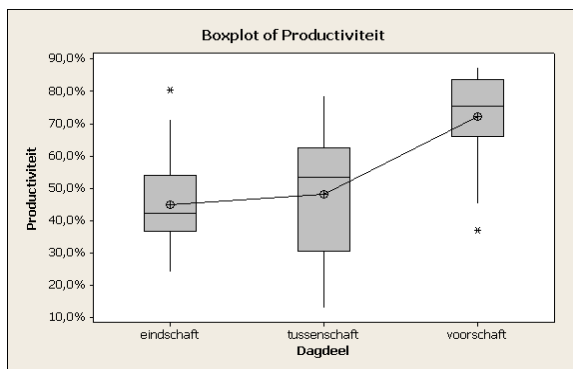
De dag is in drie delen opgeknipt om te onderzoeken of er significante verschillen zijn tussen de verschillende dagdelen. De dagdelen bevinden zich tussen de reguliere pauzes, om te voorkomen dat een eventuele uitloop van pauze en looptijden teveel invloed hebben. Ook is het eenvoudiger met opknippen van het proces, zo wordt voorkomen dat in een voortdurende handeling geknipt moet worden. De tijden zijn:

- Voorschaft 7.00-9.00 (120 min)
- Tussenschaft 9.30-13.00 (200 min exl.10 minuten koffiepauze)
- Eindschaft 13.30-16.00 (150 min)

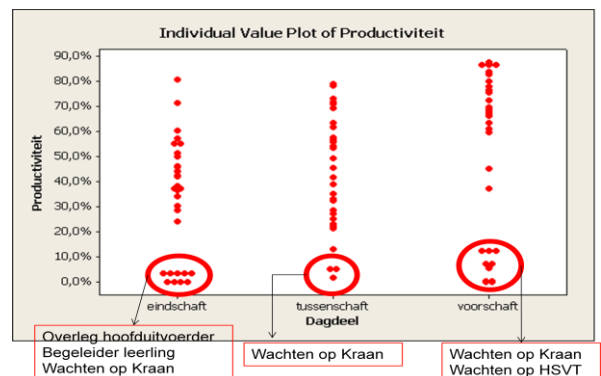
Vanzelfsprekend zijn er ook nadelen verbonden aan deze keuze. Allereerst kan er niet meer gewerkt worden met bewerkingstijden, maar moeten er relatieve getallen gebruikt worden om de fases met elkaar te kunnen gebruiken. In dit geval is dat te ondervangen door het productiviteitsratio te gebruiken. Een tweede nadeel is dat het percentage van voorschaft evenveel meetelt in de berekening als de tussenschaft, terwijl het wel een kortere periode beschrijft. Desalniettemin heeft de gebruikte methode de voorkeur.

Daarnaast is er de keuze gemaakt om de data met productiviteitspercentages van lager dan 20% er uit te filteren en waarvan de wachttijden voor 80% worden veroorzaakt door één en dezelfde soort wachttijd. Deze data bevatten namelijk vrij unieke situaties en zouden anders teveel invloed hebben op het verband, terwijl het in feite incidenten zijn.

- Hypothese 1: Er zit geen verband tussen het dagdeel en de productiviteit van de timmerlieden
- Hypothese 2: Tussen de dagdelen zit geen significant verschil in spreiding.



Figuur 36 Productiviteit per dagdeel



Figuur 37 Individual Value plot per dagdeel

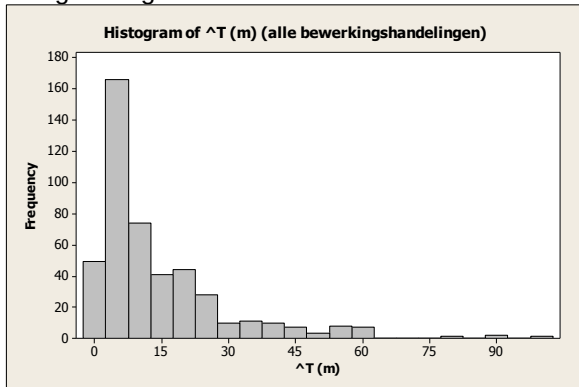
Hypothese 1 is verworpen en hypothese 2 is aangenomen. Oftewel er zit een verband tussen de dagdelen. In de voorschaft zijn de timmerlieden het meest productief. In de eindschaft en tussenschaft zijn de timmerlieden een stuk minder productief bezig. Het verband heeft een R-waarde van 37,4%, wat betekent dat 37,4% van de productieve uren per dag wordt verklaard door de invloedsfactor dagdeel.

Als in de data het wachten op de kraan en HSVT wel wordt meegenomen (Overleg uitvoerder en Begeleider leerling buiten scope), dan is de data niet normaal verdeeld. Daardoor ontstaat een Kruskal Wallis analyse, wat alleen iets zegt over de mediaan. De Kruskal Wallis analyse geeft een P-waarde van 0,074, wat betekent dat hypothese 1 in dit geval aangenomen wordt. Echter geeft de eerste methode een beter beeld, vanwege de genoemde redenen. Er zit dus wel degelijk een verband tussen de dagdelen.

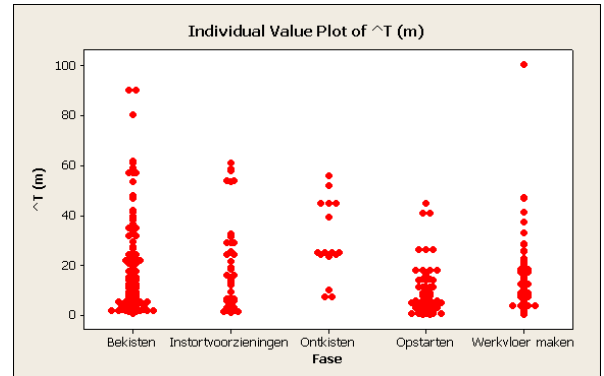
4.5.3 Regressie Verbanden

Gemiddelde handelingstijd en aantal handelingen vs dagproductiviteit

Het volgende verband dat onderzocht wordt is de invloed van een gemiddelde bewerkingshandeling op de bewerkingstijd per dag. Ook wordt het aantal handelingen ten opzichte van de bewerkingstijd per dag onderzocht. Verwacht wordt dat op productieve dagen het aantal handelingen beperkt is en de gemiddelde bewerkingstijd per handeling lang. Omdat korte handelingen kunnen duiden op onregelmatig werk.



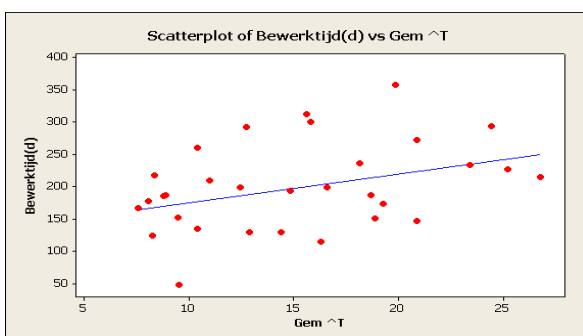
Figuur 38 Gemiddelde handelingstijd



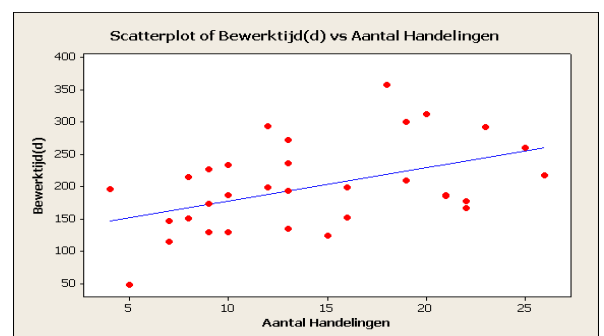
Figuur 39 Gemiddelde handelingstijd per fase

Opvallend is dat er vrij veel korte bewerkingshandelingen tussen de 2,5 en 7,5 minuten zijn (Figuur 38). En deze handelingen zijn veelal terug te vinden in de fases bekisten en opstarten (Figuur 39). In de fase opstarten is dat begrijpelijk vanwege het feit dat werkinstructie daar onder valt. Opvallender is dat proces van bekisten relatief veel korte handelingen telt. Er wordt getest of er überhaupt een verband te vinden is.

- Hypothese 1: De gemiddelde bewerkingsduur per handeling per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag
- Hypothese 2: Het aantal handelingen op een dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag



Figuur 40 Gemiddelde handelingstijd (min) tegen bewerkingstijd (dag)



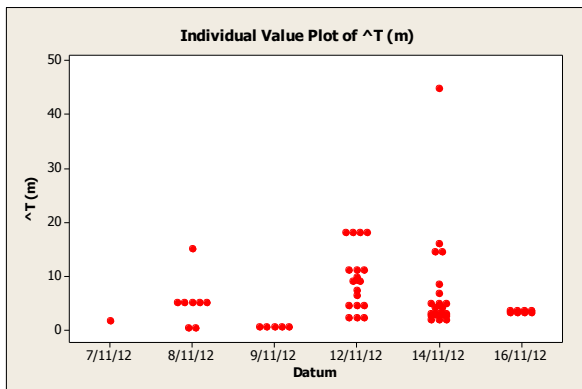
Figuur 41 Gemiddelde aantal handelingen tegen bewerkingstijd (dag)

Beide hypothesen zijn verworpen echter is de R-waarde van respectievelijk hypothese 1 en hypothese 2, 12,8 % en 22,1%. Slechts 12,8% van de dagproductiviteit wordt bepaald door de gemiddelde bewerkingstijd en slechts 22,1% door het aantal handelingen.

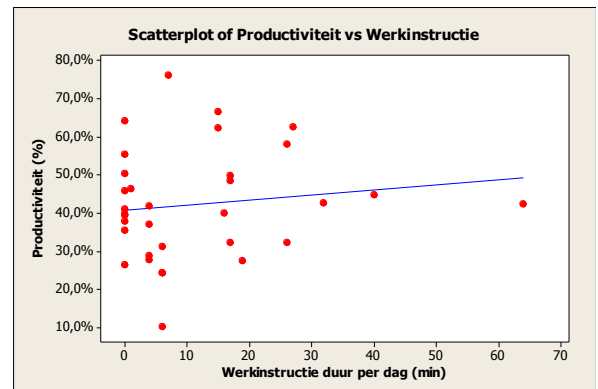
Werkinstructie vs dagproductiviteit

In de volgende hypothese wordt getoetst of de werkinstructieduur van invloed is op de dagproductiviteit. Een dag met veel werkinstructies kan namelijk duiden op moeilijk werk of een onduidelijke dagtaak. Werkinstructie gaat tussen de uitvoerder en de timmerlieden, maar ook tussen timmerlieden onderling. De volgende hypothese wordt getoetst.

- Hypothese 1: De gemiddelde werkinstructie duur per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag



Figuur 42 Individual value plot per dag



Figuur 43 Scatterplot werkinstructie vs dagproductiviteit

De hypothese is verworpen met een P-waarde van 0,463 en met een R-waarde van 1,8%. Er is dus geen verband aanwezig. Wat in Figuur 43 wel opvalt is dat de werkinstructie op bepaalde dagen nadrukkelijk aanwezig is en op andere dagen vrijwel afwezig. De 12^{de} en 14^{de} vinden er veel werkinstructies plaats. Juist deze dagen zijn de timmerlieden rondom de poer bezig met veel parallel lopende activiteiten. Verder valt op dat veel punten vrijwel naast elkaar liggen, wat duidt op het feit dat alle ploegleden een instructie krijgen en niet alleen een voorman. Op de 14^{de} is er ook een uitschieter waar te nemen, de reden van de instructie is helaas niet meer te achterhalen. Omdat de scheidslijn tussen werkinstructie en prive gesprek dun is, kan dat van invloed zijn op de uitkomst.

4.5.4 Invloedsfactoren Visgraat

Op basis van observaties op de bouwplaats en brainstormsessies is een zogenaamd visgraatdiagram van mogelijke invloedsfactoren bepaald. Er zijn in totaal twee brainstormsessies gehouden, één intern met experts vanuit het kantoor en één op de bouwplaats met de uitvoerder. De visgraat biedt handvatten voor de structurering van invloedsfactoren volgens de uitvoerders en timmerlieden. Zie Bijlage Q.

4.5.5 Invloedsfactoren volgens (hoofd)uitvoerder

De resultaten van de analyse zijn besproken met de uitvoerder en hoofdvoerder. Een aantal zaken werden in het gesprek eruit gelicht.

- De hoeveelheid aan wapeningsactiviteiten van de timmerlieden
- Kraanbeschikbaarheid
- Afstemming met HSVT.
- Opruimactiviteiten

Uit het gesprek kwam naar voren dat de uitgevoerde wapeningsactiviteiten binnen het takenpakket van de timmerlieden vallen. De hoeveelheid uren was niet verbazingwekkend, omdat er nu eenmaal veel uren gaan zitten in het plaatsen van spanpotten, wapenen poeren.

Wat de verbazing schetste van de hoofd(uitvoerder) was de kraanbeschikbaarheid, het project heeft namelijk al meer kraancapaciteit dan gebruikelijk. De hoofd(uitvoerder) vermoedt dat de overcapaciteit, juist gemakzucht in hand werkt bij de timmerlieden. Door de hoeveelheid kranen is het niet nodig lang van te voren na te denken of een kraan beschikbaar is. Deze vermoedens lijken overeen te komen met het beeld uit de observaties. In praktijk wordt een kraan vaak ad hoc geregeld, met als gevolg dat een deel van de ploeg stil staat. Een andere mogelijke oorzaak ligt volgens de hoofd(uitvoerder) in het feit dat vaak +/- 85% van materiaal/materieel verplaatst wordt en dat men op de werkplek erachter komt dat de laatste +/- 15% ontbreekt. De kraan is dan alweer in gebruik door een andere ploeg terwijl de timmerlieden wachttijd ervaren. In praktijk gaat of kan men niet altijd met de 85% materiaal/materieel uit de voeten, waardoor vertraging ontstaat. De oplossingsrichting moet gezocht worden in het vooruitdenken.

De timmerlieden hebben rondom de poer veel wachttijd ervaren op HSVT. De oorzaak moet gezocht worden in de uitgelopen planning. De deadline van het project blijft staan, vanwege afspraken met Prorail, terwijl er eerder in de planning vertraging is ontstaan. Dit resulteerde in parallel lopende werkzaamheden van HSVT en de timmerlieden, met wachttijden als gevolg. De hoofd(uitvoer) noemde deze werkzaamheden dan ook incidenteel.

Daarmee samen hangt de hoeveelheid uren aan opruimactiviteiten rondom de poer. In korte tijd ontstaat veel troep in het werkgebied, vanwege het grote aantal betrokken actoren. Om toch snel door te kunnen werken hielpen de timmerlieden met opruimen. In tegenstelling tot een normale situatie waarbij inhuur de eigen gemaakte troep opruimt. De opruimwerkzaamheden in de fly-over (dek en hoofd) wekte verbazing, omdat het in principe een schone werkplek is. Na analyse bleek dat daar verhoudingsgewijs ook minder wordt opgeruimd. De (hoofd)uitvoerder kon ook geen verklaring bedenken.

Binnen het visgraatdiagram moeten de oorzaken voornamelijk gezocht worden onder het kopje 'mens' en 'methode' (Tabel 9). Voornamelijk discipline, mentaliteit, ervaring en de aanwezigheid van een leerling spelen een rol. De methode speelt ook een sterke rol het project is vrij complex en de werkzaamheden zijn veelal uniek. Personeelcapaciteit speelt geen rol, er is geen overcapaciteit aanwezig en er komen ook geen mensen tekort. Verder is kenmerkend aan het project dat het uitgestrekt is, waardoor er veel looptijden ontstaan. De score aan de invloedfactoren is afgeleid uit het gesprek en niet rechtsreeks benoemd door de uitvoerders. Het geeft slechts een indicatie.

Tabel 9 Belangrijkste invloedfactoren (hoofd)uitvoerder

Invloedsfactor	Welke wijze?	Invloed	Verander- baarheid
Mens			
Discipline en Mentaliteit	Er wordt onvoldoende vooruit en meegedacht door de timmerlieden.	Groot	Redelijk
Leeftijd/ervaring	De betrokken timmerlieden zijn bovengemiddeld ervaren en accepteren niet zomaar een andere werkmethode: "We doen het al jaren zo!" Maar maken tegelijkertijd weinig fouten.	Redelijk	Klein
Leerling	Veel uitleggen, daardoor minder productieve uren	Redelijk	Klein
Ploeg	De ploegen zijn allround (ervaren/eigenwijze) vakmannen en worden per onderdeel ingepland. Binnen een ploeg steken timmerlieden elkaar aan. Als één iemand dwars ligt, ligt de hele ploeg dwars.	Redelijk	Klein
Werkwijze			

Complexiteit werk	Ontwerp is complex, werkzaamheden zijn veelal uniek	Groot	Klein
Beschikbaarheid tekeningen	Door het complexe project, zijn er veel detailtekeningen nodig. Deze zijn niet altijd beschikbaar.	Redelijk	Groot

4.5.6 Invloedsfactoren volgens timmerlieden

Tijdens de observaties is aan de timmerlieden gevraagd, wat volgens hen van invloed is op de metingen en wat er speelt. De belangrijkste invloedsfactoren zijn weergegeven in onderstaande tabel. De mate van invloed is geschat op basis van de gesprekken.

Tabel 10 Invloedsfactoren volgens timmerlieden

Invloeds-factor	Welke wijze?	Invloed	Veranderbaarheid
Omgeving			
Externe actoren	Tussen de ploegen wordt veel gebruik gemaakt van andermans gereedschap. Dichtstbijzijnde materieel wordt gebruikt.	Groot	Groot
Planning/ Deadlines	De projectdeadlines blijven staan, terwijl vertraging is ontstaan in de planning. In korte tijd moet veel werk verzet worden wat stress en ontevredenheid oplevert.	Groot	Klein
Uren	Ontevredenheid over nieuwe urenregeling, leverde nogal wat gesprekstof op. (incidenteel)	Groot	Klein
Werkwijze			
Beschikbaarheid tekeningen	Er zijn te weinig tekeningen beschikbaar, daarom moeten de timmerlieden op het gevoel/ervaring werkzaamheden uitvoeren	Redelijk	Groot
Machine			
Kwaliteit Machine	Defect materieel wordt slecht gemeld. Regelmatig wordt een defect apparaat zonder melding teruggelegd	Klein	Groot

4.5.7 Eigen observaties

De genoemde invloedsfactoren van de timmerlieden en de uitvoerder werden in de observaties herkend. Een aantal toevoegingen daarop zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 11 Eigen observaties

Invloeds-factor	Welke wijze?	Invloed	Veranderbaarheid
Mens			
Discipline	Timmerlieden proberen ook tijdens wachttijden zoveel mogelijk bezig te zijn, door bijvoorbeeld op te ruimen. Dat is van grote invloed op wachttijden	Groot	Redelijk
Mentaliteit	Er wordt niet aan een nieuwe taak begonnen, als het bijna pauze is. De pauze wordt ook niet naar voren gehaald.	Groot	Redelijk
Omgeving			
Uitvoerder (1)	De stap naar de uitvoerder is redelijk groot, er wordt niet zomaar om meer uitleg gevraagd.	Redelijk	Groot

Uitvoerder (2)	De timmerploegen en HSVT vallen beide onder een andere uitvoerder, waardoor afstemming moeilijker lijkt te verlopen	Groot	Groot
Materiaal			
Kwaliteit	In de aangevoerde periplaten, zat beton in enkele centerpengaten. Ook pasten niet alle platen even goed. Één keer werd verkeerde mortel aangereikt	Klein	Groot

4.6 Conclusie casestudy

Uit de analyse komen een aantal zaken naar voren. Allereerst is opvallend dat slechts 42,2% van de dag bestaat uit productieve uren. De overige tijd gaat op aan wachttijden, opruimen etc. Van de 42,2% productieve uren zit de meeste tijd in bekisten, waarvan wapenen een zeer grote activiteit vormt. De wapeningsactiviteiten blijken wel tot het takenpakket van de timmerman te horen, ondanks dat het te verwachten is dat het een taak van de vlechters is. In de niet productieve uren zit de meeste tijd hem in het wachten op de kraan, opruimen en uitloop van pauze. Binnen de fase bekisten is het bekisten op het 'hoofd' vergeleken met het bekisten bij de 'poer'. Opvallend is dat er grote verschillen tussen beide processtappen zijn. Op het 'hoofd' kan veel constanter gewerkt worden dan bij de 'poer'. De oorzaken liggen vermoedelijk in type bekisting, aantal ploegen en opgeruimdheid van de werkplek. In het gehele proces zijn herbewerkingen bijna niet voorgekomen.

Uit de WOW- (Worst of Worst) en BOB- (Best of Best) analyse blijkt dat de *wachttijden op de kraan* en *beschikbaarheid van werkplek* van invloed zijn. De kraanbeschikbaarheid is vermoedelijk een probleem van enerzijds overcapaciteit in combinatie met slecht vooruitdenken van timmerlieden. De overcapaciteit werkt ad hoc werken in de hand en de uitvoerders lijken hier onvoldoende op in te spelen. De wachttijden met de kraan spelen voornamelijk een rol bij het bekisten van het hoofd en het bekisten rondom de poer. De wachttijden op HSVT zijn voornamelijk het gevolg van parallel lopende activiteiten, als gevolg van een eerdere vertraging in de planning. De timmerlieden wachten of treffen voorbereidingen voor de activiteiten voor de betreffende dag, terwijl men bij wijze van spreke ook werkzaamheden van volgende week had kunnen doen op een andere (wel) beschikbare werkplek.

Er zijn een aantal hypothesen getoetst om de invloedsfactoren te bepalen:

Tabel 12 Hypothesen

Hypothese	Verworpen?
1a De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag.	Nee
1b De ploegen onderling hebben geen significant verschil in spreiding.	Ja
2a De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dagdeel van de ploegen A en B samen.	Nee
2b De ploegen A en B onderling hebben geen significant verschil in spreiding.	Nee
3a De timmerlieden binnen een ploeg hebben geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit van de ploeg.	Nee
3b De timmerlieden binnen een ploeg hebben onderling geen significant verschil in spreiding.	Nee
4a Er zit geen verband tussen het dagdeel en de productiviteit van de timmerlieden (R-waarde 37,4%)	Ja

4b Tussen de dagdelen zit geen significant verschil in spreiding.	Nee
5a De gemiddelde bewerkingsduur per handeling per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag (R-waarde 12,8%)	Ja
5b Het aantal handelingen op een dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag (R-waarde 22,1%)	Ja
6 De gemiddelde werkinstructie duur per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag (R-waarde 1,8%)	Ja

Uit de onderzochte invloedsfactoren blijkt dat de timmerlieden binnen een ploeg even effectief werken met een gelijke spreiding. Tussen ploegen onderling is er in gemiddelden ook geen significant verschil waar te nemen. De spreiding verschilt echter wel, deze wordt beïnvloed door het soort werk. De ploeg met de laagste *diversiteit aan werkzaamheden* heeft de kleinste spreiding.

Het dagdeel vertoont met een R-waarde van 37,4%, een redelijk verband met de productiviteit per dag. Aan het begin van de dag (7.00-9.00 uur) wordt er het meest productief gewerkt. Op het project zijn vrij veel korte handelingen gemeten van tussen de 2,5 en 7,5 minuten echter heeft de gemiddelde handelingsduur een zeer zwak verband met de dagproductiviteit. Het aantal handelingen en de werkinstructieduur vertonen ook een (zeer) zwak verband met de dagproductiviteit.

De procesverbetering zit hem voornamelijk in de combinatie van niet-productieve uren en productieve uren. De timmerlieden moeten meer inzicht krijgen in het proces (productieve uren) en vooruitkijken voor bijvoorbeeld *kraanbeschikbaarheid* (niet-productieve uren). De uitvoerders moeten meer stimuleren dat er echt meegedacht wordt en moeten voorkomen dat er *teveel man in hetzelfde werkgebied* aan het werk zijn. Er lijkt een kloof aanwezig te zijn, die overbrugd moet worden.

Uit de gesprekken/brainstormsessies kwamen ook een aantal invloedsfactoren naar voren. Opvallend is dat de timmerlieden en de (hoofd)uitvoerder verschillende zaken als invloedsfactor beschouwen. Beide partijen zoeken voornamelijk bij elkaar de oorzaken. De (hoofd)uitvoerder is van mening dat er *onvoldoende wordt meegedacht* door de timmerlieden en dat de timmerlieden niet graag veranderen van *werkwijze*. Ook de *complexiteit van het werk* speelt een rol. De timmerlieden zien de *planningdeadlines* en de *mentaliteit tussen de ploegen* als invloedsfactor. Uitgelopen planningen leveren onvrede en stress op en tussen ploegen vaak het dichtstbijzijnde materieel gebruikt, ook al is dat van een andere ploeg. In de analyse komt dat laatste echter niet als grote invloedsfactor naar voren. Minder dan 0,5% van de tijd hebben timmerlieden naar gereedschap gezocht. Tussen 'ervaren' en 'werkelijkheid' blijkt een verschil aanwezig te zijn. Verder blijkt dat timmerlieden niet aan een 'nieuwe taak' beginnen voor de schaft. Men wacht dan op de pauze.

De (hoofd) uitvoerder en timmerlieden zijn het wel eens over de *beschikbaarheid van tekeningen* als invloedsfactor. De uitvoerder geeft aan dat door het complexe ontwerp het onmogelijk is om van elk detail een tekening te maken. De timmerlieden ervaren het echter als problematisch, omdat ze het liefst letterlijk de tekening volgen. Ook dit verschil is opvallend omdat de timmerlieden veel ervaring hebben en bij de uitvoerder juist als 'eigenwijs' bekend staan.

5 Theoretische verklaring casestudy

In het vorige hoofdstuk is de casestudy uitgewerkt. De resultaten van deze casestudy worden vergeleken met soortgelijke studies. De bevindingen van twee studies worden er uitgelicht en de verschillen worden verklaard. De studies zijn gehouden in Turkije en China en spelen beiden af tijdens de bekistingproces. De studie uit Turkije kwalitatief onderzoek, uitgevoerd door middel van een gehouden enquête onder betrokken actoren binnen het bekistingproces, wat goed vergeleken kan worden met de resultaten uit de gesprekken met de uitvoerder en timmermannen (paragraaf 4.5.4 t/m 4.5.7). De studie uit China is een kwantitatief onderzoek op een bouwproject, waardoor het goed vergelijkbaar is met de invloedsfactoren vanuit de data uit de casestudy (paragraaf 4.5.1 t/m 4.5.3). Beide studies hebben een andere insteek, waardoor ze goed bruikbaar zijn. Een invloedsfactor als meningverschillen tussen specialisten zal in de Chinese studie niet gevonden worden, omdat het niet meetbaar is, terwijl dat wel uit de Turkse studie naar voren kan komen. De Chinese studie zal meer praktische (meetbare) zaken naar voren laten komen.

Dit hoofdstuk is bedoeld om de resultaten uit de casestudy in een breder perspectief te plaatsen. Het betreft geen uitgebreide analyse, maar slechts een verkenning van de resultaten in de bredere literatuur. In paragraaf 5.1 worden de belangrijkste bevindingen van de studies in China en Turkije besproken en in paragraaf 5.2 wordt de vergelijking gemaakt met de casestudy.

5.1 Productiviteitsstudies in de literatuur

5.1.1 Bevindingen studie bekistingproces Turkije

In een studie van Polat & Ballard (2004) naar tijdverspilling (en materiaalverspilling) in Turkije is onderzoek gedaan naar de oorzaken van vertragingen op projecten. Het onderzoek betreft een enquête onder 116 aannemers, die werkzaam zijn in de bouwsector. De bouwsector is hier breder dan alleen de civiele bouwprojecten, waarbinnen het project uit de casestudy valt. Het gaat ook om woningbouw, utiliteitsbouw etc. Deze studie weergeeft invloedsfactoren die niet direct meetbaar zijn. De studie is daardoor bruikbaar om te vergelijken met de invloedsfactoren die door de uitvoerder wordt genoemd.

De enquête leverde de volgende invloedsfactoren op. Het percentage geeft aan welk deel van de respondenten het aspect als invloedsfactor beschouwd.

- Vertraging materiaal aanlevering door leverancier (72%)
- Verkregen materiaal voldoet niet aan de projecteisen (53%)
- Onregelmatig geldstroom (39%)
- Extreme weercondities (35%)
- Personeelschaarste (29 %)
- Onrealistische planning (23%)
- Interactie tussen specialisten (13%)
- Herbewerkingen (16%)
- Schaarste aan uitrusting (13%)
- Ontbreken van tekeningen (9%)
- Ontbreken van goede coördinatie tussen teams (8%)
- Verkeerde constructie methode (5%)

De belangrijkste vertragingen worden veroorzaakt door vertraging van materiaal en verkeerd materiaal (Polat & Ballard, 2004).

5.1.2 Bevindingen studie bekistingproces China

Zhao & Chua (2003) hebben een productiviteitsstudie gehouden op basis van 8 projecten, waarvan 4 commerciële gebouwen, 2 flatgebouwen en 2 civiele drainage projecten. In de eerste fase werden invloedsfactoren bepaald door middel van interviews onder projectmanagers, uitvoerders en voormannen. De tweede fase betreft het bijhouden van een logboek op wekelijkse basis. Het logboek werd ingevuld door voormannen vanwege hun proceskennis. Op deze formulieren komt naar voren wat de grootste verspillingen zijn. De studie beperkt zich tot herhalende elementen in het bekistingproces. De studie is redelijk goed vergelijkbaar met de invloedsfactoren vanuit de data gemeten in Den Bosch. Aangezien het om een wekelijkse logboek gaat, is de data minder nauwkeurig dan in de casestudy, maar desalniettemin geeft het wel goed inzicht in de invloedfactoren vanuit de werkvloer.

Zhao & Chua (2003) verdelen de niet-productieve uren in 3 categorieën: 'Herbewerkingen', 'Wachttijden' en 'Niets doen'. De verspillingen worden aangegeven in: 'Man-verlies-uren' per maand. De belangrijkste verspillingen worden in verloren manuren/maand weergegeven.

Tabel 13 Verspillingoorzaken op de bouwplaats in gem. verloren manuren/maand (Zhao & Chua, 2003)

Verspilling Categorie	Oorzaak	Verloren manuren
Herbewerkingen door:	Ontwerp fout	20,6
	Ontwerp verandering	16,2
Wachttijden door:	Machine in gebruik door andere ploeg	52,3
	Gereedschap niet geschikt	41,4
	Inspectie	31,8
	Natte dagen (neerslag)	23,9
	Gereedschap kapot	22,2
	Machine/apparatuur kapot	21,7
	Machine/apparatuur installatie en transport	20,2
	Congestie op de bouwplaats	18,3
	Vertraging Materiaal aanlevering	16,4
Niets doen	Werknemers niet enthousiast	8,7

De lage productiviteit is volgens de studie te wijten aan o.a. het delen van gereedschap, vertraging van materiaal, wachten op instructies en inspecties, herbewerkingen door ontwerpveranderingen, teveel man op een plaats etc. Een categorie springt eruit en dat is 'Uitrusting in gebruik door andere ploeg', met 52,3 manverlies uren.

5.2 Casestudy vs literatuur

Een deel van de invloedsfactoren wordt ook in de literatuur herkend. In dit deel worden de belangrijkste overeenkomsten en verschillen benoemd. Aangezien de studie in Den Bosch zich richt op de productieve uren is er geen ranking aan te geven van het probleem.

5.2.1 Overeenkomsten

Tussen de studie uit China, Turkije en de in Nederland gehouden casestudy zitten behoorlijk wat verschillen in aanpak. Ondanks deze verschillen is gepoogd de drie studies naast elkaar te zetten en naar de overeenkomsten te kijken. Voor de casestudy is het lastig een ranking aan te geven, omdat het onderzoek zich beperkt heeft tot productieve uren. De vergelijking is in Tabel 14 weergegeven. Tussen haakjes staat mate van het probleem binnen de betreffende studie. Een laag cijfer correspondeert met een 'als groot ervaren' probleem.

Tabel 14 Elementen met hoge ranking binnen studies vergeleken

China	Turkije	Den Bosch
'Machine in gebruik door andere ploeg' (1)	Schaarste aan uitrusting (9)	Wachten op kraan (in gebruik door andere ploeg) (1)
Inspectie (2)	NVT	Inspectie door veiligheidsdeskundige
Vertraging Materiaal aanlevering (10)	Vertraging Materiaal aanlevering (1)	Wapeningstaven te laat geleverd (incidenteel)
NVT	Materiaal voldoet niet aan de projecteisen (2)	Verkeerde mortel
Natte dagen (4)	Extreme weerscondities (4)	NVT
Onderschatting werk (15)	Onrealistische planning (6)	Project heeft te maken met uitloop daardoor parallel lopende werkzaamheden

De belangrijkste overeenkomst tussen de drie studies blijkt het delen van materieel op de bouwplaats. Dat kan enerzijds te maken hebben met een tekort aan materieel of anderzijds aan slechte coördinatie van het materieel. In de casestudy was het voornamelijk een probleem van kranen, die in gebruik waren door andere ploegen. Verder worden bepaalde problemen uit de literatuur herkend. Echter kan alleen van wachten op de kraan worden gezegd dat deze de grootste categorie vormt. Ook lijkt de planning een belangrijke rol te spelen. In de casestudy is dat terug te zien in wachttijden op HSVT door parallel lopende werkzaamheden.

Verkeerd materiaal en vertraging materiaal is incidenteel wel voorgekomen in de casestudy, maar heeft geen grote impact gehad. In Turkije spelen deze problemen wel degelijk een rol.

5.2.2 Verschillen casestudy en literatuur

Wat allereerst opvalt is de grote verschillen in ranking binnen de twee studies in Turkije en China. De verklaring kan gezocht worden in het feit dat in Turkije doormiddel van enquêtes en ervaringen aan gegevens is gekomen, terwijl de studie in China data heeft verzameld door daadwerkelijk te meten. Daarmee hangt samen dat bepaalde zaken uit de studie in Turkije lastig meetbaar te maken zijn. Daarnaast verschillen de type projecten sterk en zijn China en Turkije zeer verschillende landen, waar ook de bouw aanpak verschilt.

Een belangrijk verschil tussen de casestudy en de studies in China en Turkije zit hem ook in de meetperiode. De casestudy bevat een tijdsspanne van 6 dagen verdeeld over maximaal 2 weken en in China en Turkije gaat het over data verspreid over tenminste 1 jaar. Daardoor valt er weinig te zeggen over het weer en geldstromen etc.

Op het project Sporen in Den Bosch is er geen tekort of overschot van personeel geweest. Het aantal werknemers is wel van invloed op de studies in Turkije en China. De economische situatie zal ook ongetwijfeld een rol spelen.

Verder kwam in de gesprekken met de uitvoerder naar voren dat mentaliteit van timmerlieden ook een rol speelt, die invloedsfactor wordt echter in Turkije niet herkend. Evenals vergelijkingen tussen timmerploegen en dagdelen.

Tenslotte is in op het project Sporen in Den Bosch niet onderzocht hoe het zit met financiering en werkvoorbereiding, wat in de studie in Turkije wel naar voren komt.

6 Conclusie en Discussie

In hoofdstuk 6 worden de conclusies, discussie en aanbevelingen weergegeven. Paragraaf 6.1 gaat in op beantwoording van de hoofdvraag en de conclusies van het rapport. Paragraaf 6.2 bevat een kritische reflectie op de resultaten. In paragraaf 6.3 worden aanbevelingen gegeven over de vervolgstappen van LSS, vervolgonderzoek in zijn algemeenheid en wordt de geschiktheid van de LSS-methodiek beschreven.

6.1 Conclusies

De hoofdvraag is:

Hoe kan de productiviteit van de timmerlieden binnen het bekistingproces verhoogt worden, door middel van de LSS-methodiek en waardoor ontstaan fouten in het proces?

De LSS-methodiek kent oorspronkelijk een procesmatige aanpak en is in mindere mate geschikt voor (niet-industriële) projecten. Echter blijkt dat de processtappen in de casestudy wel degelijk procesmatig te beschrijven zijn, waardoor de LSS-methodiek toegepast kan worden. Vanuit de invloedsfactoren worden elementen onderzocht waarmee de productiviteit verhoogt kan worden.

In de casestudy wordt verwacht dat de productieve uren met 5% omhoog kunnen, wat een structurele opbrengst van minimaal €20.000 per jaar oplevert voor het project 'Sporen in den Bosch'. Deze 5% moet gehaald worden uit de 57,8% van de dag dat de timmerlieden niet productief bezig zijn. De niet productieve uren zitten hem in wachten op de kraan, opruimen en uitloop van pauze. In de metingen zijn nauwelijks herbewerkingen voorgekomen.

Uit de WOW- (Worst of Worst) en BOB- (Best of Best) analyse blijkt dat de *wachttijden op de kraan* en *beschikbaarheid van werkplek* van invloed zijn. De kraanbeschikbaarheid is vermoedelijk een probleem van enerzijds overcapaciteit in combinatie met slecht vooruitdenken van timmerlieden. De overcapaciteit werkt ad hoc werken in de hand en de uitvoerders lijken hier onvoldoende op in te spelen. De wachttijden met de kraan spelen voornamelijk een rol bij het bekisten van het hoofd en het bekisten rondom de poer. De wachttijden op HSVT zijn voornamelijk het gevolg van parallel lopende activiteiten, als gevolg van een eerdere vertraging in de planning. De timmerlieden wachten of treffen voorbereidingen voor de activiteiten voor de betreffende dag, terwijl men bij wijze van spreke ook werkzaamheden van volgende week had kunnen doen op een andere (wel) beschikbare werkplek.

De invloedsfactoren zijn als volgt:

Tabel 15 Hypotheses van invloedsfactoren

Hypothese	Verworpen?
1a De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag.	Nee
1b De ploegen onderling hebben geen significant verschil in spreiding.	Ja
2a De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dagdeel van de ploegen A en B samen.	Nee
2b De ploegen A en B onderling hebben geen significant verschil in spreiding.	Nee
3a De timmerlieden binnen een ploeg hebben geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit van de ploeg.	Nee
3b De timmerlieden binnen een ploeg hebben onderling geen significant verschil in spreiding.	Nee

4a Er zit geen verband tussen het dagdeel en de productiviteit van de timmerlieden (R-waarde 37,4%)	Ja
4b Tussen de dagdelen zit geen significant verschil in spreiding.	Nee
5a De gemiddelde bewerkingstijd per handeling per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag (R-waarde 12,8%)	Ja
5b Het aantal handelingen op een dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag (R-waarde 22,1%)	Ja
6 De gemiddelde werkinstructie duur per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag (R-waarde 1,8%)	Ja

Uit de analyse blijkt dat de invloedsfactoren op de productiviteit het *type dagdeel* en de *ploeg* zijn. In het begin van de dag (tussen 7.00-9.00 uur) halen de timmerlieden relatief gezien beduidend meer productieve uren dan de rest van de dag. De ploegen onderling werken even productief, echter had één ploeg een significant kleinere spreiding in productieve uren. Deze ploeg deed veel eentoniger werk dan de rest van de ploegen. De diversiteit van werkzaamheden in een ploeg is daarom van invloed.

Wat niet van invloed is op de productiviteit zijn de timmerlieden binnen een ploeg. De *gemiddelde (productieve) handelingsduur* en *aantal (productieve) handelingen* op een dag vertonen wel een significant verband, echter is het verband zo zwak dat de relatie niet noemenswaardig is. De *werkinstructie duur per dag* vertoont ook geen noemenswaardig verband met de dagproductiviteit.

Uit de gesprekken kwamen ook een aantal invloedsfactoren naar voren. Opvallend is dat de timmerlieden en de (hoofd)uitvoerder verschillende zaken als invloedsfactor beschouwen. Beide partijen zoeken voornamelijk bij elkaar de oorzaken. De (hoofd)uitvoerder is van mening dat er *onvoldoende wordt meegedacht* door de timmerlieden en dat de timmerlieden niet graag veranderen van *werkwijze*. Ook de *complexiteit van het werk* speelt een rol. De timmerlieden zien de *planningdeadlines* en de *mentaliteit tussen de ploegen* als invloedsfactor. Uitgelopen plannings leveren onvrede en stress op en tussen ploegen wordt vaak het dichtstbijzijnde materieel gebruikt, ook al is dat van een andere ploeg. In de analyse komt dat laatste echter niet als grote invloedsfactor naar voren. Minder dan 0,5% van de tijd hebben timmerlieden naar gereedschap gezocht. Tussen 'ervaren' en 'werkelijkheid' blijkt een verschil aanwezig te zijn. Verder blijkt dat timmerlieden niet aan een 'nieuwe taak' beginnen voor de schaft, wat resulteert in een lagere productiviteit.

De (hoofd) uitvoerder en timmerlieden zijn het wel eens over de *beschikbaarheid van tekeningen* als invloedsfactor. De uitvoerder geeft aan dat door het complexe ontwerp het onmogelijk is om van elk detail een tekening te maken. De timmerlieden ervaren het echter als problematisch, omdat ze het liefst letterlijk de tekening volgen. Ook dit verschil is opvallend omdat de timmerlieden veel ervaring hebben en bij de uitvoerder juist als 'eigenwijs' bekend staan.

Ook de *planning* speelt een belangrijke rol in het project. Door een eerder opgelopen vertraging in het project, was met genoodzaakt om activiteiten van verschillende ploegen in hetzelfde werkgebied parallel te laten verlopen, wat de nodige wachttijd in de hand werkte. De uitvoerder had beter in kunnen spelen op het probleem van teveel mensen in hetzelfde werkgebied. Veel activiteiten worden in serie uitgevoerd, terwijl vermoedelijk parallel werken ook moet kunnen. In vergelijkbare studies gehouden in Turkije en China zijn deze problemen terug te vinden. Er zijn overeenkomsten met betrekking tot planninguitloop en delen van materieel op de bouwplaats. Echter blijkt het delen van materieel in praktijk geen groot probleem op het onderzochte project.

6.2 Discussie

Om de dataset te verkrijgen zijn keuzes gemaakt wat wel of niet productief is. Over de term opruimen kan gediscussieerd worden, omdat het een activiteit is die wel gedaan moet worden, maar waar de timmerlieden zich zo weinig mogelijk mee bezig moeten houden. Een praktisch gevolg kan zijn dat binnen een ploeg één timmerman zich in het groepsbelang voornamelijk bezig houdt met opruimen en verplaatsen van materiaal (niet-productief), terwijl de andere timmerman wel productieve werkzaamheden verricht.

Een andere discussiepunt in het verkrijgen van de data is het feit dat bepaalde handelingen van timmerlieden in verschillende categorieën ingedeeld konden worden. Een voorbeeld is dat een timmerman gaat opruimen, terwijl hij aan het wachten is op een andere ploeg of op de kraan. De timmerman kan niet zijn opgedragen werkzaamheden doen, maar maakt zich toch enigszins nuttig. In de analyse zijn verschillende dagdelen gebruikt die niet dezelfde tijdsduur bevatten. Dit probleem is ondervangen door met ratio's te werken. Echter kan de lengte van een dagdeel ook van invloed zijn, alleen al om het feit dat bijvoorbeeld de tussenschaft een extra pauze in zich heeft met extra looptijden (niet-productieve uren) in zich.

Er zijn 33 metingen verricht, echter is er voornamelijk vanuit ploegen gemeten. Binnen een ploeg volgen de timmerlieden dezelfde aanpak en lopen de timmerlieden tegen dezelfde problemen aan. Dat resulteert in metingen die sterk op elkaar lijken.

Tenslotte zegt de casestudy niets over hoe timmerlieden op zich zelf effectiever kunnen werken. De timmerlieden kunnen bij wijze van spreken extra lang over bepaalde handelingen doen, zonder dat het als niet-productief gemeten wordt. De data zegt iets over of een timmerman een hamer vast heeft, maar niet hoe snel hij timmert. Daardoor kan een vertekend beeld ontstaan, want misschien is het efficiënter om snel te werken met korte pauzes, dan onafgebroken in een lager tempo.

6.3 Aanbevelingen

6.3.1 *Vervolgstappen Improve & Control*

In deze studie zijn een aantal problemen geanalyseerd, wat uiteindelijk de basis moeten dienen voor de vervolg stappen 'improve' en 'control' van LSS. Aanbevolen wordt om met de belangrijkste problemen verder te gaan en structurele oplossing te zoeken. In dit geval is dat 'kraan beschikbaarheid' en 'planning'. De kraanbeschikbaarheid is vooral een aangelegenheid voor de timmerlieden en de uitvoerders. Samen moet men naar een oplossing zoeken, waarin kraanplanning en vooruitkijken/plannen centraal staat. Een voorbeeld kan bijvoorbeeld zijn een whiteboard waarop de timmerlieden aan kunnen geven wanneer de kraan nodig is of aan het eind van dag bedenken wat er de volgende dag gedaan moet worden. De planning is een aangelegenheid voor de uitvoerders. Men moet voorkomen dat meerdere ploegen in hetzelfde werkgebied aan het werk zijn, want dat werkt een lagere productiviteit in de hand.

Ook moet er gewerkt worden aan de communicatie tussen de (hoofd)uitvoerder en timmerlieden. Door één keer per week samen te lunchen of en dagelijks korte besprekingen over de werkzaamheden, krijgen beide partijen beter inzicht in elkaars werkzaamheden en problemen. Daardoor worden problemen eerder gesignaleerd en wordt wachttijd voorkomen.

De uitvoerder en timmerlieden moeten met elkaar afstemmen welke tekeningen echt nodig zijn en welke niet, op deze manier wordt voor beide partijen geen onnodig werk gedaan.

De uitvoerder moet zorgen voor een driedagelijkse planning die in de schaftkeet komt te hangen. Op deze manier worden timmerlieden gestimuleerd mee te denken en weten ze wat gedaan kan worden in geval van wachttijden. Bovendien kan de uitvoerder de timmerlieden beter inzetten in geval van wachttijd. De planning moet worden doorgesproken met de voorman van een ploeg, zodat de timmerlieden zich ook verantwoordelijk voelen. Dagelijks moeten zo min mogelijk

verschillende werkzaamheden uitgevoerd worden, omdat dat tot een grotere spreiding in productiviteit leidt.

Binnen het project worden er ook veel opruimwerkzaamheden verricht door de timmerlieden. Dit is een dure aangelegenheid, vooral als er opgeruimd wordt van andere ploegen. Aanbevolen wordt om te onderzoeken of de timmerlieden daadwerkelijk opruimen wat ze moeten opruimen en of het rendabel is om hen op te laten ruimen of het te laten doen door goedkopere krachten. Vanuit de timmerlieden werd het idee geopperd om iemand specifiek aan te stellen voor materieel en materiaal beheer. Op deze manier wordt ervoor gezorgd dat defect materieel gerepareerd wordt en dat zoekgeraakt materieel vervangen wordt.

Tot slot moeten de schafttijden flexibel gemaakt worden. Als een taak klaar is moeten timmerlieden eerder schaften, om wachttijd te voorkomen. Ook moet bekeken worden of de schaftinrichting op zich zelf logisch is. Aan het eind van de dag moeten de timmerlieden het langst onafgebroken werken (150 min), terwijl dan juist vermoeidheid mee kan spelen.

6.3.2 Aanbevelingen vervolgonderzoek

In dit onderzoek heeft productiviteit de betekenis van al dan niet bezig zijn met waardetoevoegende handelingen. Daarbij is de aanname gemaakt dat timmerlieden zo hard en snel mogelijk werken. Echter zal in vervolgonderzoek onderzocht moeten worden of deze aanname terecht is. Een snel werktempo met korte pauzes kan namelijk even efficiënter zijn dan een lager werktempo met minder of geen pauzes. Vermoedelijk heeft wachttijd in het vooruitzicht ook een zekere invloed op het werktempo van de timmerlieden.

Ook wordt aanbevolen om dezelfde casestudy uit te voeren op een ander project. Op deze manier kan onderzocht worden of de bevindingen uit Den Bosch generiek zijn en kan beter ingespeeld worden op de algehele verbetering van het bekistingproces binnen Heijmans.

Tenslotte moet de categorie opruimen verder onderzocht worden. Op basis van de casestudy ontstaat het vermoeden dat de opruimactiviteiten deels te wijten zijn aan wachttijden op bijvoorbeeld materieel of andere ploegen.

6.3.3 Geschiktheid LSS voor onderzocht probleem

De binnen Heijmans toegepaste LSS-methodiek was vrij goed geschikt om de huidige prestatie in kaart te brengen. Echter heeft LSS ook de nodige beperkingen. Het onderzoek is gericht op één CTQ namelijk productieve uren. Echter blijkt uit het onderzoek dat de productieve uren sterk verbonden zijn aan niet-productieve uren. Om tot goede inzichten te komen is een integrale aanpak nodig. Zo zegt een 'wachttijd op de kraan' (niet-productieve uren) veel meer als blijkt dat het probleem in één specifiek onderdeel van het proces voorkomt (productieve uren).

Verder is LSS gericht op een gesloten proces, wat in dit onderzoek problemen opleverde. In feite was het project te groot om een gesloten bekistingproces te meten. De metingen zijn op drie verschillende locaties op het project gemeten en daardoor in feite uit drie verschillende bekistingprocessen gehaald. Aangezien de drie processen zeer verschillend waren in bekistingsoort en toepassing, is een vergelijking lastig te maken. Bovendien verkeerde het bekistingproces op elke locatie zich in een andere fase en wisselden de activiteiten van de timmerlieden sterk tussen de fases. In feite zegt een value stream map dan ook veel minder.

Ook is het lastig om met de methodiek diep in het probleem te duiken. Zo was het interessant geweest als er iets over de productiviteit binnen fases gezegd kon worden. Echter was het aantal metingen niet voldoende om er iets zinnigs over te zeggen.

Om structureel iets te verbeteren moet er uiteindelijk een keuze gemaakt worden wat wel en niet meegenomen wordt uit het onderzoek. Het gevaar van de LSS-methodiek is dat 'projectspecifieke' problemen naar voren komen, die niet in andere projecten worden herkend. Daarom is altijd een kritische reflectie nodig en moet het project in een breder perspectief worden bekeken.

7 Bibliografie

- Adam, J. M., Calderón, P. A., & Pallarés, J. (2009). Falls from height during the floor slab formwork of buildings: Current situation in Spain. *Elsevier; Journal of Safety Research* , (40) 293–299.
- Akkermans, H. (2006). *'Kennissuitwisseling met projecten' bij Interbeton B.V.: Kennisbehoefte en kennisdeling stimuleren met een kennisaudit*. Enschede, The Netherlands: University of Twente.
- Arbouw. (2007). *Bedrijfstakverslag arbeid, gezondheid en veiligheid in 2007*. Hardewijk: Arbouw.
- Boer, R. d. (2010, Maart 11). *Nieuws*. Opgeroepen op December 4, 2012, van De Boer Communicatie; Techniek en Wetenschap:
<http://www.deboercommunicatie.nl/2010/11/cobouw-column-23-b-tower-het-echte-drama/>
- Bos, A. v. (2012). *Masterthesis: Improving Lean Six Sigma Project execution in construction*. Enschede: Universiteit Twente.
- Buko Materieeldienst. (2008). Opgeroepen op November 29, 2012, van Bukomaterieeldienst:
<http://www.bukomaterieeldienst.nl/ProductImages/Bijlagen/bekistingen.pdf>
- Cantarelli, C. C. (2009). Cost overruns in Dutch transportation infrastructure projects. *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk* (pp. 1-14). Antwerpen: Delft University.
- Does, R. J., & Koning, H. d. (2008). De Praktijk van Lean Six Sigma. *Kwaliteit in de praktijk Cases 20* , 1-19.
- Does, R. J., Koning, H. d., & Mast, J. D. (2008). *Lean Six Sigma; Stap voor stap*. Alphen aan den Rijn: Beaumont Quality Publications BV.
- Emans, B. (2002). *Interviewen; Theorie, Techniek en Training*. Groningen: Noordhoff uitgevers bv.
- Flyvbjerg, B. (2007). Policy and planning for large-infrastructure projects: problems, causes, cures. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 34, 578-597.
- George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. New York, United States: McGraw-Hill Companies.
- Heijmans. (2012). Opgeroepen op November 28, 2012, van Overruimte:
<http://www.overruimte.nl/wp-content/uploads/Mindmap-Lean6sigma.pdf>
- Heurter, M. (2007). *Afstudeerscriptie: Van projectmanagement naar procesmanagement; De wisselwerking tussen context en project*. Rotterdam: Erasmus Universiteit.
- Heuveling, J., & Kerkhoven, J. (2012). *VOBN; Betonbouwgid 2012: Bouwen met betonmortel*. Nieuwegein: Schotanus&Jens.
- IBIS. (2012). *LSS Blackbelt opleiding*. Amsterdam: IBIS VU.
- IBIS. (2012). *LSS Greenbelt opleiding* . Amsterdam: IBIS VU.
- in 't Veld, J. (2007). *Analyse van bedrijfsprocessen; Een toepassing van denken in systemen*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Jaillon, L., Poon, C., & Chiang, Y. (2008). Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Elsevier; Waste Management* , 29, 309–320.
- Juran, J. M. (1989). *Juran on leadership for quality: an executive handbook*. Michigan, USA: Free Press.
- Ko, C.-H., Wang, W.-C., & Kuo, J.-D. (2011). Improving Formwork Engineering Using the Toyota Way. *Journal of Engineering, Project, and Production Management* , 1(1), 13-27.
- Maas, J., & Doeleman, H. (1997). *De kwaliteit van milieu- en arbozorg* . Deventer: Kluwer Bedrijfsinformatie B.V.
- Nave, D. (2002). How to compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints; A framework for choosing what's best for your organization. *Quality Progress* , 35(3) 73-78.
- Polat, G., & Ballard, G. (2004). *Waste in Turkish Construction: Need for Lean Construction Techniques*. Elsinore, Denmark: Proc. Twelfth Annual Conference of the International Group for Lean Construction.

- Prorail. (2012). *Publiek; Infraprojecten*. Opgeroepen op December 6, 2012, van Prorail:
<http://www.prorail.nl/Publiek/Infraprojecten/NoordBrabant/DenBosch/Pages/DenBosch.aspx>
- Saukkoriipi, L. (2004). *Perspective on non-value added activities: the case of piece-rate in the swedish construction industry*. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
- Schopman, J. (2006). *Eindrapport Modulair systeem*. Rosmalen: Heijmans Beton- en Waterbouw.
- STUBECO. (2005, Juli). *Studiewerk*. Opgeroepen op November 6, 2012, van Stubeco (Studievereniging Uitvoering Betonconstructies):
http://www.stubeco.nl/assets/files/Nederlandse_verklarende_bekistingswoordenlijst.pdf
- Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2007). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Den Haag: Boom Lemma uitgevers.
- Wamelink, J. (2010). *Inleiding Bouwmanagement*. Delft: VSSD.
- Wentzel, P., & Eekelen, A. v. (2005). *Jellema 10; Bouwproces; Ontwerpen*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- Wijnen, G., & Storm, P. (2007). *Projectmatig werken*. Houten: Het Spectrum.
- Zhao, Y., & Chua, D. (2003). *Relationship between productivity and non value adding activities*. Blacksburg, USA: Virginia polytechnic institute and state university.

8 Bijlagen

Algemeen

<i>Bijlage A</i>	<i>Organisatiebeschrijving</i>	<i>I</i>
<i>Bijlage B</i>	<i>Bouwproject vs bouwproces</i>	<i>II</i>
<i>Bijlage C</i>	<i>Opdeling Bekistingproces microniveau (Theorie)</i>	<i>IV</i>
<i>Bijlage D</i>	<i>Opbouw Bekisting</i>	<i>V</i>
<i>Bijlage E</i>	<i>Interview methodiek</i>	<i>VI</i>

Define

<i>Bijlage F</i>	<i>Project-charter: samenvatting</i>	<i>VII</i>
<i>Bijlage H</i>	<i>Batenanalyse</i>	<i>VIII</i>
<i>Bijlage I</i>	<i>Projectdetails</i>	<i>IX</i>
<i>Bijlage J</i>	<i>Belanghebbendenmatrix</i>	<i>X</i>

Measure

<i>Bijlage K</i>	<i>Meetformulier voorbeeld</i>	<i>XI</i>
<i>Bijlage L</i>	<i>Processtappen</i>	<i>XII</i>
<i>Bijlage M</i>	<i>Wachttijdenformulier</i>	<i>XIII</i>
<i>Bijlage N</i>	<i>Definitielijst</i>	<i>XIV</i>
<i>Bijlage O</i>	<i>Methodiek Valideren</i>	<i>XV</i>

Analyse

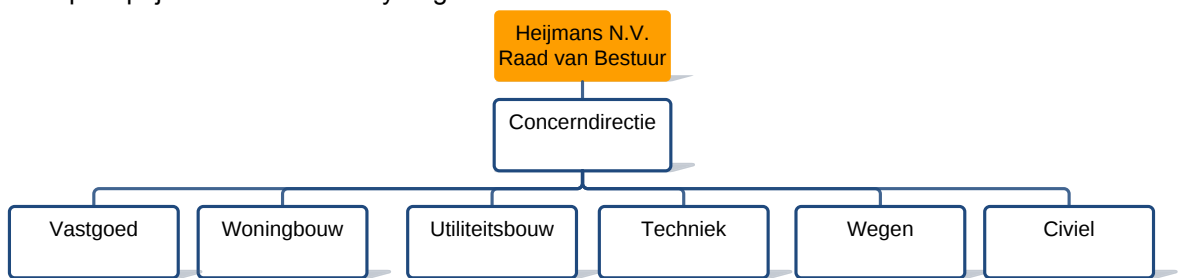
<i>Bijlage P</i>	<i>Methodiek Invloedsfactoren</i>	<i>XVI</i>
<i>Bijlage Q</i>	<i>Visgraad invloedsfactoren</i>	<i>XVII</i>
<i>Bijlage R</i>	<i>Procesprestatie</i>	<i>XVIII</i>

Bijlage A Organisatiebeschrijving

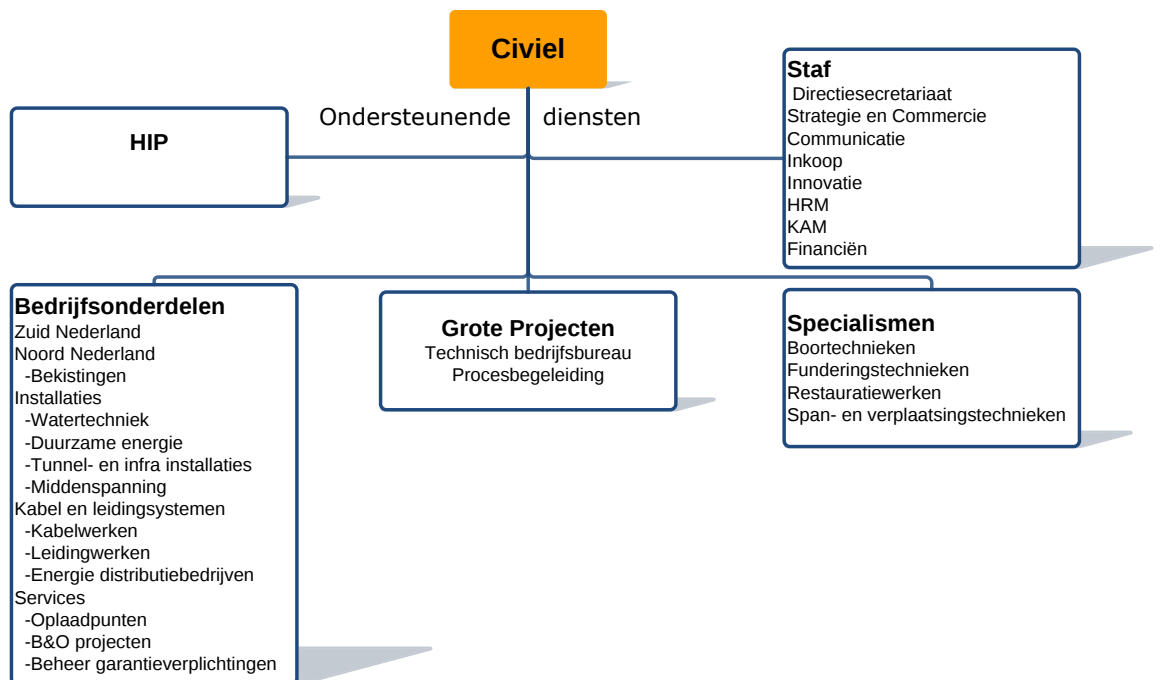
Heijmans N.V., in 1923 opgericht, is sinds 1993 een beursgenoteerd onderneming, actief binnen de sectoren Vastgoed, Woningbouw, Utiliteitsbouw, Techniek, Wegen en Civiel. Deze sectoren zijn toegespitst op 3 markten, namelijk Wonen (Vastgoed & Woningbouw), Werken (Utiliteitsbouw & Techniek) en Verbinden (Wegen & Civiel). Heijmans is actief in de landen Nederland, België en Duitsland. Eind 2010 telt Heijmans circa 8200 werknemers, met een jaaromzet van € 2,7 miljard. Het hoofdkantoor van Heijmans is gevestigd in Rosmalen.

Heijmans heeft als ambitie: "Streven naar de beste kwaliteit te leveren tegen de scherpste prijs voor alle stakeholders. Continuïteit, een goed bedrijfsresultaat en rendement vormen de basis hiervoor". Heijmans onderscheidt zich van anderen door disciplines te combineren, waardoor maximale synergie ontstaat tussen de sectoren en kennisgebieden. Op deze manier kunnen projecten gerealiseerd worden, van idee en ontwerp tot beheer en onderhoud. De drie speerpunten van Heijmans zijn: Kwaliteit, Duurzaamheid en Winstgevendheid.

Kwaliteit wordt gerealiseerd doormiddel van het Lean6sigma programma binnen Heijmans, wat het proces van een organisatie verbeterd. Uiteindelijk moet het aantal restpunten van elk project teruggedrongen worden naar nul. Duurzaamheid wordt gerealiseerd door via duurzamere werkprocessen de afvalproductie sterk te verminderen en door slim om te gaan met de inkoop van materialen. Winstgevendheid wordt bereikt door het streven naar: "De beste kwaliteit tegen de scherpste prijs te leveren door synergie en schaal maximaal te benutten".



Figuur 44 Organisatiestructuur



Figuur 45 Structuur afdeling civiel

Bijlage B Bouwproject vs bouwproces

In de literatuur wordt zowel de term 'bouwproject' als 'bouwproces' regelmatig gebruikt voor het realiseren van een opdracht. Beide termen geven echter een andere dimensie aan de opdracht. De termen 'project' en 'proces' worden als volgt omschreven:

Van Dale (2012)	Project: "1vooraf omschreven, gezamenlijk te verrichten werkzaamheden, leidend tot een eindproduct"
Van Dale (2012)	Proces: "1(juridisch) geschil tussen twee of meer partijen, dat aan de rechter wordt voorgelegd; geding, rechtszaak 2manier van behandeling 3verloop, ontwikkelingsgang."
(in 't Veld, 2007, p. 25)	Proces: "Een serie transformaties tijdens de doorvoer, als gevolg waarvan het ingevoerde element vernadert in plaats, stand, vorm, afmeting, functie, eigenschap of ander kenmerk."

Het onderscheid zit hem in de voorspelbaarheid van de te verrichten handelingen. Bij een 'project' zijn deze bekend, bij een 'proces' is er meer sprake van een ontwikkeling. In de literatuur wordt het onderscheid scherp gesteld, door het als twee tegenovergestelde zaken te beschouwen. In Figuur 46 wordt dat onderscheid zichtbaar.

PROJECT	PROCES
Eenmalige activiteit	Meervoudige activiteit
Eén doel	Diverse doelen
Beperkte duur	Lange oriëntatie
Heterogeen in handelingspatroon	Heterogeen, ambigue en dynamisch
Tijdelijke organisatie	Organisatie van interactie
Onzekerheid	Onzekerheid en ambiguïteit
Productie buiten de lijn, maar in organisatie	Productie in organisatorische arena's
Schendt gekende gebruiken	Zoekt nieuwe gebruiken
Verstoort lijnorganisaties	Genereert dynamiek, eist flexibiliteit

Figuur 46 Onderscheid 'project' en 'proces' (Teisman, 2001 in; (Wamelink, 2010, p. 44))

Als de termen 'project' en 'proces' aan de term 'management' worden gekoppeld wordt het verschil duidelijker. De termen 'projectmanagement' en 'procesmanagement' als volgt te omschrijven:

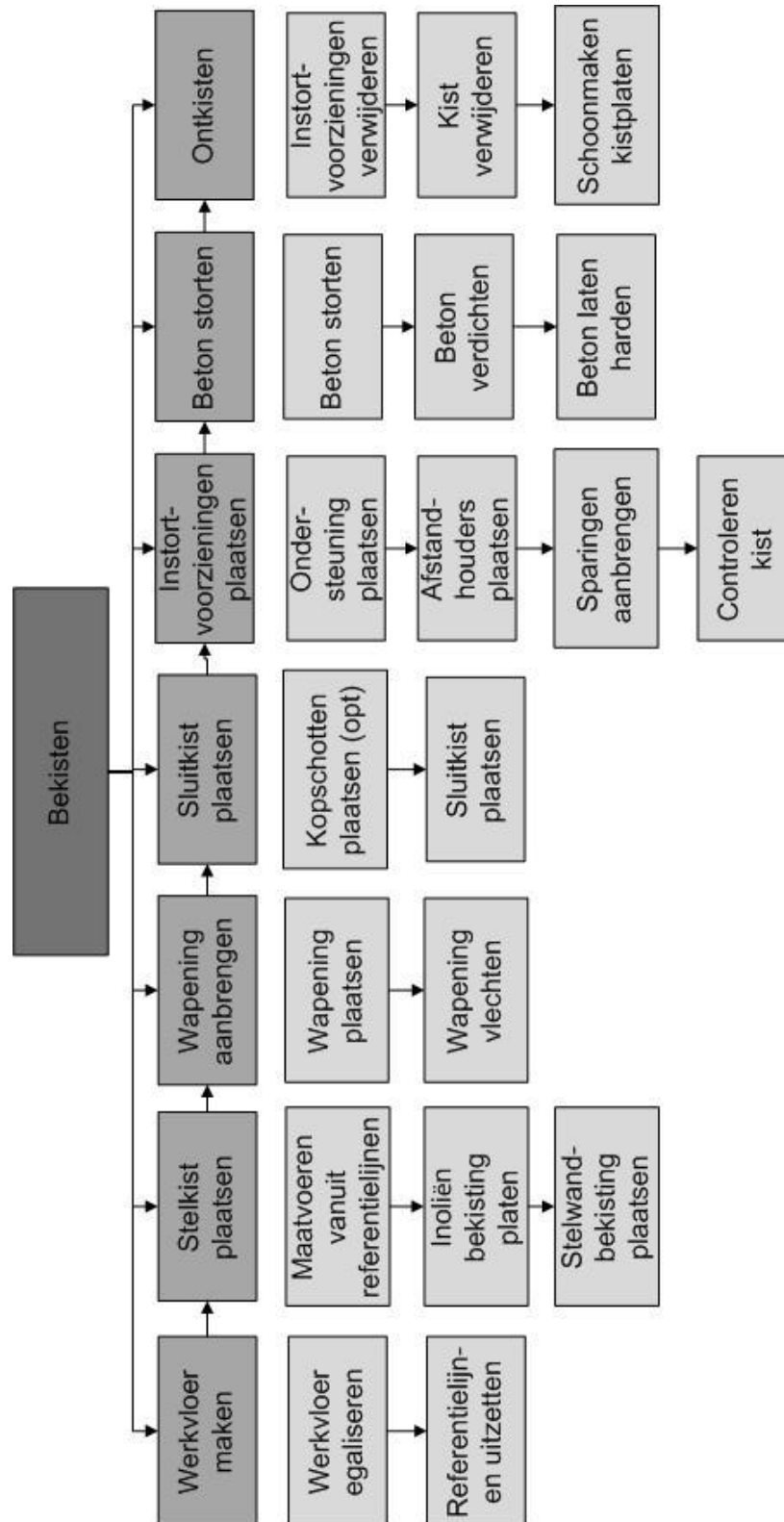
De Bruijn et al, (2004) in; Wamelink, (2010), p. 45	Procesmanagement: "De nadruk ligt op hoe iets tot stand komt – het proces - in plaats van op de inhoud - het resultaat – echter kunnen proces en inhoud niet van elkaar worden losgemaakt: processen produceren inhoud."
Lakbiach, (2006); in Heurter, (2007) p. 14	Projectmanagement: "Project management differs greatly from general management. Every project is planned, budgeted and controlled as a unique task."

Binnen de bouwwereld wordt een te realiseren opdracht steeds vaker benaderd als bouwproject opgebouwd uit deelprocessen, in plaats van deelprojecten. De reden is dat veel handelingen als processen kunnen worden gezien, vanwege de toepasbaarheid binnen verschillende projecten en doelen. Wentzel & Eekelen (2005) omschrijven de relatie als volgt:

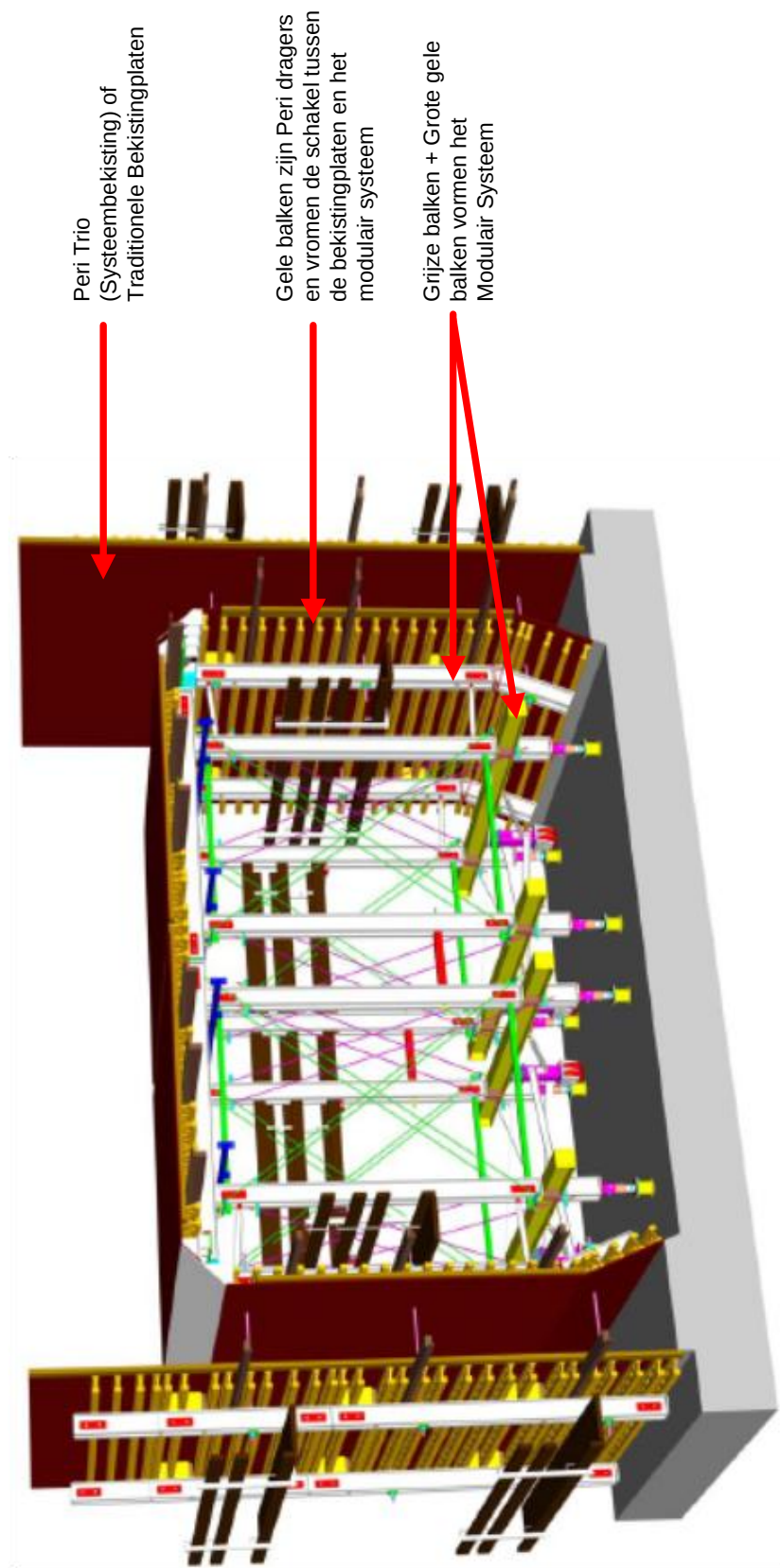
Wentzel & Eekelen (2005), p.5	“Bij een bouwproject is sprake van een redelijk gestandaardiseerd ontwikkelingsproces.”
Wentzel & Eekelen (2005), p.15	“Wanneer het voorwerp van het te behalen resultaat wordt aangeduid als object, dan geldt: project = proces + object.”
Wentzel & Eekelen (2005), p.13	De afbakening van projectmanagement voor bouwprojecten wordt aangegeven als ‘projectmanagement in het bouwproces.

Op basis van de literatuur kan gesteld worden dat elk bouwproject uniek is, maar wel repeterende processen bevat.

Bijlage C Opdeling Bekistingproces microniveau (Theorie)



Bijlage D Opbouw Bekisting



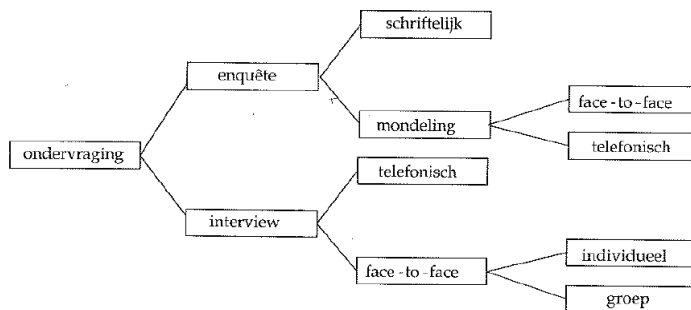
Opbouw bekisting van een tunnel. Tussen de bekistingplaten worden de wanden gestort.

Bijlage E Interview methodiek

Een onderdeel van de casestudy is het houden van korte interviews/gesprekken met betrokken personen in het bekistingproces. De personen fungeren als deskundigen en kunnen informanten genoemd worden, omdat ze informatie verschaffen over het proces (Emans, 2002, p. 26). In tegenstelling tot respondenten, die informatie verschaffen over zichzelf. Het houden van een goed interview vraagt echter een zekere mate van voorbereiding en vraagt een aantal keuzes. Deze keuzes zullen beargumenteert worden.

Waarom interviews en welke type.

Het houden van een interview is een ondervragingstechniek om informatie te weten te komen van personen (Verschuren & Doorewaard, 2007, p. 231). In de casestudy wordt gebruik gemaakt van een individueel face- to face interview. Een interview geniet in deze casestudy de voorkeur boven een enquête omdat het meer gelegenheid biedt tot het stellen van open vragen. Open vragen zijn in het onderzoek geschikt omdat de oplossingsrichtingen onbekend zijn en waarschijnlijk divers van aard. Het face- to face interview is geschikter dan het telefonisch interview, omdat meer gelet kan worden op gezichtsuitdrukkingen en lichaamstaal. Daardoor kunnen de antwoorden beter geïnterpreteerd worden. Ook is het eenvoudiger om door te vragen. Tenslotte wordt er gekozen om de interviews individueel af te nemen, vanwege het praktische feit dat de interviews tussen de werkzaamheden door gehouden moeten worden onder de timmerlieden. Er wordt verwacht dat er meer creativiteit in de oplossingen zit, omdat 'groupstink' wordt voorkomen. Bovendien sluit de setting beter aan bij de informanten en het vraagt om actiever te participeren. Het voordeel van een groepsinterview is dat mensen ook op elkaar kunnen reageren en dat kan de aard en herkenbaarheid van de problemen beter in kaart brengen.



Figuur 47 Varianten van ondervragingstechnieken

Setting van een interview

Er worden interviews gehouden met timmerlieden en de uitvoerder op de bouwplaats. De timmerlieden worden tussen de werkzaamheden door ondervraagd. Dat brengt met zich mee dat een geluidsopname praktisch niet goed uitvoerbaar is. Het voordeel van het gebruik van geluidsopname is dat de interviewer meer aandacht kan hebben bij het gesprek, het levert tijdens het interview tijdswinst op bij open vragen en er gaat in principe niets verloren van de antwoorden. Echter heeft het ook nadelen, de uitwerkingstijd is langer, door notities te maken tijdens het interview ontstaat er een beter beeld van de volledigheid van de antwoorden (Emans, 2002, p. 25). De interviews worden anoniem afgenomen, omdat het niet relevant is welke persoon de uitspraak doet. Het doel van het interview is namelijk om meer te weten te komen over het proces en niet zozeer de persoon. Wel zijn de functie en ervaringsjaren van belang om te verklaren waar de informatie vandaan komt en om het een zekere autoriteit mee te geven. Het voordeel van anonimiteit is ook dat de informant minder belemmering heeft of vrijuit te spreken. De interviews worden tussen de werkzaamheden door gehouden bij voorkeur in de pauzes. Daardoor zullen de gesprekken kort zijn.

Bijlage F Project-charter: samenvatting

Projecttitel:

Analyseren van productieve manuren binnen het bekistingproces met behulp van de eerste 3 stappen van lean6sigma: (DMA)

Proces of product dat wordt verbeterd:

Bekistingproces

Doel van het project:

Verhogen productiviteit timmerlieden binnen het bekistingproces

Verwachte baten:

Minder kosten, door verkorting bewerkingstijd, Beter inzicht in bewerkingstijd en oorzaken daarvan

Startdatum:

3-10-2012

Verwachte einddatum:

21-12-2012

Green/Black Belt

Diederick Floor

Akkoord-verklaringen

Green/Black Belt: Diederick Floor

Supplier:
(verantwoordelijk voor tijd GB/BB) Vincent de Waal

Champion:
(probleemeigenaar) Gert Besemer

User:
(nodig voor realisatie van de baten) Gert Besemer

Bijlage H Batenanalyse

<i>Te verbeteren karakteristieken (CTQ's)</i>	<i>Huidige prestatie</i>
Productieve uren per processtap	
<i>Baten van het project voor de klant</i>	
Verkorting procesduur Kans op eerder realiseren project	
<i>Baten voor de eigen organisatie</i>	
Minder kosten, door verkorting bewerkingstijd, Beter inzicht in bewerkingsduur en oorzaken daarvan	
<i>Verwachte investeringen</i>	
?	
<i>Harde baten (= directe bottom-line financiële besparingen)</i>	
Productiviteit stijgt met 5%, daardoor besparing van ruim €20000 per jaar voor Sporen Den Bosch	
Geef een berekening. Op welke verbeterfactor is de berekening gebaseerd?	
<i>Zachte baten (= risk avoidance en niet-monetaire baten)</i>	
Inzicht in wachttijden en bewerkingstijden per processtap op project Betere samenwerking Timmerlieden	
Voor risk avoidance: specificeer hoeveel geld op het spel staat.	
<i>Strategische baten (= het project is een enabler)</i>	
Het project onderzoekt of er reden is om het proces van bekisten te verbeteren Het project draagt bij aan het speerpunt winstgevendheid van Heijmans	
Het project maakt, samen met andere projecten, een nieuw product of nieuwe markt mogelijk. Specificeer de verwachte opbrengsten van het nieuwe product of de nieuwe markt.	

Bijlage I Projectdetails

Type project

- DMAIC** ☐ Verbeter het huidige proces/product **DIC** ☐ Alleen een verbeteractie
IDOV ☐ Ontwerp een nieuw proces/product
DMA ☒ Alleen een diagnose **Anders:**

Op te leveren door het project

- ☒ Oplossing / verbeterplan op papier
☐ Implementatie van de oplossing
☐ Realisatie van de baten

Toelichting:

Randvoorwaarden

Er wordt specifieke bekisting (wand, landhoofd etc.) gebruikt in het project
Bekisting maakt onderdeel uit van het kritieke pad van het bouwproces
Veiligheid moet voldoende zijn
Kwaliteit moet voldoende zijn

Binnen de scope

Bewerkingstijd per processtap
5 Processtappen tussen werkvloer maken
t/m storten, afhankelijk van project
Handelingsduur van timmermannen
Werkzaamheden van 5 Nov- 16 Nov 2012

Buiten de scope

Veiligheid van bekistingconstructie
Kwaliteit/robuustheid van bekisting
Werktempo van timmerlieden
Herbewerkingen
Handeling van (hoofd)uitvoerder
Beton storten
Processtap wapening
Wachttijd per processtap

Mogelijke complicaties / worst case scenario

Metten lastiger door parallel lopen van processtappen
Door vorst kunnen delen van het proces niet doorgaan
Timmerploeg is relatief groot, wat metten lastig maakt.
Timmermannen zijn ver van elkaar verwijderd zodat enkelen buiten gezichtsveld zijn.

Bijlage J Belanghebbendenmatrix

Belanghebbende		Belang	Groot tegenstander	Gematigd tegenstander	Laat het gebeuren	Helpt het laten gebeuren	Zorgt dat het gebeurt	Invloed (-, -, 0, +, ++)	Strategie
Champion	Project champion						O X	++	Resultaten bespreken, Betrekken bij oplossingen
Hoofduitvoerder	Moet zijn ploegen ermee laten werken						X		Resultaten bespreken, Betrekken bij oplossingen
Uitvoerder1	Geloofd niet in het onderzoek		O						Resultaten bespreken, Betrekken bij oplossingen
Uitvoerder 2	Moet zijn ploegen ermee laten werken						X		Resultaten bespreken, Betrekken bij oplossingen
Timmerploeg A	Evaren problemen, moeten ermee werken								Aandragen problemen, betrekken bij oplossingen
Timmerploeg B	Evaren problemen, moeten ermee werken						O X		Aandragen problemen, betrekken bij oplossingen
Timmerploeg C	Evaren problemen, moeten ermee werken						O X		Aandragen problemen, betrekken bij oplossingen
Timmerploeg D	Evaren problemen, moeten ermee werken						X		Aandragen problemen, betrekken bij oplossingen

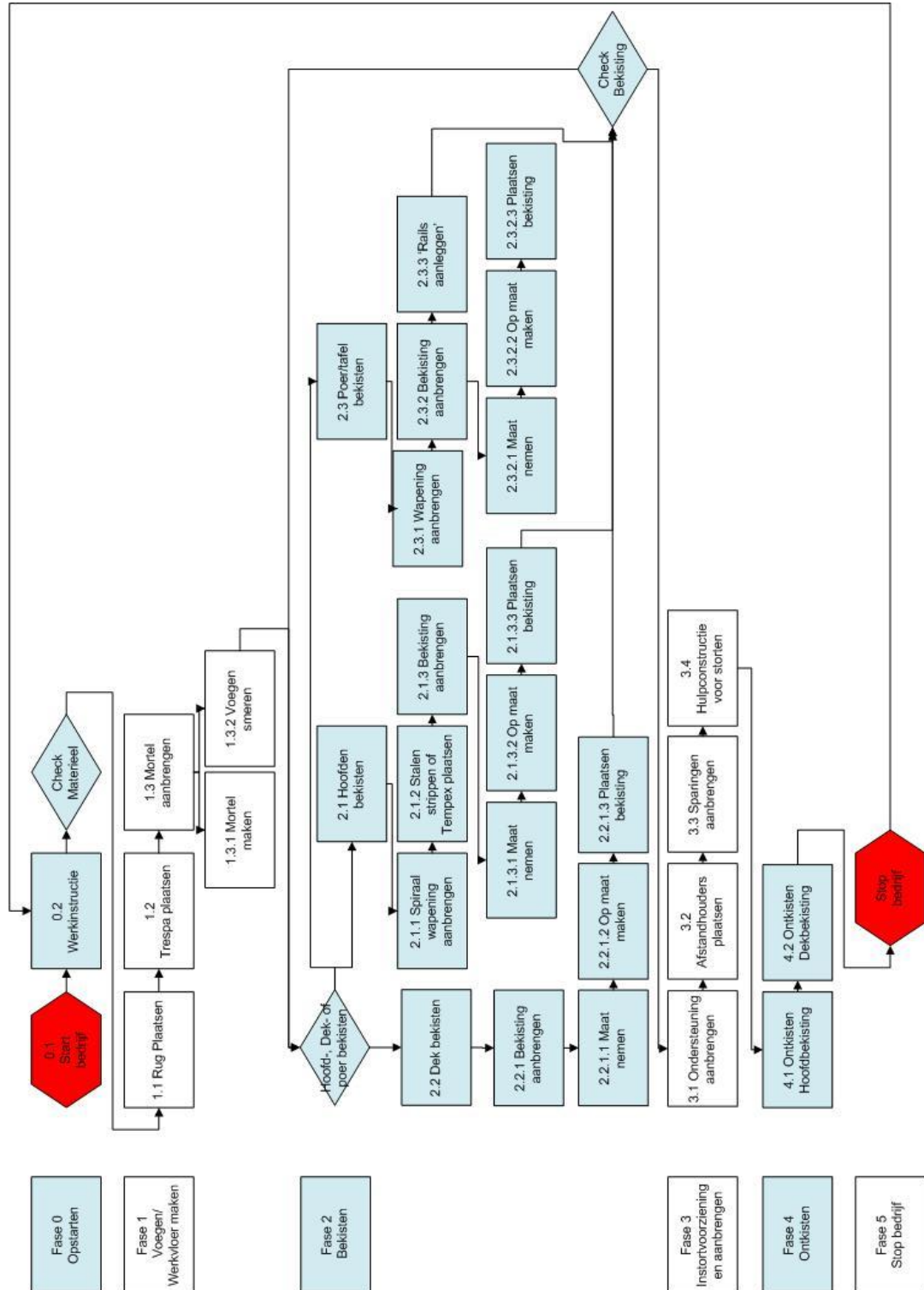
	Lage invloed	Hoge invloed
Positief belang	Champion	Ploeg A,B,C Uitvoerder 2 Hoofduitvoerder Ploeg D
Negatief belang		Uitvoerder 1

Bijlage K Meetformulier voorbeeld

Naam meter: D / S / W Project (Locatie): Sporen Den Bosch Fly-over / Landhoofd / Anders:
Datum meting .. / 11 / 2012 Weersomstandigheden: 10 graden, weinig wind, droog, bewolkt

Vakman	Vakman	Vakman	Vakman	Vakman	Processtap	Starttijd	Eindtijd	Verspilling	Herbewerking (j/n)	Opmerkingen
Wim	Daan					7:00:15	7:05:00	b6		Lopen keet naar werkplek
	x					7:00:15	7:05:00	b6		Lopen keet naar werkplek
	x				2133	7:05:00	7:08:19			Plaatsen kopschotten
	x				2133	7:05:00	9:00:00			Plaatsen kopschotten
	x					7:08:19	7:12:34	E3		Ophalen Hamer
	x				2133	7:12:34	9:00:00			Plaatsen kopschotten
	x					9:00:00	9:30:00			Reguliere pauze
	x					9:00:00	9:30:00			Reguliere pauze
	x					9:30:00	9:37:12	B2		
	x					9:30:00	9:37:12	B2		
	x				2133	9:37:12				Plaatsen kopschotten
	x				2133	9:37:12				Plaatsen kopschotten
					etc	etc				
					etc	etc				
Elke Activiteit wordt per regel beschreven. Er wordt per vakman de gehele dag gemeten. Dit is de enige manier waarop dit formulier ingevuld moet worden. Afwijkingen veroorzaken problemen met de validatie en risico op onverklaarbare verschillen bij de analyse van de data.										

Bijlage L Processtappen



Bijlage M Wachttijdenformulier

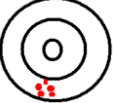
A Rust en Persoonlijke Verzorging	1 Toiletbezoek	2 Privé Telefoongesprek	3 Roken	4 Installatie op de werkplek	5 Privé gesprek op de bouwplaats	6 Opruimen
B Schaften	1 Start werk 07:00	2 Ochtend schaft 09:00-09:30	3 Koffie 11:00-11:10	4 Middag schaft 13:00-13:30	5 Einde werk 16:00	6 Looptijd werkplek/ keet
C Materiaal	1 Ophalen van materiaal dat nog niet aanwezig was op de werkplek.	2 Wachten op aanlevering van materiaal door kraan/uitvoerder	3 Aanvullen/bijvullen van te weinig materiaal op de werkplek.	4 Het verplaatsen van materiaal		
D Werk Instructie	1 Wachten op maatje als hij instructie krijgt.	2 Instructie krijgen die voor een herbewerking zorgt.	3 Het wachten op een inspectie voordat het proces verder gaat.	4 Wachten op andere ploeg/ maat	5 CAO	
E Materieel	1 Zoeken van gereedschap op de werk plek.	2 Het vervangen van gereedschap	3 Het ophalen van gereedschap.	4 Het verplaatsen van materieel	5 Wachten op de kraanmachinist.	
F Veiligheid	1 Het moment waar de voorbereidingen voor een volgende fase gereed moeten zijn en dit niet het geval is vanwege het missen van de benodigde veiligheidsmaatregelen.	2 Het moment wanneer uit een LMRA blijkt dat er extra activiteiten verricht moeten worden om het werk uit te kunnen voeren.	3 Veiligheidsvoorzieningen aantbrengen/aanpassen			

Bijlage N Definitielijst

Definitie	Omschrijving
Afstandhouders	Centerpennen en andere elementen die tussen de kistonderdelen worden geplaatst om de juiste afstand te bewaren.
Afwerklatten/ Trespa	Houten latten die tussen de schaaldelen geplaatst worden, ter voorkoming dat de mortel wegloopt.
CTQ	Critical To Quality; Het aspect waaraan gemeten wordt.
Looptijd	De looptijd tussen de keet en de werkplek. Deze zijn eenmalig gemeten.
Ondersteuning	Schoren, stempels, gordingen, staanders en alle elementen die aan de buitenkant van de kist worden geplaatst om de kist te ondersteunen
Pauze	De tijd tussen dat een werknemer de keet betreedt met werkkleding aan en dat de timmerman de keet verlaat met werkkleding aan. (verblijfsduur in de keet)
Ploeg	Een ploeg bestaat uit 2 a 3 timmermannen die gedurende een project met elkaar dezelfde opdrachten uitvoeren.
Productieve uren	De uren dat de timmerlieden noodzakelijke en/of waardetoevoegende handelingen uitvoert binnen het proces
Ronde ankers	Element op het hoofd binnen de fly-over, die de krachten opvangt van de dekken.
Rug	Materiaal dat tussen de voegen wordt geplaatst ter voorkoming dat de mortel wegloopt.
Uitvoerder	Leidinggevende over meerdere timmerploegen
Veiligheids- voorzieningen aanbrengen	Het plaatsen of verwijderen van voorzieningen die specifiek vanwege veiligheidsoverwegingen zijn geplaatst. Het gaat hier specifiek om op zich zelf losstaande elementen.
Voorman	Leidinggevende (timmerman) over een ploeg.
Werkinstructie geven/ontvangen	Communicatie tussen de uitvoerder en de timmerlieden over de te verrichten werkzaamheden, planning of tekeningen. Tijdens de werkzaamheden door praten vallen niet onder instructies.
Werkplek	Ruimte waarbinnen een timmerman actief is om bekistingonderdeel te plaatsen of te stellen. De werkplek omvat alle ruimte binnen een straal van ongeveer 12 meter vanaf de geplande locatie van het onderdeel. Gedurende de dag kan de werkplek veranderen.

Bijlage O Methodiek Valideren

Voordat de metingen worden gestart wordt de meetmethode gevalideerd. De validatie zorgt voor een grotere betrouwbaarheid en kwaliteit van de data. Hiermee wordt voorkomen dat er beslissingen worden genomen, gebaseerd op onbetrouwbare data. Does, Koning & Mast (2008, p.47) onderscheiden drie doelen van valideren:

Doel	Weergave	Te beoordelen
Beoordelen van de validiteit van het meetsysteem		Wordt de eigenschap van de CTQ gemeten die we willen meten?
Beoordelen van de systematische meetfout van het meetsysteem		Verskil tussen de werkelijke waarde en de gemeten waarde
Beoordelen van de toevallige meetfout.		Meetspreiding van metingen aan hetzelfde product of handeling

Voor validatie is allereerst van belang of het gemeten doel ook het doel is wat we willen weten. De tweede vraag is hoe bereiken de metingen het doel zo precies mogelijk.

Validatie meetsysteem

De meetmethode bepaald in hoeverre de eigenschap van de CTQ wordt gemeten, die we willen meten. Het is daarom van belang om van te voren te onderzoeken of de gewenste data wordt verkregen.

Systematische fout

De systematische fout is een structurele fout en kan worden opgespoord door middel van ijking van de meetprocedure. Daarvoor wordt de werkelijke waarde van de CTQ vergeleken met het gemiddelde van de meetwaarden.

Toevallige meetfout

In de metingen is het gewenst dat de toevallige meetfout/meetspreiding zo klein mogelijk is. De toevallige meetfout is een niet-systematische afwijking, die kan worden veroorzaakt door onnauwkeurig van het meetsysteem of geen goede afstemming tussen degenen die de metingen uitvoeren.

Bijlage P Methodiek Invloedsfactoren

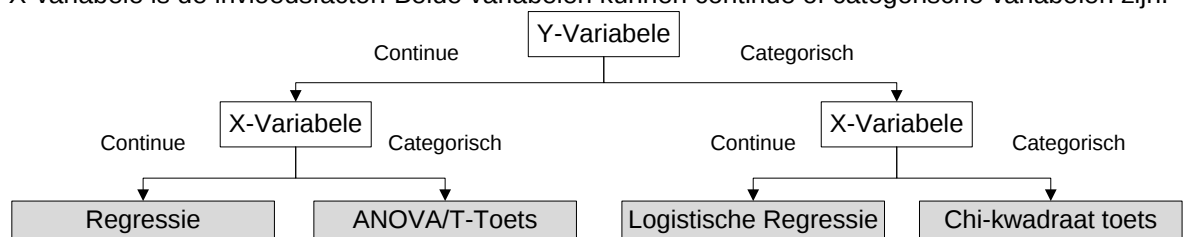
Om de invloedsfactoren te bepalen zijn er diverse mogelijkheden. De meest gebruikte methodes worden hieronder beschreven.

WOW en BOB

De Worst of Worst (WOW) en Best of Best (BOB) analyse zoomt in op de uitschieters van een regelkaart. Door de uitschieters in de context te bekijken, kunnen mogelijke invloedsfactoren ontdekt worden.

Verbanden leggen

Binnen de dataset wordt gezocht naar verbanden tussen de data en invloedsfactoren. De mate van invloed wordt vastgesteld door het toetsen van hypothesen. Daarvoor is het belangrijk een onderscheid te maken tussen de soort data en invloedfactoren. De Y-variabele is de dataset en de X-variabele is de invloedsfactor. Beide variabelen kunnen continue of categorische variabelen zijn.



De metingen worden in het statisch programma minitab uitgevoerd. De meest gebruikte toetsen in deze casestudy zijn de regressie en ANOVA toetsen.

Regressieanalyse

In de dataset wordt een enkelvoudige lineaire regressie analyse uitgevoerd. De Regressie geeft aan of er sprake is van een verband tussen de Y-variabele en X-variabele. Beide variabelen zijn continue.

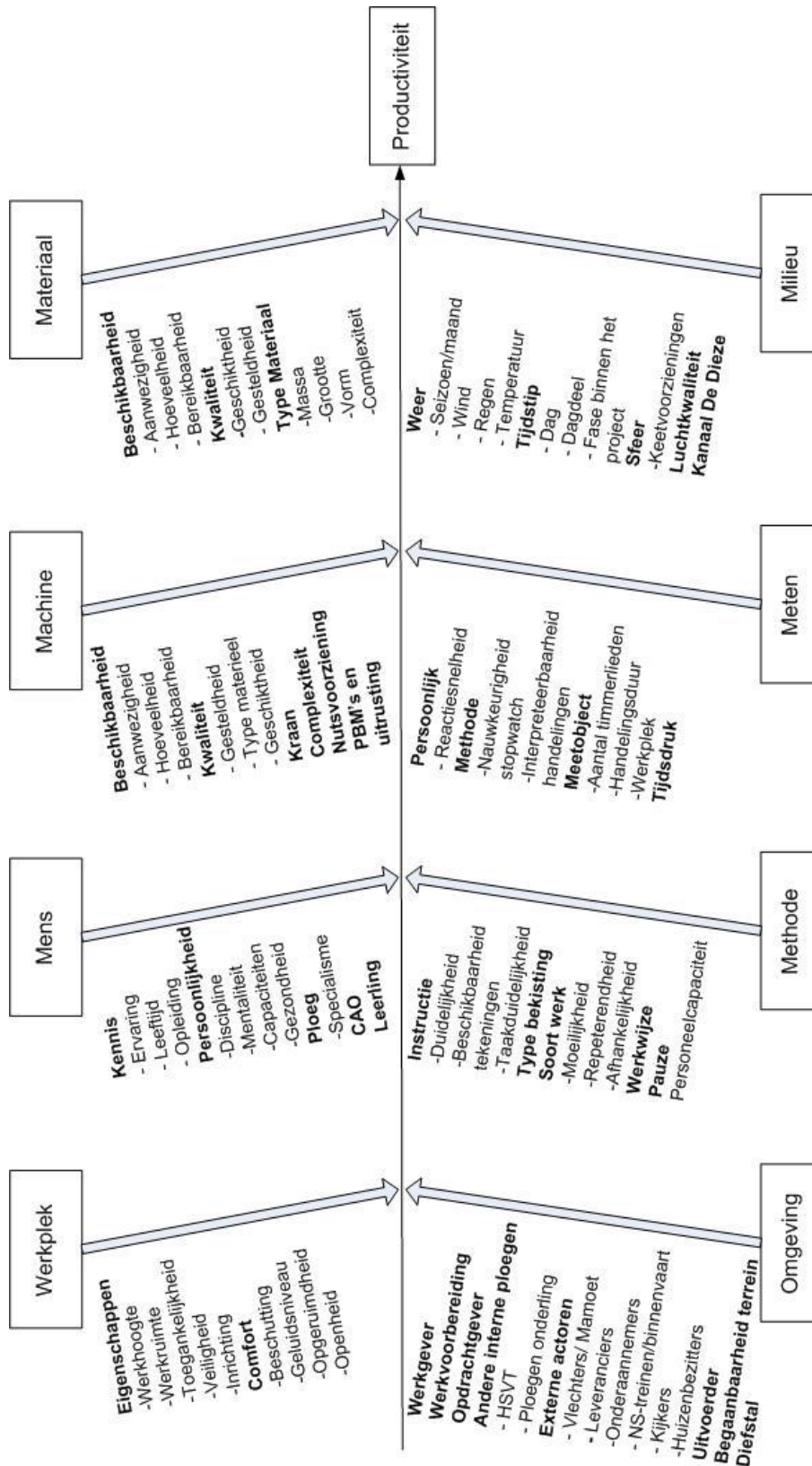
ANOVA/ T-Toets

De ANOVA (Analyse Of Variance) toets wordt toegepast op normaal-verdeelde data met meer dan drie categorieën binnen de X-variabele. Indien er twee categorieën zijn wordt de T-Toets uitgevoerd. De ANOVA en T-Toets, worden gebruikt om aan te tonen of er een significant verschil in de gemiddelden aanwezig is of in de spreiding. Indien de data niet normaal verdeeld is wordt de Kruskal Wallis toets gebruikt in plaats van de ANOVA analyse. Deze voert een data analyse uit op basis van de mediaan. Voor niet normaal verdeelde data binnen de T-Toets wordt de Mann-Whitney toets gebruikt.

Invloedsfactoren gesprekken experts

Door gesprekken met actoren die projectspecifieke of processpecifieke kennis hebben kunnen mogelijke invloedsfactoren bepaald worden. Deze gesprekken leveren input voor mogelijke verbanden. Deze kunnen eventueel getoetst worden met behulp van minitab.

Bijlage Q Visgraad invloedsfactoren



Bijlage R Procesprestatie

In deze bijlage worden de stappen van de procesprestatie uitgewerkt. De procesprestatie is onderdeel van de LSS-fase 'analyse'. In de bijlage wordt, net als in de casestudie, de LSS-structuur gevolgd. De volgende zaken worden doorlopen:

Stap 3 Huidige prestatie & proces

- § 3.1 Regelkaart
- § 3.2 Pareto

Stap 4 Mogelijke oorzaken onderzoeken

- § 4.1 BOB vs WOW
- § 4.2 Ploegen onderling (1)
- § 4.3 Ploegen onderling (2)
- § 4.4 Timmerlieden binnen een ploeg
- § 4.5 Dagdeel vs Dagproductiviteit
- § 4.6 Gem. Handelingstijd vs Dagproductiviteit
- § 4.7 # Handelingen vs Dagproductiviteit
- § 4.8 Werkinstructie vs Dagproductiviteit

heijmans
LEANSIOMA

Analyse van productieve manuren binnen het bekistingproces (DMA)

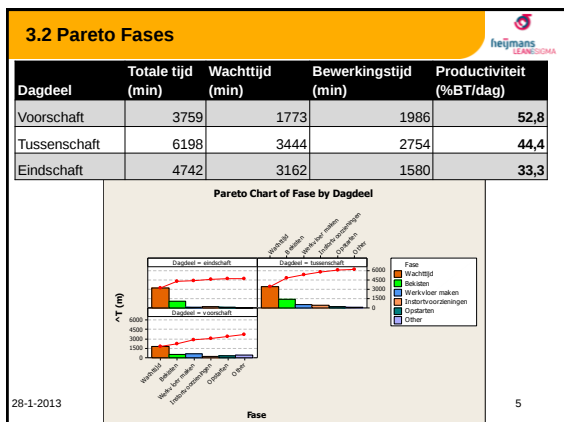
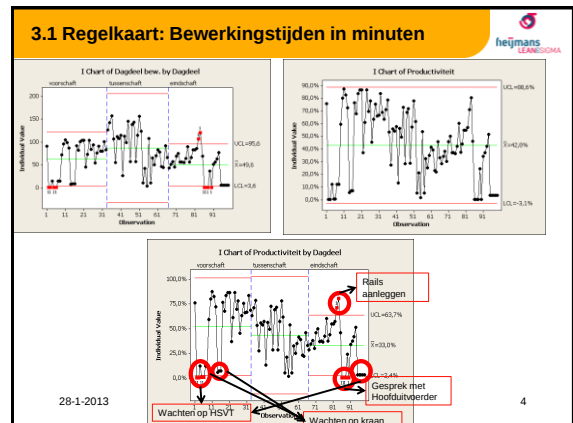
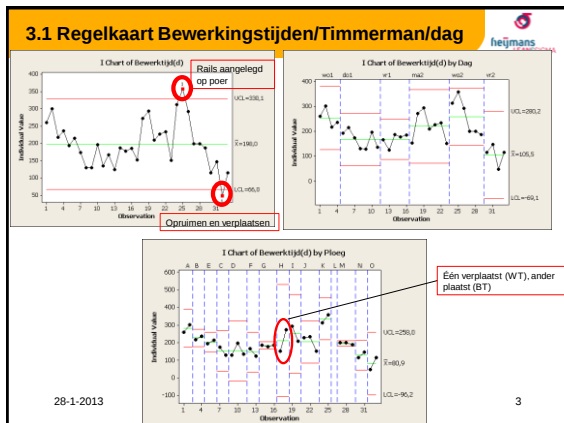
Bijlage Q Procesprestatie

Datum of versie: 28-1-2013

heijmans
LEANSIOMA

STAP 3 DMAIC

28-1-2013 2



heijmans
LEANSIOMA

STAP 4 DMAIC

28-1-2013 6

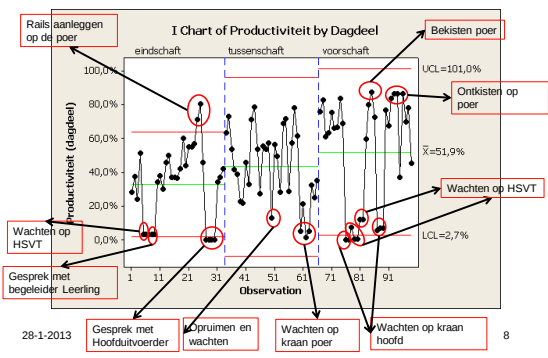
Onderzochte verbanden

- 4.1 BOB vs WOW
- 4.2 Ploegen onderling (1)
- 4.3 Ploegen onderling (2)
- 4.4 Timmerlieden binnen een ploeg
- 4.5 Dagdeel vs Dagproductiviteit
- 4.6 Gem. Handelingstijd vs Dagproductiviteit
- 4.7 # Handelingen vs Dagproductiviteit
- 4.8 Werkinstructie vs Dagproductiviteit

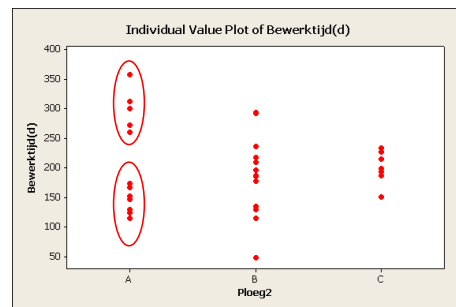
28-1-2013

7

4.1 BOB en WOW



Stap 1 → Graph → Indiv. Value plot



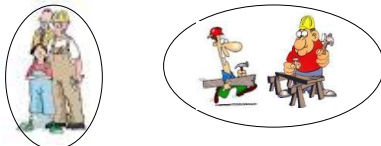
28-1-2013

10

4.2 Hypothese

Hypothese 1: De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag

Hypothese 2: De ploegen onderling hebben geen significant verschil in spreiding.



28-1-2013

9

Stap 2 ANOVA's

One-way ANOVA: Bewerktijd(d) versus Ploeg2

Source	DF	SS	MS	F	P
Ploeg2	2	3336	1668	0,35	0,707
Error	30	142707	4757		
Total	32	146043			

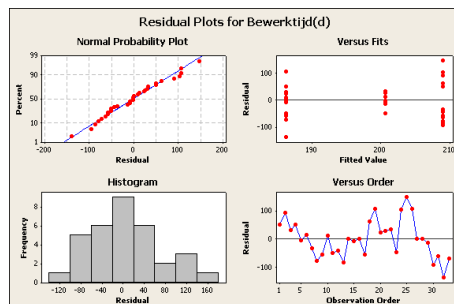
S = 68,97 **R-Sq = 2,28%** R-Sq(adj) = 0,00%

Conclusie: Er zit geen verband tussen gem. bewerkingstijd per dag tussen de 3 ploegen onderling.

28-1-2013

11

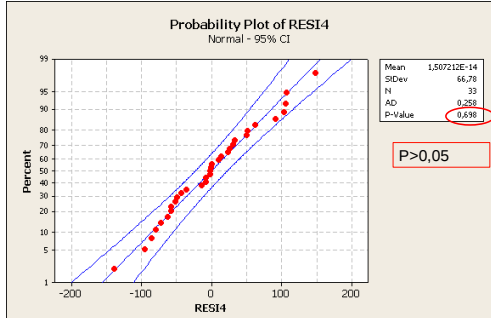
Stap 3, Residuen normaal verdeeld?



28-1-2013

12

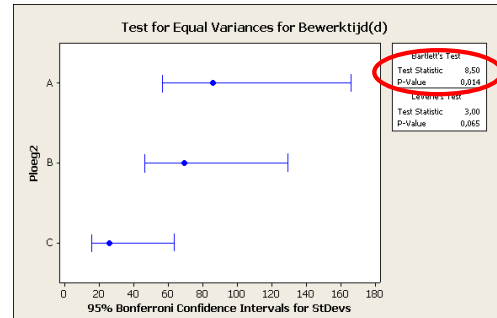
Stap 3 Normaliteitstest op Residuen



28-1-2013

13

Stap 4. Significant verschil in variantie

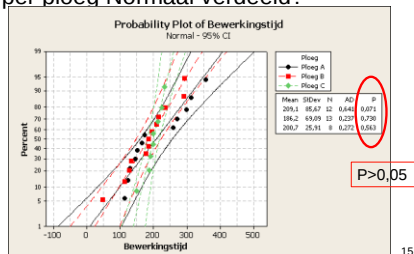


28-1-2013

14

Stap 5 Verschillen onderling uitdiepen

Verschillen uitdiepen met T-Toets
Data per ploeg Normaal verdeeld?



28-1-2013

15

Stap 6 T-toets Gemiddelde

Two-Sample T-Test and CI: Ploeg A; Ploeg B

N Mean StDev SE Mean

Ploeg A 12 209,1 85,7 25

Ploeg B 13 186,2 69,1 19

Difference = mu (Ploeg A) - mu (Ploeg B)

Estimate for difference: 22,9 / 95% CI for difference: (-41,3; 87,0)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,74 P-Value 0,468 DF = 23

P>0,05

Two-Sample T-Test and CI: Ploeg B; Ploeg C

N Mean StDev SE Mean

Ploeg B 13 186,2 69,1 19

Ploeg C 8 200,7 25,9 9,2

Difference = mu (Ploeg B) - mu (Ploeg C)

Estimate for difference: -14,5 / 95% CI for difference: (-68,2; 39,2)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,56 P-Value 0,579 DF = 19

P>0,05

28-1-2013

16

Stap 6 T-toets Gemiddelde

Two-Sample T-Test and CI: Ploeg C; Ploeg A

N Mean StDev SE Mean

Ploeg C 8 200,7 25,9 9,2

Ploeg A 12 209,1 85,7 25

Difference = mu (Ploeg C) - mu (Ploeg A) / Estimate for difference: -8,4

95% CI for difference: (-74,4; 57,7)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,27 P-Value 0,793 DF = 18

P>0,05

28-1-2013

17

Stap 7 Significant verschil in spreiding?

Test and CI for Two Variances: Ploeg A; Ploeg B

Null hypothesis Sigma(Ploeg A) / Sigma(Ploeg B) = 1

Alternative hypothesis Sigma(Ploeg A) / Sigma(Ploeg B) not = 1

Significance level Alpha = 0,05

Dag

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	11	12	1,54	0,471
Levene's Test (any continuous)	1	23	0,89	0,354

P>0,05

Test and CI for Two Variances: Ploeg B; Ploeg C

Null hypothesis Sigma(Ploeg B) / Sigma(Ploeg C) = 1

Alternative hypothesis Sigma(Ploeg B) / Sigma(Ploeg C) not = 1

Significance level Alpha = 0,05

Dag

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	12	7	7,11	0,015
Levene's Test (any continuous)	1	19	3,77	0,067

P<0,05

28-1-2013

18

Stap 7 Significant verschil in spreiding?

Test and CI for Two Variances: Ploeg C; Ploeg A

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Ploeg C}) / \text{Sigma}(\text{Ploeg A}) = 1$
 Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Ploeg C}) / \text{Sigma}(\text{Ploeg A}) \text{ not } = 1$
 Significance level $\text{Alpha} = 0,05$

Dag

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	7	11	0,09	0,004
Levene's Test (any continuous)	1	18	5,68	0,028

$P < 0,05$

28-1-2013

19

Conclusies

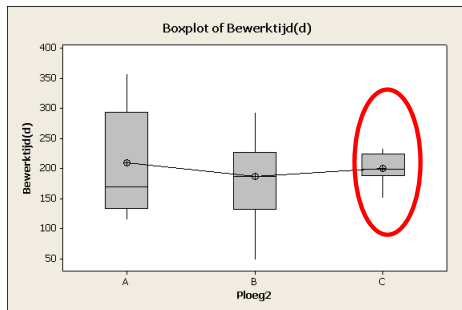
- Hypothese 1: De ploeg heeft geen invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag
 - Hypothese 2: De ploeg heeft geen invloed op de spreiding van de bewerkingstijd per dag.
- H1 Aangenomen → Geen significant verband tussen gemiddelden van ploegen onderling
 - H2 verworpen → Binnen ploegen is er een significante spreiding aanwezig, waarbij ploeg C de kleinste spreiding heeft en ploeg A en B de grootste.

Verklaring: Ploeg C doet andere activiteiten

28-1-2013

20

Conclusie



28-1-2013

21

4.3 Hypothese

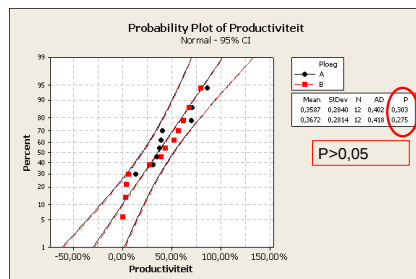
Hypothese 1: De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dagdeel van de ploegen A en B samen.

Hypothese 2: De ploegen A en B onderling hebben geen significant verschil in spreiding.

28-1-2013

22

Stap 1 Test op Normaliteit



$P > 0,05$

28-1-2013

23

Stap 2 T-toets Gemiddelde

Two-Sample T-Test and CI: Ploeg A; Ploeg B

Two-sample T for Ploeg A vs Ploeg B

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ploeg A	12	0,359	0,284	0,082
Ploeg B	12	0,367	0,281	0,081

Difference = $\mu(\text{Ploeg A}) - \mu(\text{Ploeg B})$

Estimate for difference: -0,009

95% CI for difference: (-0,248; 0,231)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,07 P-Value = 0,942 DF = 22

$P > 0,05$

28-1-2013

24

Stap 3 Significant verschil in spreiding?

Test and CI for Two Variances: Ploeg A; Ploeg B

Null hypothesis $\text{Sigma(Ploeg A)} / \text{Sigma(Ploeg B)} = 1$
 Alternative hypothesis $\text{Sigma(Ploeg A)} / \text{Sigma(Ploeg B)} \text{ not } = 1$
 Significance level $\text{Alpha} = 0,05$

Dag

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	11	11	1,02	0,977
Levene's Test (any continuous)	1	22	0,09	0,766

P>0,05

28-1-2013

25

Conclusies

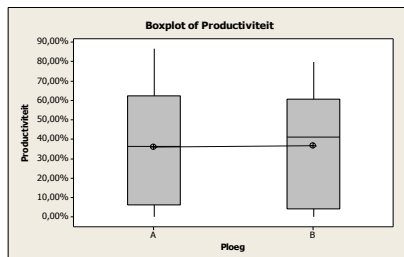
1. Hypothese 1: De ploeg heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag van ploeg A en B
2. Hypothese 2: De ploegen A en B onderling hebben geen significant verschil in spreiding.

Beide hypothesen aangenomen, er zijn dus geen verschillen tussen ploeg A en B.

28-1-2013

26

Conclusie



28-1-2013

27

4.4 Hypothese

Hypothese 1: De timmerlieden binnen een ploeg hebben geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit van de ploeg.

Hypothese 2: De timmerlieden binnen een ploeg hebben onderling geen significant verschil in spreiding.



28-1-2013

28

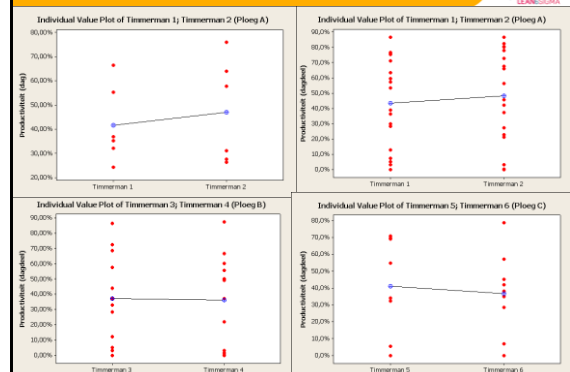
Aanpak

- Vergelijking op productiviteit per dagdeel
- Vergelijking tussen 2 timmermannen die op dezelfde dagen werken.
- Leerlingen worden niet meegenomen

28-1-2013

29

Stap 1: Individual value plot



Stap 2 T-toets

Two-Sample T-Test and CI: Timmerman 1; Timmerman 2 (Ploeg A)

Two-sample T for Timmerman 1 vs Timmerman 2

Dag

	N	Mean	StDev	SE Mean
Timmerman 1	6	0,418	0,159	0,065
Timmerman 2	6	0,472	0,215	0,088

Difference = mu (Timmerman 1) - mu (Timmerman 2)
 Estimate for difference: -0,053 / 95% CI for difference: (-0,295; 0,190)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,49 P-Value = 0,635 DF = 10

P>0,05

Dagdeel

	N	Mean	StDev	SE Mean
Timmerman 1	18	0,434	0,291	0,069
Timmerman 2	18	0,484	0,302	0,071

Difference = mu (Timmerman 1) - mu (Timmerman 2)
 Estimate for difference: -0,0494 / 95% CI for difference: (-0,2504; 0,1515)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0,50 P-Value = 0,620 DF = 34

P>0,05

28-1-2013

31

Stap 2 T-toets

Two-Sample T-Test and CI: Timmerman 3; Timmerman 4 (Ploeg B)

Dagdeel

	N	Mean	StDev	SE Mean
Timmerman 3	12	0,373	0,292	0,084
Timmerman 4	12	0,361	0,300	0,087

Difference = mu (Timmerman 3) - mu (Timmerman 4)
 Estimate for difference: 0,012 / 95% CI for difference: (-0,239; 0,263)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,10 P-Value = 0,920 DF = 22

P>0,05

Two-Sample T-Test and CI: Timmerman 5; Timmerman 6 (Ploeg C)

Dagdeel

	N	Mean	StDev	SE Mean
Timmerman 5	9	0,412	0,269	0,090
Timmerman 6	9	0,368	0,239	0,080

Difference = mu (Timmerman 5) - mu (Timmerman 6)
 Estimate for difference: 0,043 / 95% CI for difference: (-0,214; 0,298)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,36 P-Value = 0,723 DF = 16

P>0,05

28-1-2013

32

Stap 3 Significant verschil in spreiding?

Test and CI for Two Variances: Timmerman 1; Timmerman 2 (Ploeg A)

Null hypothesis Sigma(Timmerman 1) / Sigma(Timmerman 2) = 1
 Alternative hypothesis Sigma(Timmerman 1) / Sigma(Timmerman 2) not = 1
 Significance level Alpha = 0,05

Dag

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	5	5	0,55	0,522
Levene's Test (any continuous)	1	10	1,89	0,199

P>0,05

Dagdeel

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	17	17	0,93	0,877
Levene's Test (any continuous)	1	34	0,03	0,870

P>0,05

28-1-2013

33

Stap 3 Significant verschil in spreiding?

Test and CI for Two Variances: Timmerman 3; Timmerman 4 (Ploeg B)

Null hypothesis Sigma(Timmerman 3) / Sigma(Timmerman 4) = 1
 Alternative hypothesis Sigma(Timmerman 3) / Sigma(Timmerman 4) not = 1
 Significance level Alpha = 0,05

Dagdeel

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	11	11	0,95	0,928
Levene's Test (any continuous)	1	22	0,07	0,793

P>0,05

Test and CI for Two Variances: Timmerman 5; Timmerman 6 (Ploeg C)

Null hypothesis Sigma(Timmerman 5) / Sigma(Timmerman 6) = 1
 Alternative hypothesis Sigma(Timmerman 5) / Sigma(Timmerman 6) not = 1
 Significance level Alpha = 0,05

Dagdeel

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	8	8	1,27	0,745
Levene's Test (any continuous)	1	16	0,34	0,566

P>0,05

28-1-2013

34

Conclusie

Hypothese 1: De timmerlieden binnen een ploeg hebben geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit van de ploeg.

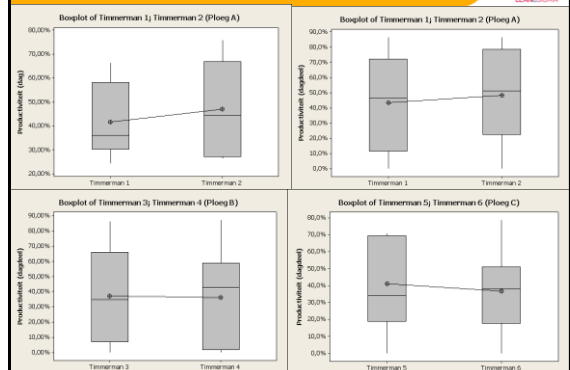
Hypothese 2: De timmerlieden binnen een ploeg hebben onderling geen significant verschil in spreiding.

Beide hypothesen aangenomen voor alle ploegen

28-1-2013

35

Conclusie



4.5 Hypothese

Hypothese 1: Er zit geen verband tussen het dagdeel en de productiviteit van de timmerlieden

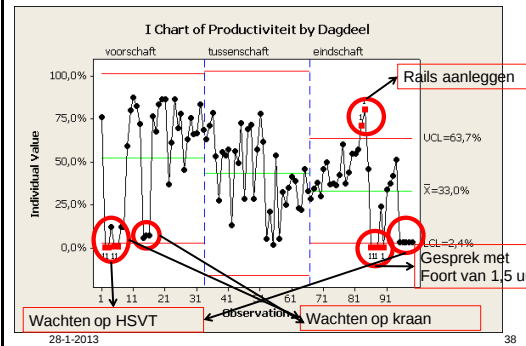
Hypothese 2: Tussen de dagdelen zit geen significant verschil in spreiding.



28-1-2013

37

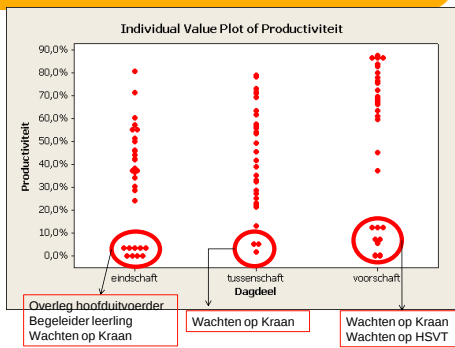
Regelkaart: Bewerkingstijden in procenten



28-1-2013

38

Stap 1 Individual Value plot



28-1-2013

39

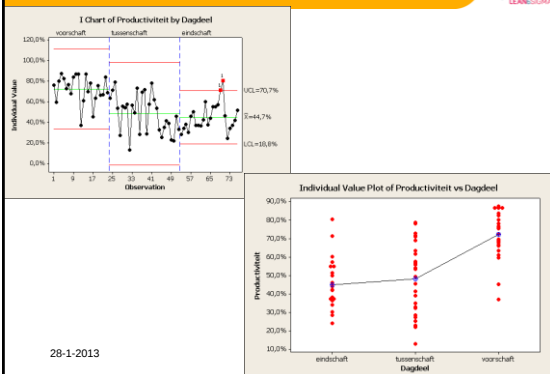
Data keuze

- Dagproductiviteit <20 %, met wachttijd veroorzaakt voor >80% door één activiteit → elimineren.
- Reden: Te grote invloed op dataset en heeft in feite niet veel met het dagdeel te maken.

28-1-2013

40

Uitschieters elimineren



28-1-2013

Stap 2 Anova

One-way ANOVA: Productiviteit versus Dagdeel

Source	DF	SS	MS	F	P
Dagdeel	2	1,0612	0,5306	21,84	0,000
Error	73	1,7736	0,0243		
Total	75	2,8348			

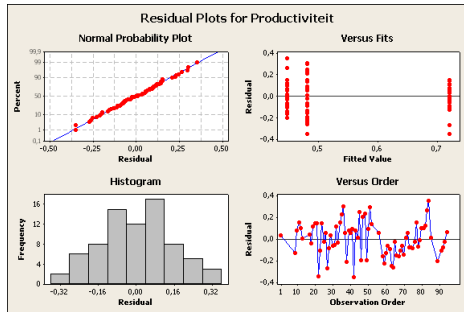
S = 0,1559 **R-Sq = 37,44%** R-Sq(adj) = 35,72%

Conclusie verband is redelijk,

28-1-2013

42

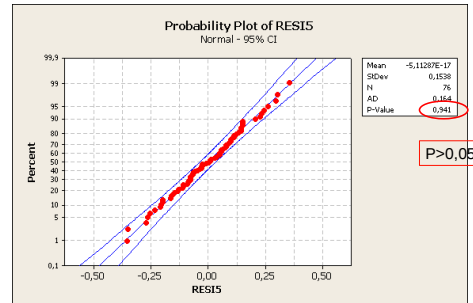
Stap 3 Residuen, normaal verdeeld?



28-1-2013

43

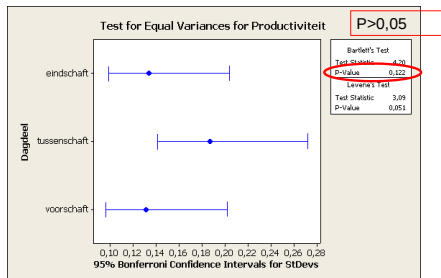
Normaal verdeeld?



28-1-2013

44

Stap 4. Significant verschil in spreiding?

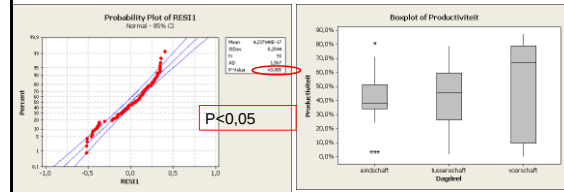


28-1-2013

45

Stap 5 Extra test op alle data

- Data Inclusief wachttijd Kraan/HSVT
- Data niet normaal verdeeld → Kruskal Wallis Test



28-1-2013

46

Stap 6 Kruskal Wallistest op alle data

Kruskal-Wallis Test: Productiviteit versus Dagdeel

Kruskal-Wallis Test on Productiviteit

Dagdeel	N	Median	Ave Rank	Z
eindschicht	27	0,3807	40,4	-1,51
tussenschicht	33	0,4555	44,0	-0,79
voorschicht	33	0,6667	55,4	2,22
Overall	93		47,0	

H = 5,21 DF = 2 P = 0,074 P>0,05
 H = 5,21 DF = 2 P = 0,074 (adjusted for ties)

28-1-2013

47

Stap 5. Conclusies

Hypothese 1: Er zit geen verband tussen het dagdeel en de productiviteit van de timmerlieden. → Verworpen

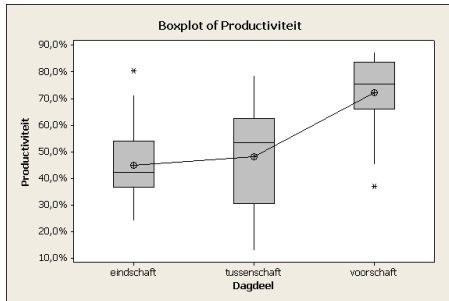
Hypothese 2: Tussen de dagdelen zit geen significant verschil in spreiding. → aangenomen

Conclusie: In de voorschicht zijn de timmerlieden het meest productief, in de tussenschicht en eindschicht het minst. Tussen de dagdelen wordt er even constant gewerkt. Echter de Kruskal Wallis test neemt bij alle data (zonder elimineren) Hypothese 1 wel aan.

28-1-2013

48

Stap 5. Conclusie



28-1-2013

49

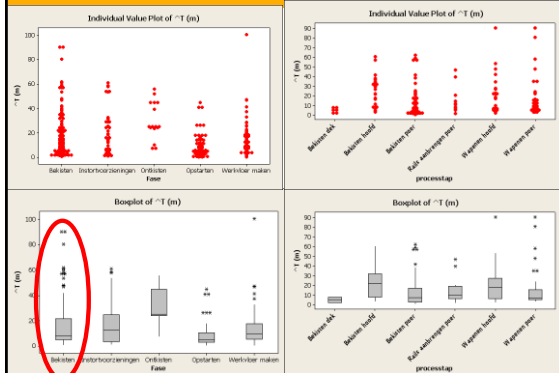
4.6 Hypothese

Hypothese: De gemiddelde handelingsduur heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag

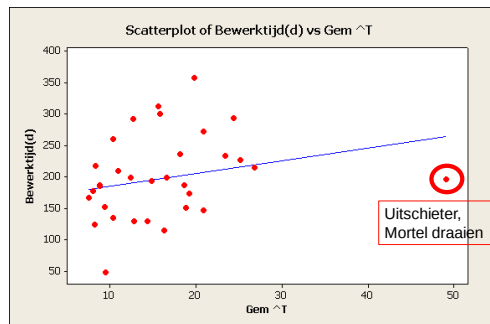
28-1-2013

50

Prestatie



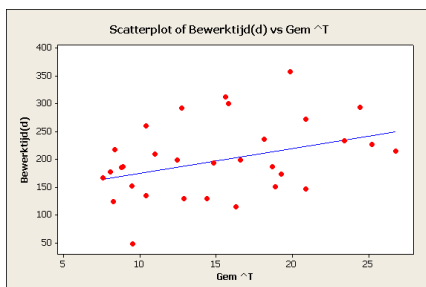
Regressies



28-1-2013

52

Uitschieters geëlimineerd



28-1-2013

53

Regressie

Regression Analysis: Bewerktijd(d) versus Gem ^T

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	18642	18642	4,39	0,045
Residual Error	30	127399	4247		
Total	31	146041			

P<0,05

S = 65,1662 R-Sq = 12,8% R-Sq(adj) = 9,9%

Conclusie: Er zit een significant verband tussen bewerkingstijd per dag en de gemiddelde handelingsduur

28-1-2013

54

Conclusies

1. Hypothese 1: De gemiddelde handelingsduur heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag
 - H1 verworpen → Een significant verband tussen gemiddelde duur van een willekeurige bewerkingshandeling en de bewerkingstijd per dag.
 - De gem. handelingsduur neemt toe naarmate de gem. dagproductiviteit toeneemt. Het verband is echter zwak. Slechts 13 procent wordt verklaard.

28-1-2013

55

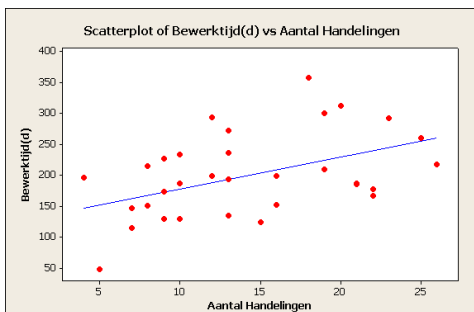
4.7 Hypothese

Hypothese: Het aantal handelingen op een dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag

28-1-2013

56

Regressies



28-1-2013

57

Regressie

Regression Analysis: Bewerktijd(d) versus Aantal Handelingen

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	126,05	26,50	4,76	0,000
Aantal Handelingen	5,142	1,736	2,96	0,006

P<0,05

S = 60,5978 **R-Sq = 22,1%** R-Sq(adj) = 19,5%

Conclusie: Met een betrouwbaarheid van 99,4% kan er gezegd worden dat er een significant verband is tussen de gemiddelde bewerkingstijd per dag zit en het aantal handelingen dat er plaatsvindt. Het verband is klein (22,1%) vd tijden wordt ermee verklaard

28-1-2013

58

Conclusies

1. Hypothese 1: Het aantal handelingen op een dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde bewerkingstijd per dag
 - H1 verworpen → Een significant verband tussen gemiddelde aantal handelingen en de bewerkingstijd per dag.
 - Het aantal handelingen neemt toe naarmate de gem. dagproductiviteit toeneemt. Het verband is echter niet heel sterk. Slechts 22 procent wordt verklaard,

28-1-2013

59

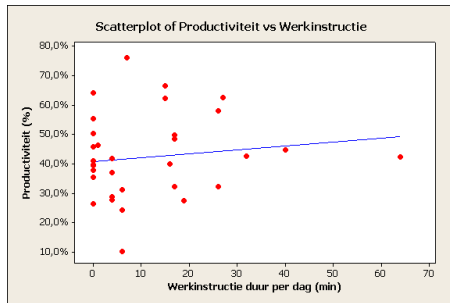
4.8 Hypothese

Hypothese: De gemiddelde werkinstructie duur per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag

28-1-2013

60

Regressies



28-1-2013

61

Regressie

Regression Analysis: Productiviteit_5 versus Werkinstructie_1

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,40619	0,03242	12,53	0,000
Werkinstructie_1	0,001321	0,001776	0,74	0,463

S = 0,144751 R-Sq = 1,8% R-Sq(adj) = 0,0%

P>0,05

28-1-2013

62

Conclusie

Hypothese 1: De gemiddelde werkinstructie duur per dag heeft geen significante invloed op de gemiddelde productiviteit per dag

De hypothese is aangenomen.

28-1-2013

63

heijmans

IBIS UvA
Instituut voor Bedrijfs- en Industriële Statistiek