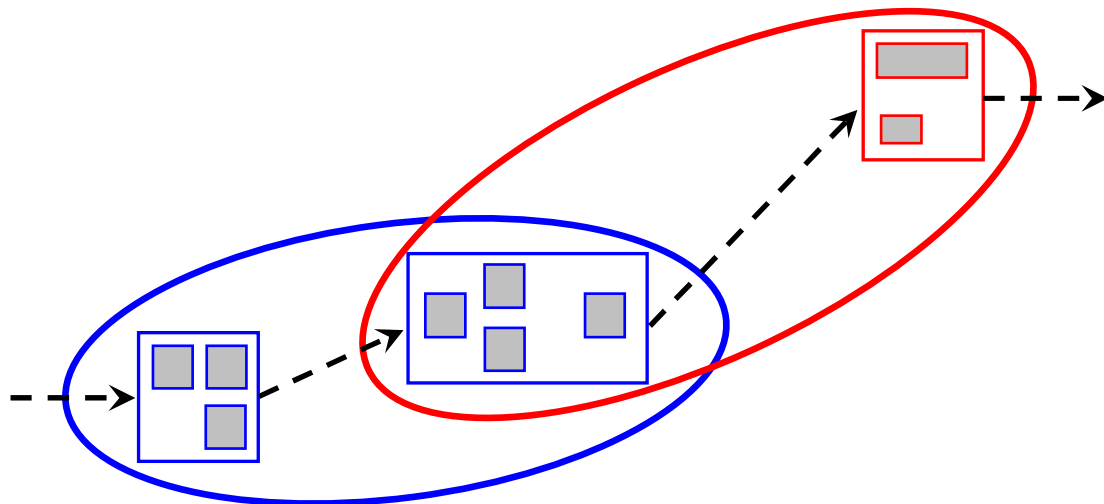


Polca als innovatief materiaalbeheersingsysteem



Auteurs:

Drs. Ing. Jacob Pieffers

Dr. Jan Riezebos

Groningen, februari 2006

Rijksuniversiteit Groningen

Faculteit Bedrijfskunde

Cluster Ontwerp van Productiesystemen



RUG

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Inhoudsopgave..... | 1 |
| 1 Inleiding: Lean Manufacturing en materiaalbeheersing..... | 3 |
| 2 Polca: visueel systeem van materiaalbeheersing | 9 |
| 2.1 Hoe ziet een Polca kaart eruit? | 9 |
| 2.2 Hoe circuleren Polca kaarten? | 10 |
| 2.2.1 Polca loop | 12 |
| 2.2.2 Overlapping loops..... | 13 |
| 3 Inrichting productiesysteem | 15 |
| 3.1 Cellen | 15 |
| 3.2 Routings tussen cellen | 17 |
| 4 Taken en tools voor de planner | 19 |
| 4.1 De vrijgave- of autorisatielijst | 19 |
| 4.2 Werklast per Polca..... | 23 |
| 4.3 Aantal Polca's in een loop..... | 26 |
| 5 Voorzieningen voor complexe situaties | 29 |
| 5.1 Veiligheidskaarten | 29 |
| 5.2 Prioriteiten bij een divergente structuur | 30 |
| 5.3 Coördinatie van convergerende trajecten | 32 |
| 6 Vergelijking materiaalbeheersingssystemen voor Lean productie..... | 35 |
| 7 Conclusies en implementatie | 39 |
| 7.1 Conclusie | 39 |
| 7.2 Implementatie | 40 |
| Relevante literatuur | 43 |

1 Inleiding: Lean Manufacturing en materiaalbeheersing

Bedrijven staan voor de uitdaging om aan de wensen van de steeds kritischer wordende klant tegemoet te komen. Klanten zijn niet meer tevreden met een beperkt aanbod producten, maar wensen anderzijds niet of slechts korte tijd te wachten totdat het gewenste product geleverd wordt. Daarmee staat het westerse bedrijfsleven, dat niet slechts op kosten wil concurreren, voor de vraag hoe een grote variëteit aan eindproducten te leveren binnen een zeer korte levertijd.

Om dat te realiseren kan er niet eenvoudig in een beperkt deel van de productieketen worden ingegrepen. Alle delen van de productieketen dienen fundamenteel opnieuw doordacht te worden en op elkaar aangepast. Vanuit het gedachtegoed van *Lean Manufacturing* is er veel aandacht gegeven aan het realiseren van een beperkte variëteit met behulp van aanpassingen in de wijze van:

- productontwerp (modulaire architectuur);
- engineering (standaardisatie onderdelen en tools);
- productie (omsteltijdverkorting, flexibele cellen, multi-inzetbaarheid medewerkers);
- productieverbeteringen (kwaliteit, innovatie);
- planning (level schedules, kanban).

Daarmee heeft Lean Manufacturing een standaard gezet voor het doorvoeren van wijzigingen in productiesystemen. Een standaard blijft echter niet overal en altijd toepasbaar. Het is dan ook gebleken dat de standaard maatregelen en systemen die vanuit dit gedachtegoed zijn ontstaan voornamelijk geschikt zijn voor bedrijven die van tamelijk starre massaproductie over moeten gaan naar flexibelere productie. Bedrijven die al gekenmerkt worden door een grote flexibiliteit (bijvoorbeeld doordat ze al op klantenorder produceren) kunnen soms niets met de voorgestelde maatregelen. Toepassing van deze maatregelen zou de situatie zelfs kunnen verslechteren.

Een voorbeeld van een maatregel vanuit het Lean Manufacturing gedachtegoed die verkeerd kan uitpakken voor bedrijven die al flexibel (bijvoorbeeld op klantenorder) produceren is het materiaal-beheersingssysteem *Kanban*.

Kanban betekent kaart en geeft degene die over de kaart beschikt toestemming om het product of halffabrikaat dat op de kaart genoemd wordt in de daarop aangegeven hoeveelheid te gaan maken. Het kanban systeem koppelt opeenvolgende afdelingen doordat het kaartje pas van het gemaakte product wordt afgehaald als de volgende afdeling dat product gaat gebruiken in de volgende stap van het proces. Als het kaartje van het product is losgekoppeld wordt het weer teruggestuurd naar de beginsituatie, waar het opnieuw fungeert als toestemming om een volgende partij (*batch*) van het product of halffabrikaat te gaan maken. Daarmee stelt het kanban systeem bedrijven in staat om afdelingen die niet fysiek (bijvoorbeeld door een lopende band) aan elkaar gekoppeld zijn toch als zodanig met elkaar te laten samenwerken. Daardoor kunnen de *doorlooptijden* en *voorraden onderhanden werk* beperkt blijven. Het kanban systeem wordt in de uitvoering daarbij geheel door de medewerkers op de werkvloer gerund, via visuele signalen die toestemming verlenen om de productie te starten op een machine in een afdeling.

Het probleem van een kanban systeem als het wordt toegepast in situaties met een grotere variëteit is dat elk kaartje een bepaalde hoeveelheid van een bepaald product of halffabrikaat specificeert. Feitelijk geeft het de mensen op de vloer niet alleen toestemming om deze hoeveelheid beschikbaar te hebben als gereed product, maar verwacht het ook dat er een beperkte voorraad van dit item als gereed product beschikbaar is als de volgende schakel in het proces er behoefte aan heeft. En daar ontstaat nu juist het probleem wanneer de variëteit aan halffabrikaten en eindproducten toeneemt. Want van elk halffabrikaat en eindproduct zou je dan een kleine hoeveelheid op voorraad moeten leggen. En dat kan onbetaalbaar worden en is onzinnig als je flexibel (bijvoorbeeld op klantenorder) produceert.

Betekent dat nu dat een op kaarten gebaseerd materiaalbeheersingssysteem voor bedrijven die op klantenorder produceren onmogelijk is?

Het antwoord op deze vraag luidt: nee, want bijvoorbeeld het *Polca systeem* biedt voor dit soort bedrijven mogelijk wél een geschikt alternatief. In het Polca systeem is getracht enkele sterke punten van het kanban systeem te behouden, maar belangrijke aanpassingen te verrichten op punten waarin kanban slecht presteert in situaties met een grote variëteit. Zie daarvoor onderstaande Tabel 1, waarin beide systemen zijn vergeleken met een traditioneel planningssysteem waarbij de planner zelf direct de materiaalstroom tracht te besturen op basis van gegevens in de computer. Later in dit rapport komen we hier uitgebreid op terug. Maar nu eerst even een korte introductie van wat Polca doet.

Polca (Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization) is een materiaalbeheersingssysteem dat de toestemming tot het starten van nieuwe productieorders in productiecellen regelt zodanig dat er niet op een bepaalde plek teveel werk tegelijk aanwezig is terwijl ergens anders te weinig werk onderhanden is. Daarbij maakt Polca gebruik van routegebonden kaarten; de zogenaamde *Polca's*.

Polca zorgt ervoor dat de doorlooptijd laag blijft terwijl de efficiency er niet onder lijdt.

Polca oefent invloed uit op het *tijdstip* en de *keuze* van orders voor vrijgave naar de productie.

Het beïnvloeden van het tijdstip fungeert op eenzelfde manier als de toeritdosering bij de oprit naar de snelweg. Door gedoseerd toe te laten (niet teveel tegelijk en alleen als starten van de order al echt nodig is) voorkom je lange doorlooptijden (files) in de productie.



Het beïnvloeden van de keuze van orders maakt dat het werk dat je vrijgeeft voor een gelijkmatige belasting van je productieapparaat (capaciteit) zorgt. Om in de analogie van het voorkomen van files te blijven: zorg dat niet alle auto's op de snelweg exact dezelfde route moeten volgen, want dan is het op dat traject heel druk, terwijl ergens anders nauwelijks verkeer zal zijn.

Polca maakt gebruik van diverse instrumenten om deze regeling mogelijk te maken:

- Routegebonden kaartjes die orders op de productievloer begeleiden;
- Autorisatielijsten die aangeven vanaf welk tijdstip een order mag worden vrijgegeven;
- Berekeningsmethoden die assisteren bij het bepalen van het aantal kaartjes;
- Voorzieningen om het systeem draaiende te houden bij calamiteiten.

| Systeemkenmerk | Kanban | Polca |
|---|---------------|--------------|
| Visueel systeem | + | ++ |
| Verantwoordelijkheid laag op de werkvloer | ++ | + |
| Lage voorraad onderhanden werk | + | ++ |
| Korte doorlooptijden | ++ | + |
| Koppeling met volgende processtap | + | ++ |
| Signalering verstoringen in keten | + | ++ |
| Gebruik vrijgavelijst | -- | +/- |

Tabel 1 Vergelijking Kanban en Polca t.o.v. klassieke wijze van planning

Polca beoogt principes van Lean Manufacturing toe te passen op de materiaalbeheersing in een productieomgeving die gekenmerkt wordt door:

- productie op order;
- een grotere invloed van de klant in het productieproces;
- toenemende variëteit;
- relatief kleine batchgroottes;
- toenemende eisen op het gebied van korte doorlooptijden.

Hoe Polca dat probeert te bereiken bespreken we in het vervolg.

We beginnen daarbij in paragraaf 2 met het visuele systeem, dat wil zeggen de routegebonden kaartjes die de orders begeleiden. Het kaartje zelf wordt uitgelegd, waarna de wijze waarop de kaartjes circuleren wordt besproken.

Aan de hand van deze uitleg komen enkele karakteristieken van de productieomgeving waarbinnen een Polca systeem fungeert naar boven. Dan gaat het om de opsplitsing in cellen en de verbindingen of zogenaamde “loops” tussen deze cellen. Paragraaf 3 besteedt aandacht aan deze zaken.

Paragraaf 4 gaat in op de rol van de planner in het Polca systeem. Achtereenvolgens bespreken we het opstellen van een vrijgave- of autorisatielijst voor bepaalde schakelpunten in het proces, de noodzaak van berekeningsmethoden voor het vaststellen van de hoeveelheid werklast die een Polca kaart representeert en het aantal Polca kaarten dat moet circuleren in een loop.

Paragraaf 5 gaat in op de voorzieningen die ervoor zorgdragen dat het systeem ook onder lastige omstandigheden kan blijven functioneren.

Paragraaf 6 sluit af met een overzicht van overeenkomsten en verschillen van het Kanban systeem en Polca en geeft daarmee inzicht in de wijze waarop een Polca systeem zorg kan dragen voor een Lean materiaalbeheersingssysteem.

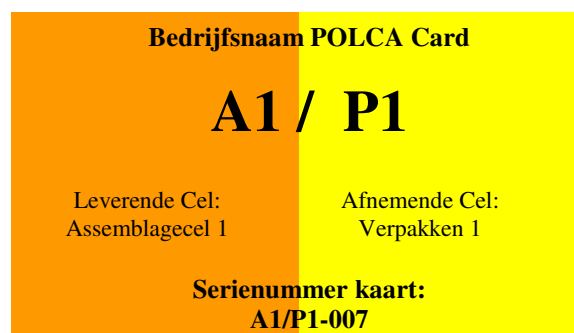
Tenslotte geeft paragraaf 7 de conclusies en geven we aan op welke wijze de *Rijksuniversiteit Groningen* behulpzaam kan zijn bij verder onderzoek naar de mogelijkheden van Polca in praktijksituaties.

2 Polca: visueel systeem van materiaalbeheersing

2.1 Hoe ziet een Polca kaart eruit?

Bij het ontwerp van de Polca kaarten is rekening gehouden met een uniforme basis lay-out (Figuur 1), met links de gegevens van de leverende (c.q. producerende) cel en rechts de gegevens van de afnemende cel. Iedere Polca kaart dient minimaal de volgende informatie te communiceren:

- De namen van de leverende cel en de afnemende cel;
- De afkortingen van de twee cellen (in dit voorbeeld A1 & P1);
- De kleurkenmerken van de opeenvolgende cellen (elke cel wordt met een kleur geassocieerd. Zonder het routingplan te raadplegen weten de medewerkers welke cel de volgende is in de routing van de order die voorzien is van deze kaart.);
- Een kaartgebonden serienummer (aan de hand van dit nummer kunnen planners de kaarten traceren die in omloop zijn).



Figuur 1 Voorbeeld van een Polca kaart tussen de cellen A1 en P1

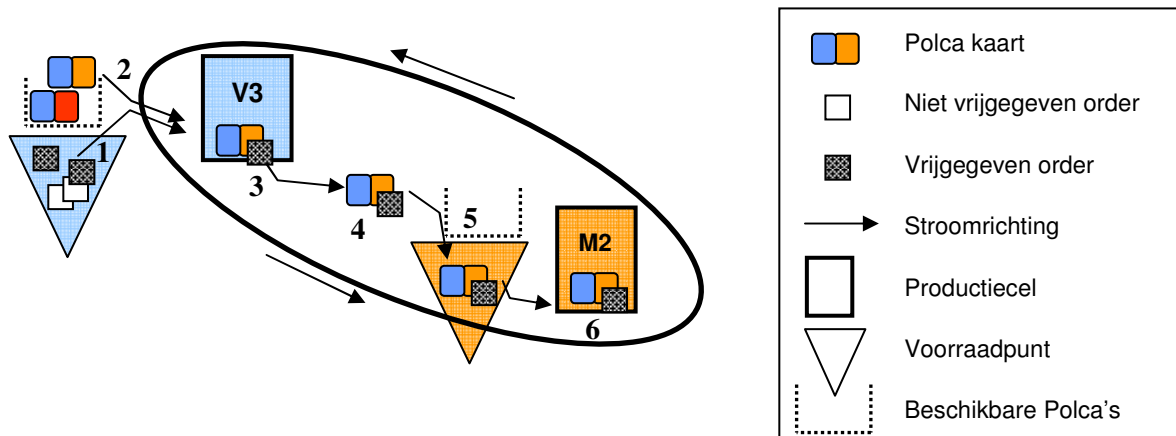
Daarnaast kan een kaart informatie bevatten over de maximale hoeveelheid werklast die het representeert. De getoonde A1/P1 Polca kaart (Figuur 1) laat deze informatie niet zien. De afgebeelde kaart geeft, zonder dat er een beperking is opgelegd aan de omvang van de order, toestemming tot het produceren van een order die eerst cel A1 aandoet en daarna cel P1. In paragraaf 4.2 komen we hier op terug.

2.2 Hoe circuleren Polca kaarten?

De wijze waarop productieorders én Polca's stromen tussen en in de cellen wordt toegelicht aan de hand van een voorbeeld waarin achtereenvolgens de cellen V3, M2, A1 en P1 worden aangedaan. We nemen in dit voorbeeld aan dat de planner geen beperkingen heeft opgelegd aan de tijdstippen waarop de order in de cellen van start mag gaan.

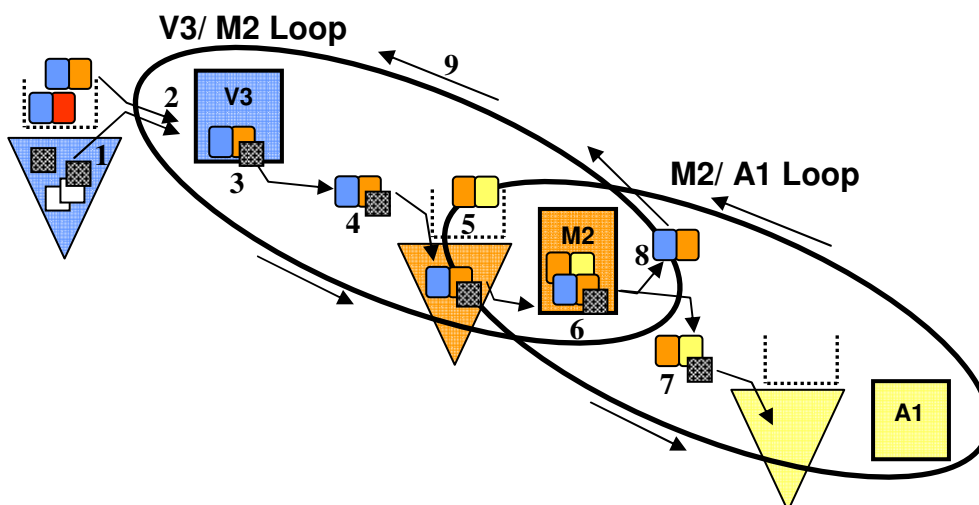
- Noodzakelijk is dat iedere order die in het productiesysteem terecht komt begeleid wordt door een routingplan dat informatie verschaft over de routing, de te verrichten werkzaamheden, de te gebruiken materialen en componenten en overige relevante informatie.
- De productieorder die wij willen gaan volgen moet als eerste naar cel V3, een voormontagecel, daarna naar M2, een montagecel (zie Figuur 2).
- Deze order wordt in productie genomen in cel V3:
 - indien het *kan*, dat wil zeggen:
 - er moet materiaal voor de order aanwezig zijn bij het voorraadpunt van cel V3;
 - de eventuele vroegste uitgiftedatum is gepasseerd (hier buiten beschouwing gelaten);De orders die *kunnen* worden gekozen zijn vrijgegeven en zijn in het voorraadpunt bij (1) gearceerd weergegeven in plaats van wit.
 - indien het *mag*, dat wil zeggen:
 - er moet één¹ Polca V3/M2 beschikbaar zijn aan het begin van cel V3 (2). Deze Polca toont de V3-cel dat er op de stroomafwaartse cel (M2) onlangs capaciteit vrij is gekomen en is dus afkomstig van cel M2.
- Bij het in productie nemen van de order (3) wordt de Polca aan de order gehecht dan wel voor iedereen zichtbaar aan de orderbescheiden toegevoegd. De Polca kaart blijft aanwezig in de productiecel, maar de materiaalstromen tussen de werkstations binnen de cel worden niet beheerst door middel van de Polca kaart. Iedere cel is zelf verantwoordelijk voor de wijze waarop materiaalstromen intern worden aangestuurd.

¹ Het voorbeeld gaat uit van Polca's zonder restrictie op de hoeveelheid gerepresenteerde werklast.



Figuur 2 Ordervrijgave ten behoeve van voormontagecel V3

- Indien cel V3 klaar is met bewerking, gaat de order samen met de V3/M2 Polca op transport (4).
- Bij aankomst in de afnemende cel wordt de order geplaatst in het voorraadpunt van cel M2 (5). In het routingplan is aangegeven dat na cel M2 de vervolgbewerking A1 nodig is. Voordat cel M2 kan beginnen aan de desbetreffende order, dient er eerst aan de gebruikelijke voorwaarden te worden voldaan (*kan* het en *mag* het: is materiaal beschikbaar (orders incl. een V3/M2 kaart) én is er één Polca kaart voor de relatie met de volgende stap (M2/A1) beschikbaar). Het materiaal is beschikbaar, maar de kaartenbak bij M2 is leeg. De order in het voorbeeld zal dus wachten op een nieuwe M2/A1 Polca, die tzt door cel A1 zal worden teruggestuurd.
- Als aan de voorwaarden is voldaan, dan kan worden begonnen met bewerking van de order in cel M2 (6). Maar eigenlijk moeten we de Polca M2/A1 dan ook afbeelden. Zie daarom Figuur 3 voor het vervolg van de stappen.



Figuur 3 Ordervrijgave voor montagecel M2

- We zien in Figuur 3 dat er in stap (5) een Polca M2/A1 beschikbaar is gekomen, waardoor de order samen met de beide Polca's naar cel M2 verplaatst kan worden (6). Gedurende bewerking in cel M2 zijn de twee Polca kaarten gekoppeld aan de productieorder: één V3/M2 kaart en één M2/A1 kaart.
- Indien de order in cel M2 is afgerond gebeuren er 2 dingen:
 - De order wordt geleverd aan de volgende cel in de route stroomafwaarts (A1) met de M2/A1 kaart nog bevestigd (7);
 - De V3/M2 kaart wordt klaargelegd voor transport naar het begin van de eerste cel stroomopwaarts (V3) (8).
- Tenslotte vindt transport plaats van de Polca V3/M2 naar het begin van cel V3 (9).

Het hele proces zoals hierboven beschreven herhaalt zich op cel A1 en cel P1. Om te kunnen beginnen op cel A1 dient er eerst een A1/P1 kaart beschikbaar te zijn, et cetera.

2.2.1 Polca loop

In het voorbeeld zien we dat een Polca een loop maakt over twee cellen of processtappen. Deze processtappen worden als het ware met elkaar verbonden of aan elkaar gekoppeld door een loop. Naarmate er minder Polca's met een hogere snelheid circuleren krijg je een strakkere koppeling tussen de opeenvolgende processtappen, waardoor het systeem als geheel zonder overbodige ballast (voorraad onderhanden werk) gaat fungeren. Het gevolg van een vertraging in de keten is immers zeer snel merkbaar in de andere processtappen. Als er ergens geen producten met Polca's verschijnen waar ze wel verwacht worden is dit een signaal dat er in de voorgaande procestap(pen) iets mis is gegaan. Overeenkomstig de gedachtegang van Lean Manufacturing wordt de volgende processtap hier niet tegen beschermd, maar er juist snel van doordrongen dat er een probleem is waar ook zij misschien bij kunnen helpen om het op te lossen. Echter, als het aantal circulerende Polca's te laag wordt gekozen ontstaat er het gevaar van leegloop van machines en mensen. Daarom zal een afweging gemaakt moeten worden tussen beperking van de voorraad onderhanden werk en de kans op leegloop in de cellen. In paragraaf 4 komen we hier op terug.

2.2.2 Overlapping loops

In het voorbeeld draagt een order in cel M2 twee Polca kaarten met zich mee, één van loop V3/M2 en één van loop M2/A1. Dit noemen we het principe van “*overlapping loops*”. Alle cellen, behalve de eerste en de laatste in de routing, hebben twee kaarten bevestigd aan de orders die in bewerking zijn. Daarmee kent elke order die drie of meer processtappen omvat overlappende Polca loops. Wat is nu het nut van dergelijke overlappende loops?

Overlappende loops dwingen de cel eerst een order af te ronden alvorens de aangehechte Polca kaart te retourneren. Zo stel je afgifte van een signaal dat er nieuw werk mag worden vrijgegeven uit totdat de order is afgerond. Mochten er storingen of stagnaties optreden, dan merkt de toeleverende cel dat veel eerder in een Polca systeem door de overlappende loop vergeleken met een Kanban systeem. Overlappende loops van Polca's zorgen dus dat de boodschap van een verstoring in de keten sneller doorklinkt in voorgaande schakels van het productieproces. Deze voorliggende schakels kunnen op basis daarvan beslissen hun aandacht te richten op het helpen van de betreffende schakel of – als ze meer afnemende schakels hebben – op het produceren voor andere afnemende schakels.

Ook voorkomen we dat de cel bepaalde orders met problemen voor langere tijd opzij legt om de doorstroom van andere orders te versnellen. Polca geeft dan immers de aangehechte kaart niet vrij naar de toeleverende cel, zodat na verloop van tijd de stroom werk naar de eigen cel opdroogt of onregelmatig wordt. De Polca kaart kan dus worden gezien als een stimulans voor de afronding van reeds vrijgegeven orders en kan uiteindelijk leiden tot reductie in de gemiddelde doorlooptijd.

3 Inrichting productiesysteem

Bij de uitleg van het Polca systeem in de vorige paragraaf zijn enkele karakteristieken van de productieomgeving waarbinnen een dergelijk systeem fungeert naar boven gekomen. Er is bijvoorbeeld gesproken over processtappen en cellen, en over verbindingen of loops tussen deze cellen. Deze paragraaf besteedt extra aandacht aan deze zaken.

3.1 Cellen

Polca richt zich op de beheersing van de materiaalstromen tussen cellen. Maar wat zijn nu eigenlijk cellen? En is elk bedrijf dat zegt cellen te hebben daarmee automatisch geschikt voor Polca?

Uit onderzoek is gebleken dat in de praktijk veel verwarring bestaat over het begrip ‘cellen’. Toch is het voor het goed functioneren van een Polca systeem van groot belang dat nagedacht wordt over een verstandige inrichting en opsplitsing van het productiesysteem in segmenten. Dergelijke segmenten noemen we cellen. Vaak zullen we zien dat de segmenten die voor Polca geschikt zijn samenvallen met bestaande indelingen in productiegroepen of teams. Maar soms verdient het met het oog op de beheersing van de materiaalstromen de voorkeur om een bestaande productiegroep te beschouwen als twee cellen. En soms zal een bestaande functionele structuur in een bedrijf beter eerst over kunnen schakelen op een groepsgewijze productiestructuur alvorens een materiaalbeheersingssysteem als Polca te implementeren.

We zullen nu kort ingaan op de uitgangspunten bij het benoemen van cellen in een Polca systeem. We zijn ons er van bewust dat we daarbij geen recht kunnen doen aan de complexiteit van deze beslissing in een praktijksituatie. Maar hier ontbreekt de ruimte om daar verder op in te gaan. Aan de *Rijksuniversiteit Groningen* is een scan ontwikkeld (Pieffers, 2005) waarmee aan de hand van gegevens uit een bedrijf systematisch wordt onderzocht hoe cellen zouden moeten worden afgebakend om een Polca systeem effectief te kunnen laten functioneren. Hoe bedrijven gebruik kunnen maken van deze scan staat beschreven in de laatste paragraaf.

Polca-cellen

Een productiegroep is geschikt als 'Polca-productiecel' (kortweg 'cel') als deze:

1. gerelateerd is aan één of meer toeleverende en/of afnemende 'cellen';
2. is samengesteld uit één of meer machines/werkstations en mensen die (in mogelijk wisselende samenstelling) nodig zijn om een productfamilie of onderdelenfamilie af te ronden;
3. in staat is om zelfstandig de coördinatie van de materiaalstromen binnen de 'cel' te verzorgen.

Elk van deze drie uitgangspunten of richtlijnen is er op gericht de inzet van het Polca systeem effectief te doen zijn.

De eerste richtlijn zegt dat een cel nooit op zichzelf mag staan, c.q. als een eiland in het productiesysteem zou functioneren. Het Polca systeem is er juist op gericht om de leveringen *tussen* cellen te stroomlijnen, waarmee wordt voorkomen dat er enerzijds te grote buffers tussen cellen in acht worden genomen en anderzijds geen werk beschikbaar is voor een cel terwijl er elders werk voor die cel ligt opgehoopt. Maar als er cellen zijn geïmplementeerd die zonder interactie met andere cellen orders volledig afwikkelen, dan heeft het Polca systeem geen enkele toegevoegde waarde.

De tweede richtlijn geeft een afbakening naar de andere kant van het spectrum. Als de gehele productie bestaat uit afdelingen die volledig gespecialiseerd zijn in één bewerking ontstaan er nodeloos veel afstemmingsproblemen en relaties tussen cellen. Het Polca systeem kan dan niet optimaal werken, omdat het te onoverzichtelijk wordt. Vandaar dat de tweede richtlijn zoekt naar cellen die een combinatie van werkstations omvatten gericht op het tot stand brengen van een bepaalde productstroom. Merk op dat de benodigde combinatie van werkstations, de gewenste volgorde langs die stations en de benodigde tijd per bewerkingsstap best mogen verschillen per order.

De derde richtlijn benadrukt dat een cel wel zelf in staat moet zijn om de interne variatie van orders en aanverwante materiaalstromen te beheersen. Polca biedt daarbij namelijk geen ondersteuning, maar het is wel een voorwaarde voor effectieve inzet van Polca dat de *doorlooptijd* binnen een cel beheerst wordt. Polca zorgt er wel voor dat de regelmaat waarin werk aan een cel wordt aangeboden toeneemt, waardoor het beheersen van de

interne doorlooptijd in een cel ook eenvoudiger wordt. Maar de wijze waarop een cel dat vorm geeft legt Polca niet vast. Diverse oplossingen zijn daartoe echter voorhanden, zoals zelfsturende teams met eigen planningshulpmiddelen, een prioriteitenlijst van de planner of een kanbansysteem.

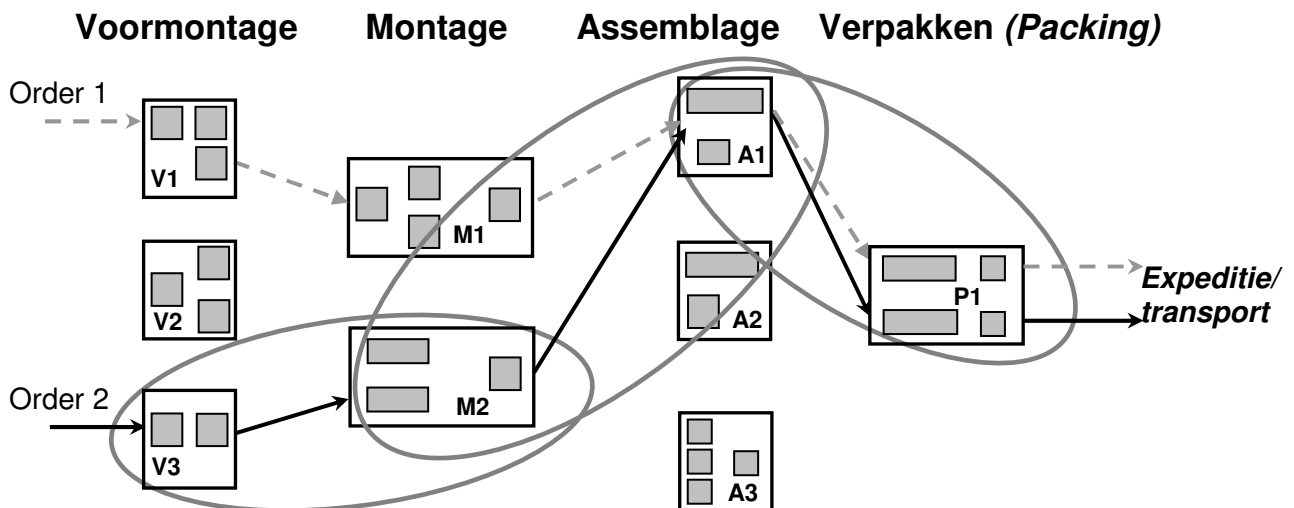
De benodigde afbakening van cellen zou de indruk kunnen geven dat er bij implementatie van Polca altijd sprake is van een complete herinrichting van het productiesysteem. Dat is gelukkig niet het geval. De afbakening in cellen geeft richting aan het ontwerp van de Polca loops, dat wil zeggen de delen van het productiesysteem waartussen Polca's gaan circuleren. Het afbakenen van cellen is dus sterk gericht op het inrichten van de coördinatie tussen delen van de productie. En bij die beslissing speelt een belangrijke rol de vraag welke problemen met betrekking tot de materiaalbeheersing Polca zou moeten aanpakken. Naarmate de aldus gedefinieerde cellen meer samenvallen met afgebakende eenheden binnen de productie (bijvoorbeeld productiegroepen) wordt het Polca systeem voor de betrokkenen wel transparanter. Daarom kan een herinrichting die zorgt voor een grotere overeenkomst met de gewenste cellen in het Polca systeem uiteindelijk leiden tot een beter resultaat.

Naast de afbakening van cellen speelt nog een ander aspect van de inrichting van het productiesysteem een rol, namelijk de mate waarin de medewerkers multi-inzetbaar zijn. Naarmate medewerkers meer in staat zijn om bewerkingen uit te voeren in verschillende productiecellen wordt het eenvoudiger om capaciteitsproblemen op te lossen. Hierdoor kan de capaciteit van de ene cel worden vergroot ten koste van de vrije (mens)capaciteit op één of meer andere cellen. Medewerkers dienen zo veel mogelijk te worden ingezet op plaatsen waar ze het hardst nodig zijn.

3.2 Routings tussen cellen

Voor elke order wordt – voordat deze in productie wordt genomen – de productrouting over de cellen vastgesteld. Binnen een cel kan het bewerkingsplan mogelijk nog bijgesteld worden, maar de routing over de cellen zal doorgaans vastliggen. Elke order kan een andere routing langs de cellen volgen.

In Figuur 4 is voor een tweetal orders de productroutings vastgesteld. Order 1 volgt de opeenvolgende cellen V1-M1-A1-P1, order 2 volgt de route V3-M2-A1-P1. Gegeven alle productroutings identificeert Polca het benodigde aantal loops van Polca kaarten. Order 1 maakt loops nodig tussen V1 en M1, M1 en A1, en tenslotte A1 en P1. Lettend op de routing van order 2, dan zijn er nog twee extra Polca loops te onderscheiden: V3/M2 en M2/A1. De loop A1/P1 wordt namelijk door beide orders gevolgd.



Figuur 4 Polca loops tussen cellen

Naarmate het aantal orders toeneemt zal het steeds vaker voorkomen dat de benodigde loops al bestaan, zelfs al verschillen de orders sterk van elkaar. Het Polca systeem kan deze variatie tussen orders goed aan, want het is er op gericht dat er met enige regelmaat gebruik wordt gemaakt van eenzelfde loop. Wat er precies moet gebeuren maakt Polca niet zoveel uit, van belang is dát er in deze loop wat moet gebeuren. Andere systemen (zoals Kanban) komen juist in de problemen naarmate het aantal verschillende producten toeneemt.

4 Taken en tools voor de planner

De planner heeft in het Polca systeem een belangrijke voorwaardenscheppende rol. De beslissingen aangaande de inrichting van het Polca systeem (welke loops, het aantal Polca's per loop en de hoeveelheid werklust die één Polca representeert) behoren tot het domein van de planner. Daarnaast heeft de planner beperkte mogelijkheden tot sturing nadat de orders op de productievloer zijn beland. Deze paragraaf gaat in op de rol van de planner in het Polca systeem. Eerst bespreken we die beperkte mogelijkheden tot sturing door middel van een vrijgave- of autorisatielijst voor bepaalde schakelpunten in het proces, daarna komen de inrichtingsbeslissingen aan de orde. We geven daarbij aandacht aan de noodzaak van berekeningsmethoden voor het vaststellen van de hoeveelheid werklust die een Polca kaart representeert en het aantal Polca kaarten dat moet circuleren in een loop.

4.1 De vrijgave- of autorisatielijst

De belangrijkste mogelijkheid voor de planner om te sturen in de voortgang van de werkzaamheden in de productie is door middel van de vrijgave- of autorisatielijst. Een vrijgavelijst van een cel geeft het vroegste startmoment weer van de orders in de betreffende cel. Als dit startmoment in het verleden ligt mag de order wat de planner betreft direct in de betreffende cel van start. Maar als het startmoment nog in de toekomst ligt wordt de betreffende order niet gestart in deze cel, zelfs al is er een Polca beschikbaar en is het materiaal reeds gearriveerd.

De planner kan met een vrijgavelijst:

- invloed uitoefenen op de snelheid van andere orders (die wel van start mogen);
- voorkomen dat verder gewerkt wordt aan orders waarmee problemen zijn gerezen of in de toekomst verwacht worden (bijvoorbeeld stagnatie van materiaallevering voor deze order richting de volgende cel, uitstel gewenste leverdatum, problemen met de klant).

Cellen die als eerste in een routing voorkomen kennen in ieder geval een dergelijke vrijgavelijst. Maar ook voor bepaalde andere cellen die als schakelpunten in het productieproces worden beschouwd kan de planner een vrijgavelijst vaststellen. Standaard

kan het vroegste startmoment van een order in elke lijst overeenkomen met het vroegste startmoment van de order bij de eerste cel. Dat is de situatie waarbij de planner alleen bij aanvang van het proces stuurt en verder alles overlaat aan de cellen en het Polca systeem tussen de cellen. Maar voor bepaalde cellen/ schakelpunten kan de planner ook bijsturen door te beslissen over de vroegst mogelijke startmomenten voor specifieke orders in die cel. Het bijsturen gaat echter ten koste van doorlooptijdverlenging van deze orders! In die zin moet het instrument met voorzichtigheid worden gehanteerd.

Het genereren van de vrijgavelijst kan plaatsvinden vanuit een ERP systeem. De meeste bedrijven hebben een dergelijk systeem operationeel voor de materiaalbeheersing richting leveranciers en de globale planning. Het bestaande ERP systeem wordt binnen Polca benut om vrijgavelijsten te genereren voor de geselecteerde cellen. Op deze lijst verschijnen de vrijgegeven orders, gesorteerd op hun vroegst mogelijke startdatum. Zie voor een voorbeeld Figuur 5.

| Vrijgavelijst Cel A d.d. 9-feb | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------|----------|----------|-------------------|
| Order nummer | Materiaal check | Vroegste startmoment | Route binnen cel A (bew. tijd) | | | Benodigde Polca's |
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| CL002 | ok | 9-feb | M1 (10) | M5 (20) | M8 (10) | 1 A/B |
| CL003 | ok | 9-feb | M2 (30) | M1 (40) | M3 (50) | 1 A/B |
| CK001 | ok | 9-feb | M3 (10) | M1 (60) | | 1 A/C |
| ST253 | ok | 9-feb | M1 (110) | M2 (140) | | 1 A/B |
| CK005 | niet ok | 8-feb | M4 (20) | M1 (40) | M5 (70) | 1 A/C |
| CL015 | ok | 9-feb | M2 (40) | M3 (60) | M5 (60) | 1 A/B |
| HY563 | ok | 10-feb | M3 (100) | M8 (120) | M2 (10) | 1 A/B |
| ST237 | ok | 10-feb | M1 (180) | M2 (120) | M5 (120) | 1 A/B |

Figuur 5 Voorbeeld vrijgavelijst cel A op 9 februari

Het gebruik van vrijgavelijsten is nodig om een *ordergerichte productiewijze* te creëren (*make-to-order, engineer-to-order*). Polca kaarten zijn namelijk anoniem, dat wil zeggen niet productspecifiek. Beschikbaarheid van een Polca kaart in een cel geeft aan dat er qua capaciteit in het betreffende vervoltraject geproduceerd *mag* gaan worden, maar op de kaart wordt niet gespecificeerd welke order in bewerking genomen moet gaan worden. Daarmee is Polca dus anders dan het Kanban systeem, dat wel aangeeft welk type product aangevuld moet worden.

Door gebruik te maken van vrijgavelijsten reageert het Polca systeem niet alleen op de vraag die intern optreedt (afkomstig vanuit de productieketen stroomafwaarts, zoals dat

gebruikelijk is bij *pull*/Kanban systemen), maar ook op tussentijds beschikbaar gekomen informatie bij de planner, tenminste als deze informatie is omgezet in een wijziging van het vroegste startmoment in een cel.

Hoe bepaalt de planner nu het vroegste startmoment voor een order in een cel? Eenvoudig door terug te rekenen vanaf het gewenste levertijdstip. Elke cel die in de route van deze order is opgenomen en elk voorraadpunt tussen cellen kent een bepaalde verwachte doorlooptijd. Door deze eerst te bepalen en daarna bij elkaar op te tellen kan het vroegste startmoment worden bepaald.

Een dergelijke berekening klinkt eenvoudig, maar dat is het niet. Eén van de oorzaken voor lange doorlooptijden en hoge voorraden onderhanden werk is juist dat traditionele methoden die gebruikt worden binnen ERP systemen om deze vroegste startmomenten te bepalen te onnauwkeurig zijn. Daardoor wordt er onnodig veel buffertijd ingepland. Polca probeert de bepaling van deze vroegste startmomenten te verbeteren.

Twee belangrijke insteken voor deze verbetering zijn:

- bepaal verwachte celdoorlooptijden op basis van de daadwerkelijk verwachte werkhoeveelheden in die cel in een gegeven tijdvenster in plaats van standaardtijden uit een database te hanteren;
- bepaal buffertijden op celniveau in plaats van op bewerkingsniveau.

Om de eerste verbetering te kunnen maken heeft Polca informatie nodig over de routes die de orders over de cellen zullen volgen. Een betrouwbare schatting van het tijdvenster waarbinnen de order in een cel zal arriveren is dus de reden dat deze route van tevoren moet worden vastgelegd. Want zonder deze schatting kan de verwachte celdoorlooptijd niet goed worden bepaald.

In het onderstaande voorbeeld wordt een toelichting gegeven op de wijze waarop celdoorlooptijden kunnen worden bepaald. In deze situatie vinden de bewerkingen plaats in de cellen Voormontage, Montage en Assemblage (zie Figuur 4). Na Assemblage wordt de productieorder gereed gemeld (Expeditie) en is deze klaar voor transport richting de klant.

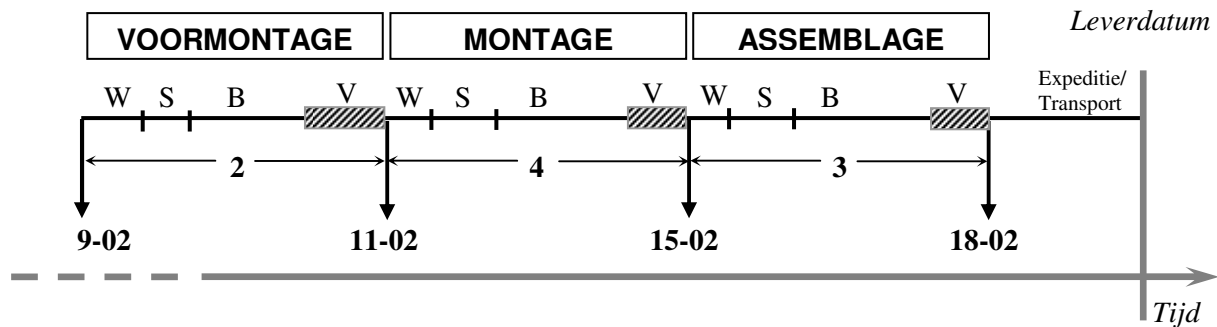
Doorlooptijden van Voormontage, Montage en Assemblage dienen in deze situatie zodanig te worden gepland dat de order op tijd kan worden afgeleverd aan de klant.

De orderspecifieke tijdsvensters worden gecreëerd door gebruik te maken van de techniek *MRP leadtime offsetting*. De *offset-time* geeft een schatting van de periode (in dit geval de *celdoorlooptijd in dagen*) waarbinnen de betreffende capaciteitsinzet ten behoeve van de geplande order zal worden gerealiseerd, vóór deze order beschikbaar moet komen voor bewerking op een volgende cel.

De *offset-time* van een order in een bepaalde cel wordt berekend aan de hand van de *bewerkingstijd* (B) van deze order en de benodigde *setup-tijd* (S), zoals veelal is vastgelegd in het ERP systeem. Daarnaast dient gebruik te worden gemaakt van de *gemiddelde wachttijd* (W). Deze wachttijd wordt echter niet uit het ERP systeem gehaald, maar wordt bepaald door eerst een schatting te doen van de wachttijden die zullen gaan ontstaan op de verschillende locaties (machines) binnen de route van deze order, in aanmerking nemende alle andere orders die in hetzelfde tijdvenster ook gebruik zullen maken van deze machines. Vervolgens wordt de *gemiddelde wachttijd op celniveau* berekend door de geschatte wachttijden op machine-niveau bij elkaar op te tellen.

Op basis van de berekende celdoorlooptijden (*offset-time* voor *Voormontage, Montage* en *Assemblage*) worden de tijdstippen (vroegste startmomenten) waarna de productieorder mag worden vrijgegeven op de verschillende cellen in de route berekend. Deze vroegste startmomenten zijn in dit voorbeeld (Figuur 6) achtereenvolgens 9-02 (*Voormontage*), 11-02 (*Montage*) en 15-02 (*Assemblage*).

Tot slot kan rekening gehouden worden met een veiligheidstijd ($V = (W+B+S) * \alpha$), waarbij α doorgaans niet meer dan 10% is. Vaak wordt deze veiligheidstijd als een soort afronding gezien op hele dagen. Met de veiligheidstijd wordt een cel in staat gesteld om variabiliteit (als gevolg van machine-uitval, vertraagde materiaallevering) in de verwachte doorlooptijd op te vangen.



Figuur 6 Bepalen van vroegste startmomenten

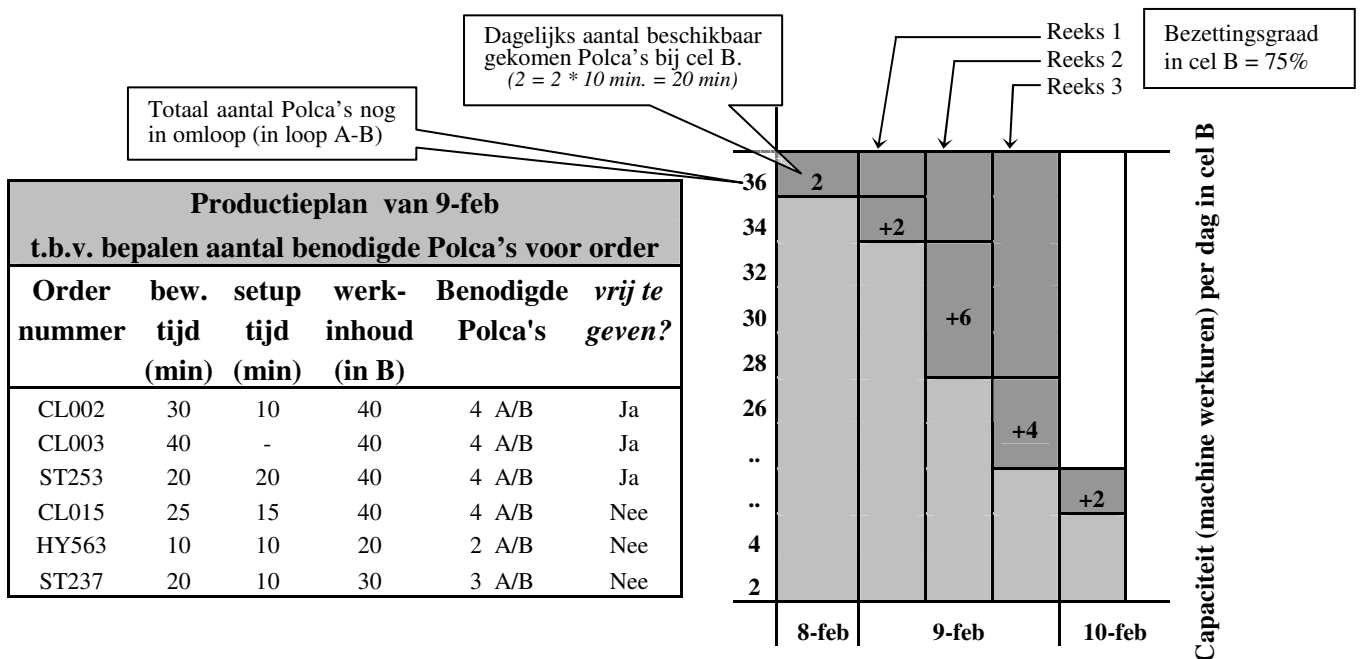
4.2 Werklast per Polca

We hebben tot nu toe aangenomen dat voor het in bewerking nemen van een order één Polca beschikbaar moest zijn die correspondeert met de af te leggen route. Deze ene Polca is op te vatten als een signaal van een volgende cel dat er recent een order is afgerond en dat binnen afzienbare tijd capaciteit beschikbaar zal komen voor een nieuwe order. Maar hoeveel capaciteit komt er dan beschikbaar? En wanneer?

Het idee achter een vast aantal circulerende Polca's in een loop is dat de hoeveelheid onderhanden werk in deze loop ongeveer gelijk blijft. Dat heeft grote voordelen voor het beheersen van de doorlooptijd. Nu kun je de hoeveelheid onderhanden werk weergeven als het aantal uren werk dat je nog moet verzetten in de cel om de reeds vrijgegeven orders die naar de cel onderweg zijn af te ronden. Als een order die wordt afgerond in de cel direct resulteert in de vrijgave van een soortgelijke order qua capaciteitsbeslag, aan het begin van de loop, dan blijft de hoeveelheid onderhanden werk ongeveer gelijk. Naarmate de orders echter sterk verschillen in hun capaciteitsbehoefte binnen de cel wordt het moeilijker om de hoeveelheid onderhanden werk constant te houden. Dat veroorzaakt weer variaties in doorlooptijden die we liever niet zien. Daarom kunnen in het laatste geval aanpassingen verricht worden in het (maximale) capaciteitsbeslag dat één Polca representeert. Grote orders vereisen dan enkele Polca's alvorens ze van start mogen gaan, terwijl kleine orders (zoals bijvoorbeeld de orders in figuur 5) elk met één Polca toe kunnen. Indien sprake is van 'grote orders' zal de planner het aantal Polca's dat nodig is om de grote order te kunnen starten op de vrijgavelijst aan moeten passen.

We lichten dit toe aan de hand van een voorbeeld (Figuur 7). De vermelde capaciteit op een Polca A/B komt daar overeen met een maximale werkinhoud in cel B van 10 min. Indien de capaciteitsindicatie van één of meerdere Polca's overeenkomt met de benodigde capaciteit van een of meerder productieorders, dan kan/kunnen deze order(s) worden vrijgegeven.

Het productieplan van 9-02 (Figuur 7a) beschrijft de selectie van orders uit de vrijgavelijst van Figuur 5 die nog moeten worden bewerkt in cel A en die daarna naar cel B moeten. De vermelde orders dienen enkel te worden vrijgegeven voor productie in cel A indien aan de reguliere voorwaarde is voldaan (zie Figuur 5) én indien er voldoende Polca's A/B (c.q. capaciteit in de vorm van werkuren/periode op montagecel B) vrij zijn gekomen. Dit aantal was in Figuur 5 gelijk aan 1, maar varieert nu in Figuur 7 per order al naar gelang de verwachte werkinhoud van die order in cel B. Elke Polca representeert een werkinhoud van maximaal 10 minuten, zodat het aantal Polca's moet corresponderen met de benodigde capaciteit voor de productieorders in de *volgende* cel B, zoals gespecificeerd in de kolom "werkinhoud" (= noodzakelijke bewerkingstijd + setup-tijd in cel B).



Figuur a

Figuur b

Figuur 7 Voorbeeld productieplan (a) en vrijgekomen Polca's bij montagecel B (b)

| | |
|--|--|
| Maximale werklust van een Polca kaart: 10 minuten (werkinhoud) | |
| Capaciteit op montagecel B: 360 min./dag | |
| Capaciteitbezetting op montagecel B | |
| Vrijgekomen capaciteit | |

De planner vermeldt nu het berekende aantal benodigde kaarten in de vrijgavelijst van cel A (c.q. in de laatste kolom). De productiemedewerkers in cel A krijgen alleen de vrijgavelijst van hun cel te zien met het benodigde aantal Polca's, niet dit productieplan met de uitgevoerde berekeningen.

Hoe werkt het Polca systeem nu als er meer kaarten voor één order nodig zijn? Dat leggen we uit aan de hand van Figuur 7b. In deze grafiek wordt er van uitgegaan dat de capaciteit binnen iedere periode gelijk is. De dagelijks in te plannen capaciteit voor cel B is zes werkuren (bezettingsgraad * 8 uur) en aangezien elke Polca een periode van 10 minuten werk representeert vormt dit op de gehele dag een capaciteit van 6*6 blokjes van 10 minuten. Bij het vrijkomen van capaciteit op cel B dient de voorgaande cel hiervan op de hoogte te worden gesteld. Dit gebeurt door middel van de terugstromende Polca's die zijn losgekoppeld van de afgeronde order. Als we even aannemen dat deze zich bevinden in de loop A/B, dan geeft elke van deze Polca's bij cel A een indicatie van de hoeveelheid vrijgekomen capaciteit in cel B. Maar ze worden pas weer in omloop gebracht als er een order is die over het totaal voor deze order benodigde aantal Polca's beschikt. Zo liggen er op 9-02 nog 2 Polca's A/B te wachten op een order. De werkinhoud van CL002 maakt 4 Polca's noodzakelijk. Pas nadat de eerste 2 Polca's op 9-02 zijn teruggekeerd zijn er door de 2 resterende Polca's van 8-02 genoeg Polca's om deze order vrij te geven. De tweede reeks terugkerende Polca's (6x) is voldoende om order CL003 vrij te geven. Hiervoor zijn namelijk 4 Polca's benodigd. De 2 Polca's die uit deze tweede reeks over blijven zijn niet voldoende om order ST253 vrij te geven. De 2 overgebleven Polca's sluiten dus aan bij de derde reeks terugkerende Polca's. Dit totaal van 6 stuks is wél voldoende om ST253 vrij te geven. Ten slotte, CL015 kan worden vrijgegeven op basis van het overeenkomende vroegste startmoment, maar het aantal Polca's wat nog resteert (2 stuks) is niet voldoende om de order in één keer te voltooien. Productie is dus afhankelijk van nog 2 extra Polca's. Deze verschijnen pas in de vierde reeks op 10 februari.

Uit dit voorbeeld zien we dat het invoeren van een maximale werklast per Polca een fijnmazigere regeling van de productie mogelijk maakt. Het leidt tot een beter onderbouwde beslissing over het moment van vrijgave. Anderzijds kan het grote gevolgen hebben voor de doorlooptijd van met name grote orders met een hoge werklast. Kleine orders dringen

namelijk makkelijk voor als zij ook van start mogen, maar er nog niet voldoende Polca's binnen zijn voor de grotere order.

Vanuit de theorie over Polca is er weinig ondersteuning voor het bepalen van een geschikte hoeveelheid capaciteit die door één Polca moet worden gerepresenteerd. De hoeveelheid wordt daarom vaak gevoelsmatig vastgesteld op basis van de volgende twee overwegingen:

1. Een te hoog maximum leidt tot een situatie waarin te weinig kaarten in omloop zijn en waarbij de signalering voor vrijgave van nieuw materiaal onregelmatig verloopt.
2. Een te laag maximum leidt tot een buitensporig grote hoeveelheid kaarten die in omloop zijn. Het in roulatie houden van al deze kaarten vergt veel discipline van de operators die ermee moeten werken.

Deze overwegingen geven naar onze mening weinig houvast. Op aanverwante vakgebieden is er echter wel relevant onderzoek verricht. Binnen de *Rijksuniversiteit Groningen* is er bijvoorbeeld veel onderzoek gedaan naar werklustbeheersing. Inzichten vanuit dit gebied kunnen worden gebruikt om te helpen dit vraagstuk in de praktijk op te lossen.

4.3 Aantal Polca's in een loop

Het aantal Polca's binnen een loop verschilt in principe per loop en wordt bepaald door de planner. Daarmee kan de planner sturing uitoefenen op de doorlooptijd en de hoeveelheid onderhanden werk in de loop tussen deze cellen.

Het aantal Polca's dat circuleert kan te klein worden gekozen. De cellen kunnen in dat geval onmogelijk de hoeveelheid orders verwerken die ze geacht worden te completeren, omdat er te weinig werk in de pijplijn aanwezig is. Om een bepaalde bezettingsgraad te realiseren zal er een zodanige hoeveelheid werk in de pijplijn moeten zitten dat de cellen ook bij kleine variaties in werkaanbod en bewerkingstijd niet te vaak zonder werk komen te zitten.

Naarmate er meer Polca's gaan circuleren in een loop duurt het langer voordat eenzelfde Polca aan een nieuwe order wordt gekoppeld. De cyclustijd van de Polca neemt daarmee toe en aangezien de doorlooptijd van een order in de loop altijd iets kleiner is dan deze

cyclustijd kan ook de doorlooptijd van een order gaan stijgen. Teveel Polca's zorgt er dus voor dat de planner een gebrekkige controle uitoefent op de doorlooptijd van de orders. De situatie waarin geen Polca systeem wordt gehanteerd is op te vatten als de situatie met een oneindig groot aantal circulerende Polca's tussen elke combinatie van cellen. Beschikbaarheid van een Polca is in een dergelijke situatie nooit restrictief bij de vrijgavebeslissing. De praktijk is dan ook dat de planner dan geen controle heeft over de doorlooptijden die resulteren.

Implementatie van Polca betekent dus het terugbrengen van het aantal Polca's in een loop tot een eindig en realistisch getal. Bij het bepalen van het aantal benodigde Polca's in een loop kan gebruik worden gemaakt van de *wet van Little*. Deze wet legt een relatie tussen het aantal circulerende Polca's, de cyclustijd² van een Polca, en het gemiddeld aantal orders (of preciezer: werklasteenheden³) dat per tijdseenheid wordt geproduceerd. Daarnaast kunnen we gebruik maken van inzichten uit de wachtrijtheorie, die – gegeven een bepaald aankomstpatroon van orders en bedieningstijden – aangeeft welke gemiddelde wachttijden en doorlooptijden nodig zijn in een cel om een gewenste bezettingsgraad te realiseren. Door deze tijden te combineren kan de gemiddelde doorlooptijd van een order of werklasteenheid worden bepaald. Omdat de cyclustijd van een Polca grotendeels bestaat uit het samen met een order (of werklasteenheid) doorlopen van de loop kan daarmee het benodigd aantal Polca's worden vastgesteld.

De formule voor het benodigde aantal Polca's luidt als volgt:

$$n_{ab} = D_{ab} * CT_{ab}$$

$$CT_{ab} = DLPT_a + DLPT_b + rest$$

Waarin:

CT_{ab} gemiddelde cyclustijd van een Polca in de loop van cel a naar cel b

$DLPT_a$ gemiddelde doorlooptijd van een Polca in cel a gedurende de beschouwde periode

D_{ab} gemiddeld aantal orders (of werklasteenheden) dat per tijdseenheid van cel a naar cel b gaat gedurende de beschouwde periode

n_{ab} aantal Polca's in de loop van cel a naar cel b

² De cyclustijd geeft de tijd aan tussen twee opeenvolgende rondes van dezelfde Polca door het proces.

³ Een werklasteenheid is de gemiddelde hoeveelheid werklast die door een Polca wordt gerepresenteerd.

Als tijdseenheid kan gekozen worden voor uren, dagen, etc. De beschouwde periode waarover het gemiddelde wordt berekend zal een veelvoud van deze tijdseenheid moeten zijn.

Vaak zien we dat de restfactor wordt afgeschat met een veiligheidsfactor $\alpha > 0$:

$$rest = \alpha (DLPT_a + DLPT_b)$$

zodat als uiteindelijke formule voor het aantal benodigde Polca's in loop A/B resulteert:

$$n_{ab} = D_{ab} (DLPT_a + DLPT_b) (1 + \alpha)$$

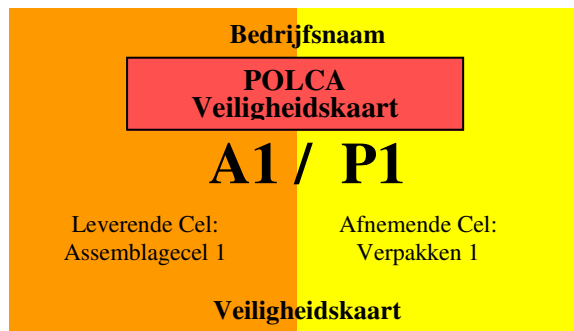
Merk op dat deze factor α in ieder geval dient te compenseren voor de onderdelen van de cyclustijd die buiten de echte doorlooptijden van de order in de cellen vallen. Daarbij moet gedacht worden aan de transporttijd van de order tussen de cellen en de tijd die de Polca zelf nodig heeft om zonder aan een order gehecht te zijn terug te keren naar de toeleverende cel. Vaak zal de factor echter zodanig hoog worden gekozen dat de minimaal benodigde tijd ruimschoots wordt gecompenseerd en er dus feitelijk ook wachttijd wordt toegestaan rondom deze activiteiten binnen de cyclustijd van een Polca. Een te grote factor doet daarbij het beoogde effect van een Polca systeem te niet.

5 Voorzieningen voor complexe situaties

Deze paragraaf gaat in op voorzieningen die ervoor zorgdragen dat het systeem ook onder onvoorziene omstandigheden of in complexe situaties kan blijven functioneren.

5.1 Veiligheidskaarten

Veiligheidskaarten kunnen worden ingezet op plaatsen waar men in grote mate afhankelijk is van onderdelen van externe leveranciers. Indien werkzaamheden voor een bepaalde order moeten worden stilgelegd, als gevolg van een plotseling tekort aan deze onderdelen, dan kan deze order tijdelijk opzij worden gezet dankzij een door de planner of celleider ingebrachte veiligheidskaart. De veiligheidskaart is visueel afwijkend van de normale kaarten (Figuur 1), maar omvat dezelfde informatie (zie Figuur 8).



Figuur 8 Polca veiligheidskaart

De Polca kaart die aan de probleemorder bevestigd zit wordt losgekoppeld en teruggebracht naar het begin van de (eerste) cel. De veiligheidskaart wordt nu aan de probleemorder bevestigd. Aangezien de losgekoppelde Polca kaart direct weer in omloop wordt gebracht kunnen andere wachtende orders sneller worden vrijgegeven. Het tijdelijk opzij zetten van incomplete orders bevordert dus de materiaaldoorstroom. Wanneer de vereiste onderdelen arriveren wordt de order met de veiligheidskaart afgerond en doorgestuurd naar de volgende cel. Na verloop van tijd komt de veiligheidskaart weer zonder order terug, waarna deze uit de roulatie wordt genomen en teruggebracht wordt naar de cel die hem heeft ingebracht.

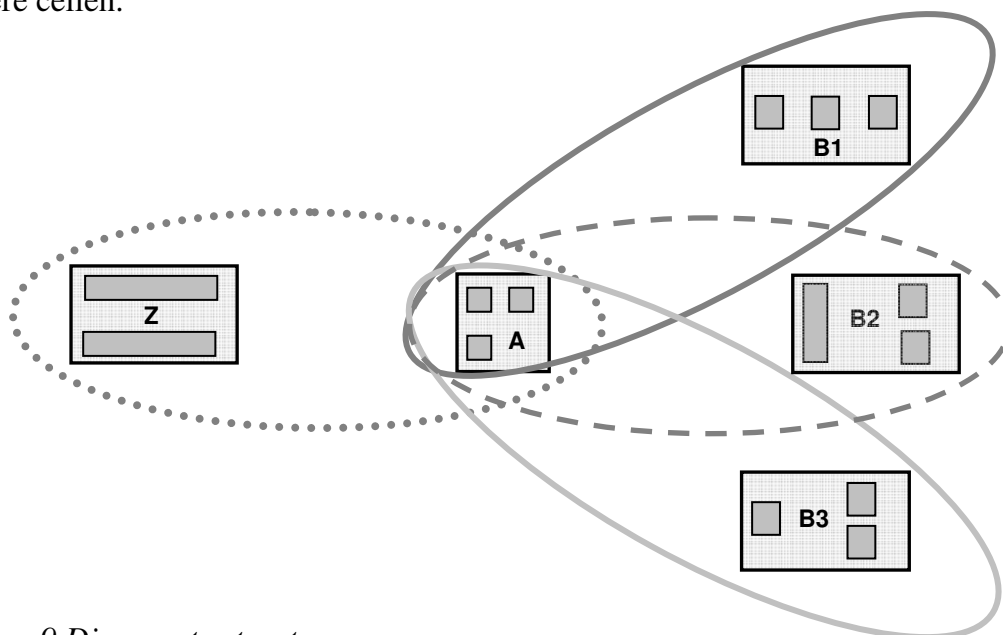
Het aantal veiligheidskaarten bedraagt een klein percentage van het totale aantal Polca kaarten (< 10%).

Veiligheidskaarten worden gebruikt om Polca kaarten opnieuw in roulatie te brengen. Omdat het aantal veiligheidskaarten is gelimiteerd, functioneren ze als tijdelijke oplossing. Ze zijn dus niet geschikt voor het camoufleren van alledaagse probleemsituaties.

Het gebruik van de veiligheidskaarten biedt goede mogelijkheden voor continue verbetering. Het verzamelen van gegevens over het ontbrekende onderdeel (type onderdeel, leverwijze, levertijdstip, vertragingstijd...) leidt tot concrete inzichten in de oorzaken van de tekorten.

5.2 Prioriteiten bij een divergente structuur

Vaak zal een cel niet aan slechts één, maar aan enkele cellen leveren. Figuur 9 toont een dergelijke situatie, waarbij cel A zowel aan cel B1, B2, als B3 orders aanlevert. Om te voorkomen dat de stroom orders naar de ene cel opdroogt terwijl de andere overladen wordt met werk is het van groot belang dat in deze divergente structuur cel A de juiste orders in bewerking neemt. Bij goed gekozen aantallen Polca's in de verschillende loops (dat is: niet te ruim gekozen aantallen) zorgt het Polca systeem er zelf automatisch voor dat cel A de juiste keuzes maakt. Immers, Polca poogt de doorlooptijd in deze trajecten terug te brengen door te zorgen voor een goede spreiding van orders over de verschillende loops. Daarmee voorkomt het systeem ophoping van orders voor cellen met capaciteitstekort en leegloop in andere cellen.



Figuur 9 Divergente structuur

Cel Z kan echter roet in het eten gooien door alleen maar orders aan te leveren voor één van de vervolgotrajecten. In dat geval kan cel A weinig anders doen dan daarvoor te gaan produceren. Het systeem van roulerende kaartjes biedt dus geen oplossing voor een onhandige aanlevering vanuit cel Z. De planner kan echter wel via de vrijgavelijst cel Z zodanig aansturen dat deze problemen zich niet voor gaan doen.

Daarmee is het belangrijkste probleem opgelost, maar nog niet alle. Hoe bepaalt cel A namelijk welke order in productie genomen moet worden als er gekozen kan worden uit verschillende orders?

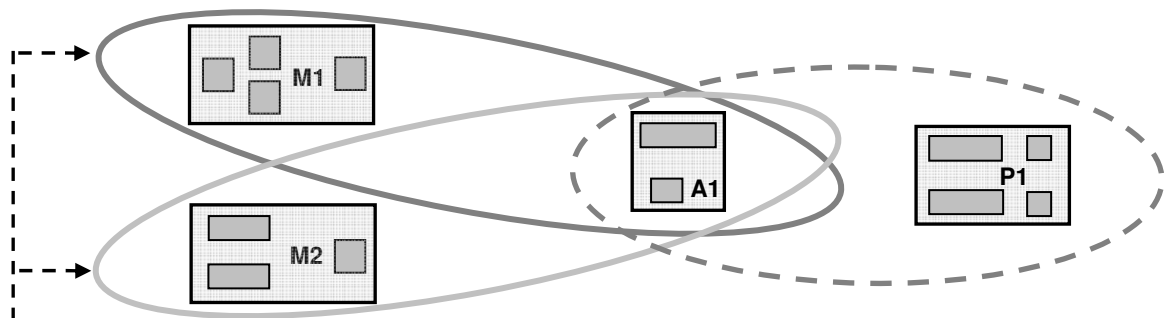
De volgende regels dienen te worden toegepast:

- Polca kaarten die terugkomen worden in alfabetische volgorde gerangschikt zodat ze makkelijk herkenbaar zijn en snel zichtbaar is welke cel veel signalen van toekomstige capaciteitsbehoefte heeft afgegeven en welke weinig.
- Indien uit meerdere orders met hetzelfde vroegste startmoment gekozen kan worden (ze kunnen en mogen dus allemaal direct van start) dan kan worden overwogen prioriteitsregels toe te passen.
- Deze prioriteitsregels kunnen gericht zijn:
 - op de volgende cel(len):
 - “Kies order voor cel met het hoogste aantal Polca’s beschikbaar”;
 - “Kies order met minste aantal resterende cellen”;
 - ...
 - of op de huidige cel:
 - “Kies order met laagste setup tijd in deze cel”;
 - “Kies order met kortste bewerkingstijd in deze cel”;
 -

In een divergente structuur heeft bij goed gekozen aantallen circulerende Polca’s de eerste prioriteitsregel de voorkeur met het oog op de te verwachten doorlooptijdverbetering. Door terugkerende Polca’s alfabetisch te rangschikken ontstaat eenvoudig zicht op de te hanteren prioritering.

5.3 Coördinatie van convergerende trajecten

Convergerende trajecten doen zich voor in geval van assemblage. Hierbij zijn meerdere halfproducten en onderdelen nodig voor één bepaalde assemblage. Zodra deze halfproducten en/of onderdelen afkomstig zijn uit andere cellen dan de cel waar de assemblage zelf plaats vindt, ontstaat er een coördinatieprobleem. Hoe zorgen we binnen het Polca systeem dat de assemblerende cel de materialen uit deze toeleverende cellen verkrijgt? En hoe zorgen we dat – na afronding van de order – het signaal over vrijgekomen capaciteit aan alle toeleverende cellen wordt doorgegeven?



Vrijgavelijsten

Figuur 10 Dubbele Polca loops voor coördinatie van twee convergerende trajecten

Zo zijn in Figuur 10, voorafgaand aan assemblage op cel A1, twee type halffabrikaten nodig die afkomstig zijn van de montagecellen M1 en M2. Deze halffabrikaten dienen samen aanwezig te zijn in A1 voordat daar kan worden begonnen met assemblage. Merk op dat A1 pas mag starten als er een Polca A1/P1 beschikbaar is. Voor het coördineren van de twee convergerende trajecten en het bepalen van het juiste startmoment maakt Polca gebruik van een dubbele Polca loop: M1/A1 en M2/A1.

De bewerking in cel A1 kan pas van start gaan als beide Polca kaarten (M1/A1 en M2/A1) binnen zijn. Tijdens de bewerking in A1 zijn aan deze order dus drie Polca kaarten verbonden: M1/A1, M2/A1 en A1/P1. Na afronding van de bewerking in A1 worden de eerste twee kaarten losgekoppeld van de productieorder en teruggebracht naar het begin van de corresponderende cellen stroomopwaarts. Deze cellen krijgen dan tegelijk het signaal door dat de assemblagecel een order heeft afgerond waar een van hun halffabrikaten in was verwerkt. De dubbele loop zorgt dus voor aanmaak van nieuwe halffabrikaten door beide cellen.

Het probleem is nu om af te stemmen met welke order voor halffabrikaten de afzonderlijke cellen bezig gaan. In cel A komen de beide stromen pas samen en het is niet de bedoeling dat cel M1 bezig is gegaan met een partij onderdelen voor klantenorder 1, terwijl cel M2 gekozen heeft voor klantenorder 2. Want dat zou betekenen dat cel A wel onderdelen krijgt, maar ze niet kan gaan assembleren. Het systeem van circulerende Polca's biedt zelf geen oplossing voor dit probleem, omdat Polca's anoniem zijn (ze signaleren capaciteitsverbruik, maar geen productbehoefte). De orderspecifieke informatie staat op de vrijgavelijst, die voor beide cellen M1 en M2 moet worden opgesteld. In geval van convergerende trajecten is het dus zaak dat de planner deze beide lijsten zodanig opstelt en afstemt met het prioriteitensysteem in de cellen dat dergelijke problemen zich niet voordoen.

Polca maakt gebruik van het bestaande ERP systeem voor het bestellen en monitoren van materialen van externe leveranciers. In feite gaat het ook daar om een convergerend traject. Het onderdeel MRP draagt er zorg voor dat de benodigde materialen worden gespecificeerd en dat deze beschikbaar zijn precies op het moment dat ze benodigd zijn in de cellen. Om dit te realiseren dienen de doorlooptijden van de cellen en de levertijden van de leveranciers wel bekend en betrouwbaar te zijn.

6 Vergelijking materiaalbeheersingssystemen voor Lean productie

We hebben Polca beschreven als alternatief materiaalbeheersingssysteem voor bedrijven die Lean willen zijn, maar zich bevinden in een marktsegment waar orderproductie en korte doorlooptijden de kernwoorden zijn. Daarmee gaat Polca de concurrentie aan met het veel bekendere Kanban systeem in een segment waar toepassing van Kanban veel vragen oproept. Maar wat zijn nu eigenlijk de overeenkomsten en verschillen van het Kanban systeem en Polca? In deze paragraaf geven we daar een overzicht van. Daarmee geven we ook inzicht in de wijze waarop een Polca systeem zorg kan dragen voor een Lean materiaalbeheersingssysteem.

Het Polca systeem beoogt een effectief logistiek concept te zijn voor de aansturing en beheersing van complexe materiaalstromen in een cellulaire productieomgeving. Daartoe maakt Polca gebruik van technieken afkomstig uit traditionele *push* en *pull* systemen.

Zo dient het *push* systeem MRP (onderdeel van elk standaard ERP systeem) bij te dragen aan de planning van materiaalstromen van leveranciers naar de cellen, opdat gereede producten tijdig aan de klant kunnen worden geleverd. Ook worden de verwachte doorlooptijden van de orders in de cellen berekend. Ook dat is gebruikelijk in een *push* systeem, al is de wijze waarop Polca dat doet fundamenteel beter dan de methoden die in MRP worden toegepast (zie pagina 22).

De *pull* techniek, in de vorm van terugkerende Polca's (autorisatiekaarten), zorgt daarnaast voor de communicatie, sturing en beheersing van de materiaalstromen tussen cellen. *Pull* dient om de doorstroom van orders te versnellen, zonder dat daarbij opstoppingen in het productieproces ontstaan.

Plannen van strategische overcapaciteit

Voor het realiseren van korte doorlooptijden dienen wachtrijen zoveel mogelijk vermeden te worden. Voor een effectieve invoering van Polca is het noodzakelijk dat machines niet 100% bezet zijn. Als vuistregel dient de bezettingsgraadnorm van de machines juist rond de 80 – 90% te liggen.

Strategische overcapaciteit wordt, evenals in Lean Manufacturing, gezien als een noodzakelijke investering voor het realiseren van korte doorlooptijden, niet als verspilling.

We zien dus dat er overeenkomsten zijn met het gedachtegoed van Lean Manufacturing, maar ook verschillen. Als we ons concentreren op de materiaalbeheersing, dan zien we:

Punten die behouden blijven ten opzichte van Kanban:

| Systeemkenmerk | Toelichting overeenkomsten Kanban |
|---|--|
| Visueel systeem | Kaartjes symboliseren toestemming tot productie. |
| Verantwoordelijkheid en uitvoering zo laag mogelijk op de werkvloer | Inmenging van planners in lokale planning en overleg over prioriteitenstelling is niet langer nodig. |
| Lage voorraad onderhanden werk | Een Polca symboliseert een bepaalde hoeveelheid onderhanden werk en het aantal circulerende Polca's is gelimiteerd. |
| Korte doorlooptijden | Polca's zorgen voor een zodanige vrijgave en stroomlijning van orders dat de doorlooptijden in de productie kort blijven. De vrijgave van orders kan pas plaatsvinden als er een reële kans is dat er voor de betreffende order op korte termijn capaciteit beschikbaar is, niet alleen in de eerstvolgende processtap, maar ook in de daaropvolgende. |
| Koppeling met volgende processtap | Polca's zorgen voor een strakke koppeling tussen opeenvolgende processtappen, waardoor het systeem als geheel zonder overbodige ballast kan fungeren. |
| Signalering verstoringen in keten | Als er ergens geen producten met Polca's verschijnen waar ze wel verwacht worden is dit een signaal dat er in de voorgaande processtap(en) iets is misgegaan. Het volgende proces wordt hier niet tegen beschermd, maar er juist snel van doordrongen dat er een probleem is waar ook zij misschien bij kunnen helpen om het op te lossen. |

Punten waarin Polca is aangepast ten opzichte van Kanban:

| Systeemkenmerk | Toelichting aanpassingen t.o.v. Kanban |
|------------------------------------|--|
| Versterking visuele aspect systeem | Polca kaartjes hebben twee kleurcodes die samen de deelroute symboliseren van een te produceren order waarvoor toestemming wordt verleend om te produceren. |
| Kaart niet langer productspecifiek | Polca's geven toestemming om een order te maken die aan de genoemde kleurcode voldoet. Het producttype zelf wordt niet op de kaart vastgelegd. |
| Lagere voorraad onderhandenwerk | Doordat Polca's niet langer productspecifiek zijn hoeft er ook geen voorraad meer aangelegd te worden van elk product/halffabrikaat. |
| Signalering verstoringen in keten | Polca's zorgen dat de boodschap van een verstoring in de keten ook snel doorklinkt in voorgaande schakels van het productieproces, die daardoor kunnen beslissen om hun aandacht te richten op het helpen van de betreffende schakel of – als ze meer afnemende schakels hebben – op het produceren voor andere afnemende schakels. |
| Gebruik vrijgavelijst | Op bepaalde schakelmomenten in het proces is er naast de toestemming die een Polca verleent ook toestemming nodig vanuit een door de planner opgestelde vrijgavelijst. Daardoor krijgt de planner een grotere invloed op de voortgang van het werk en kan er eventueel worden overgegaan tot het uitstellen van resterende processtappen voor een bepaalde order ten gunste van andere orders. |
| Opdeling productiesysteem | Een Polca is niet langer productspecifiek, waardoor er voor het totale productassortiment dat geleverd kan worden een zinvolle opsplitsing van het productieproces benodigd is in plaats van een opsplitsing per product. Een dergelijke zinvolle opsplitsing noemen we cellen, waarbij het Polca systeem ervoor zorgt dat de materiaalstromen <i>tussen</i> de cellen goed verlopen. |

7 Conclusies en implementatie

7.1 Conclusie

Polca is een innovatief materiaalbeheersingssysteem voor organisaties die

- te maken hebben met een grote variëteit in producten;
- druk voelen om de levertijd van orders te verkorten of beter te beheersen en
- ideeën die vanuit het Lean Manufacturing gedachtegoed zijn ontwikkeld zouden willen toepassen in hun productiesituatie.

Polca combineert sterke punten van *push* en *pull* systemen. Het streeft naar korte doorlooptijden, lage voorraden onderhanden werk, korte feedbackloops, en een hoge mate van autonomie van de werkvloer.

Het maakt gebruik van visuele signalen in de vorm van Polca kaartjes die tussen cellen circuleren en daarmee aangeven of een cel mag starten met bepaalde orders.

Het maakt gebruik van vrijgavelijsten die gegenereerd kunnen worden uit het bestaande ERP systeem om te sturen welke orders in bewerking worden genomen.

De rol van de planner wijzigt sterk bij toepassing van een Polca systeem. In plaats van de spin in het web functie wordt de rol meer die van facilitator. De planner stuurt op afstand door middel van de vrijgavelijsten, het inzetten van extra Polca's of er uit halen van overbodige Polca's, en het gebruiken van veiligheidskaarten.

Polca verschilt op veel gebieden van Kanban, maar kent ook vele overeenkomsten. Vooral de toepassing van bekende Lean Manufacturing concepten als eliminatie van verspilling, visuele signalen, zelfsturing, continue verbetering, en korte feedback zien we in beide systemen terug.

7.2 Implementatie

Deze publicatie biedt te weinig gelegenheid uitgebreid stil te staan bij de methoden om na te gaan of Polca wel geschikt is in een specifieke productiesituatie. Onderzoek heeft uitgewezen dat Polca voor sommige organisaties een alternatief kan vormen, maar daarmee hoeft het nog niet de meest geschikte optie te zijn. Tenslotte kunnen de symptomen die men wil voorkomen (lange en onzekere doorlooptijden, hoge voorraad onderhanden werk) door tal van factoren veroorzaakt worden. Polca richt zich slechts op een selectie van vaak voorkomende factoren. Onderzoek in de praktijksituatie zal dan ook moeten uitwijzen of Polca daar een bijdrage kan leveren of niet.

De principes van Polca zijn in deze publicatie grotendeels aan de orde gesteld. Op basis daarvan kan een organisatie een vooronderzoek uitvoeren naar de geschiktheid van Polca voor de praktijksituatie. Voordat overgegaan kan worden tot implementatie van een Polca systeem in deze praktijksituatie zal echter aandacht gegeven moeten worden aan twee belangrijke fasen, namelijk

- het ontwerp van het Polca systeem en
- het creëren van draagvlak onder de betrokkenen.

Bij het ontwerp van het Polca systeem zijn beslissingen nodig over

- de afbakening van de cellen;
- de te creëren Polca loops;
- het aantal benodigde Polca's per loop;
- de cellen waarvoor een vrijgavelijst wordt opgesteld;
- de offsettijden (celdoorlooptijden) die worden gehanteerd;
- de verdeling van taken die nodig zijn om het Polca systeem te laten functioneren; en
- de fysieke kenmerken van het systeem, zoals
 - de wijze waarop de Polca's aan de orders worden bevestigd en
 - de wijze waarop beschikbare Polca's ten toon worden gesteld in de cel.

Bij het creëren van draagvlak onder de betrokkenen zijn beslissingen nodig over

- het tijdsplan en de mijlpalen daarin
- informatie en publiciteit

- training van medewerkers
- eventuele aanpassingen van het informatiesysteem
- omgaan met weerstanden

Het Polca systeem is nog maar recent ontwikkeld en in Nederland zijn er nog geen implementaties. Toch lijkt dit systeem zeer aantrekkelijk voor juist Westerse productiebedrijven die Lean concepten willen combineren met een klantgerichte benadering. Onderzoek naar implementaties van dit systeem is dan ook hard nodig. De basiseenheid Ontwerp van Productiesystemen van de *Rijksuniversiteit Groningen* stelt daarom haar expertise op dit vlak beschikbaar. Daarmee beoogt ze twee vliegen in een klap te slaan. Enerzijds kunnen bedrijven tegen een geringe vergoeding gebruik maken van de ontwikkelde instrumenten die ingezet kunnen worden bij vooronderzoek, ontwerp en implementatie van een Polca systeem, waarmee haar maatschappelijke verantwoordelijkheid en betrokkenheid bij het innoverende bedrijfsleven verder gestalte krijgt. Anderzijds kunnen de daarbij verzamelde gegevens – geanonimiseerd – gebruikt worden om in de wetenschappelijke literatuur te publiceren over de ervaringen met Polca.

De basiseenheid Ontwerp van Productiesystemen van de *Rijksuniversiteit Groningen* (*RuG*) kan op de volgende manieren behulpzaam zijn bij verder onderzoek naar de mogelijkheden van Polca in praktijksituaties:

1. Uitvoeren vooronderzoek geschiktheid Polca voor een praktijksituatie.

Met behulp van de aan de *RuG* ontwikkelde *Polca Scanning Tool* (Pieffers, 2005) voert een afstudeerder onder begeleiding van een ervaren onderzoeker een kortdurend onderzoek uit binnen het bedrijf. Daarbij wordt informatie gegeven over Polca, benodigde data verzameld, observaties uitgevoerd, interviews gehouden en een advies geschreven en gepresenteerd.

Polca scanning tool

Met behulp van de aan de *RuG* ontwikkelde Polca Scanning Tool (Pieffers, 2005) kan een onderbouwd advies worden gegeven over de toepasbaarheid van Polca in een organisatie.

2. Ondersteunen ontwerp Polca systeem.

Met behulp van methoden en technieken kan ondersteuning worden gegeven aan de besluitvorming over de ontwerpbeslissingen. Ook is er een simulatietool ontwikkeld, waarmee de gevolgen van een beslissing over het aantal kaarten inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

3. Creëren draagvlak

Presentaties, workshops en trainingen kunnen worden verzorgd. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van een speciaal *Polca game* dat ontwikkeld is om de werking van het systeem in een spelsituatie na te bootsen (Epping, 2005). In dit game concurreren teams van zes personen met elkaar door de ene keer zonder en de andere keer met een Polca systeem (virtuele) meubels te produceren. Het game duurt ongeveer drie uur en er kunnen maximaal drie teams tegelijk deelnemen aan het game.

Polca game

Met behulp van het aan de RuG ontwikkelde Polca game (Epping, 2005) kan in een bijzondere leersituatie en in een korte tijd het inzicht in de werking van Polca worden verbeterd.



Verdere interesse?

U kunt contact opnemen met de basiseenheid Ontwerp van Productiesystemen van de RuG, Dr. J. Riezebos, j.riezebos@rug.nl, tel. +31 50 3634853, Postbus 800, 9700AV Groningen.

Relevante literatuur

Epping, E.M., *Let's Polca!, a simulation game for introducing Polca*, Faculteit Bedrijfskunde, Rijksuniversiteit Groningen, augustus 2005.

Hopp, W.J., Spearman, M.L., To Pull or Not to Pull: What Is the Question?, *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 6, No. 2, pp. 133–148, Spring 2004.

Pieffers, J., *LET'S POLCA?, Een case studie georiënteerd onderzoek naar de praktische toepasbaarheid van Polca als innovatief material control system*, Faculteit Bedrijfskunde, Rijksuniversiteit Groningen, augustus 2005.

Riezebos, J., *Design of a period batch control planning system for cellular manufacturing*, Rijksuniversiteit Groningen, 2001.

Stevenson, M., Hendry, L.C., Kingsman, B.G., A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 5, 869–898, March 2005.

Suri, R., *Quick Response Manufacturing: A Companywide Approach to Reducing Lead Times*, Productivity Press Inc, 1998.

Suri, R., Krishnamurthy, A., *How to Plan and Implement POLCA: A Material Control System for High-Variety or Custom-Engineered Products*, Technical Report, Center for Quick Response Manufacturing, <http://www.qrmcenter.org>, May 2003.

Vandaele, N., Claerhout, D, Nieuwenhuysse, I. van, *E-POLCA to control multi-product, multi-machine job shops*, Faculty of Applied Economics, University of Antwerp, 2005.

Womack, J.P., Jones, D.T., *Lean thinking, banish waste and create wealth in your corporation*, Free Press, 2003.

Website Ontwerp van Productiesystemen: <http://www.bdk.rug.nl/organisatie/clusters/PSD/>