

Hoofdstuk F: Batching and other flow interruptions: setup times and the economic order quantity model.

Production cycle: het proces dat steeds weer herhaald wordt.

Batch: een verzameling van flow units.

Batching is een noodzakelijk of wenselijk gevolg als er lange setup(omstel)-tijden zijn of hoge omstelkosten.

Batching leidt ook tot voorraadvorming voorafgaand aan een processtap

Als de batch size toeneemt wordt de setup time verdeeld over meer flow units.

Daarmee neemt de netto procescapaciteit toe.

De capaciteit van een resource:

$$\text{Capacity given batch size} = \frac{\text{batch size}}{\text{Setup time} + \text{batch size} \times \text{processing time}}$$

De **batch size** is het aantal flow units die gemaakt worden in één cycle voordat het proces zich weer herhaald.

De **setup time** zijn alle omsteltijden bij de productie van een batch.

De **processing time** zijn alle productietijden die nodig zijn om een complete flow unit te produceren.

Het is lastig om de interactie tussen batching en voorraad te bepalen. Als een bedrijf twee verschillende soorten producten produceert op één 'loopband', is het handig deze in batches te produceren. Hierbij is dan ook voorraad nodig, om de andere producten op dat moment op te slaan. Wachten is vaak de dominantste activiteit. Hoe groter de batch size hoe langer de flow units op elkaar moeten wachten voor ze het systeem in kunnen. Dit betekent ook dat er een grotere voorraad capaciteit nodig is.

Mixed-model/heijunk production: werken in batches van één. Dit zou ideaal zijn om te voldoen aan de vraag.

Kiezen van een batch size:

- Als de setup tijd de bottleneck is (bij een capacity-constrained process), is het handig de batch size te vergroten, zo wordt wordt de capaciteit groter en daarmee komt er een hogere flow rate.
- Als de setup tijd niet de bottleneck is (bij een demand-constrained process), is het handig om de batch size te verkleinen, zodat de voorraad en de flow time afneemt.

$$\text{Recommended batch size} = \frac{\text{flow rate} \times \text{setup time}}{1 - \text{flow rate} \times \text{processing time}}$$

Stappenplan om batch te bepalen:

1. Bepaal de flow rate
2. Bepaal hoe de production cycle eruit ziet met setup en de processen
3. Bepaal hoelang de setup tijd van een resources is.
4. Bepaal hoe lang alle processing times zijn voor een unit

$$5. \text{ Capacity} = \frac{\text{batch size}}{\text{Setup time} + \text{batch size} \times \text{processing time}}$$

$$6. \text{ Capacity} = \text{flow rate}$$

$$\text{Recommended batch size} = \frac{\text{flow rate} \times \text{setup time}}{1 - \text{flow rate} \times \text{processing time.}}$$

De setuptijd kan gereduceerd worden door **SMED**: Single Minute Exchange of Dies. Deze methode probeert een realistisch doel te maken en zoekt naar potentiële mogelijkheden om de setup tijd te verminderen. Het onderliggende idee van SMED is om alle taken van de setup tijd te analyseren en deze te verdelen in twee groepen, the internal en the external tasks.

- *Internal tasks*: taken die alleen gedaan kunnen worden als de machine stil staat.
- *External tasks*: taken die gedaan kunnen worden terwijl de machine opereert. Wat betekent dat ze kunnen worden gedaan voordat de daadwerkelijke omschakeling plaatsvindt.

Hierbij is het doel om de tijd die nodig is voor de internal taken te verminderen. Door bijvoorbeeld te zorgen dat alle materialen klaarstaan wanneer ze nodig zijn.

Economic order quantity: zorgt dat de som van bestel- en voorraadkosten minimaal wordt.

$$\text{Average inventory} = \frac{\text{order quantity}}{2}$$

$$\text{Inventory costs (per unit of time)} = \frac{1}{2} Q \times h$$

Q = order quantity
h = holding cost

$$\text{Setup costs (per unit of time)} = \frac{K \times R}{Q}$$

K = setup cost
R = time of ordering cycle

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2 \times K \times R}{h}}$$

Als C(Q) de som is van de gemiddelde delivery costs per unit time en de gemiddelde holding costs per unit of time geldt:

$$\text{Per unit of time costs } C(Q) = \frac{K \times R}{Q} + \frac{1}{2} \times h \times Q$$

Stappenplan om Economic order quantity te vinden:

- Vindt K, R en h
- Bepaal $\text{Inventory costs (per unit of time)} = \frac{1}{2} Q \times h$
 $\text{Setup costs (per unit of time)} = \frac{K \times R}{Q}$

$$- \text{EOQ} = \sqrt{\frac{2 \times K \times R}{h}}$$

- De resulterende kosten bepalen door:

$$C(Q) = \sqrt{2 \times K \times R \times h}$$

Hoofdstuk 8 – Variability and its impact on process performance: waiting time problems.

Bronnen van variabiliteit

- Variabiliteit van orders of klanten: Aankomsten zijn bijna nooit helemaal regelmatig.
- Variabiliteit in proces tijden: een persoon zal nooit 100 keer een stap op dezelfde manier uitvoeren. Klanten die bediend worden brengen bijna altijd variatie mee omdat elke klant verschillend is. Bewerkingstijden variëren door de ordermix en door onzekerheid
- Random beschikbaarheid van resources: bijvoorbeeld machine uitval, ziekte.
- Random routing als er verschillende flow units zijn in het proces: units die allemaal langs andere resources gaan.

Variatie in wachtrij modellen worden weer gegeven voor de coefficient of variation (CV). We beschouwen de CV_a en CV_p (dus 2 bronnen van variatie).

- De a slaat op de inter-arrival times (tussenaankomsttijden), de (variabele) tijd tussen twee klant- of orderaankomsten.
- De p slaat op de processing times (bedienings/bewerkingstijd), de (variabele) tijd die nodig is om de klant of order te verwerken:

Coefficient of variation = $\frac{\text{Standard deviation}}{\text{Mean}}$

Er zijn altijd wachtrijen, ook als de utilization minder is dan 100%.

Wachtrij theorie en notatie:

Stationary arrival process (generiek): klanten arriveren met een bepaald tijdsinterval.

Poisson arrival process (exponentieel): klanten arriveren met een exponentieel tijdsinterval

Bij een normale verdeling bepaal je het gemiddelde en de standaard deviatie.

Bij een exponentiele verdeling is gemiddelde = standaarddeviatie = CV = 1

G/G/M systeem: Dit is het soort wachtrij en gaat over de aankomsten en processing times.

De eerste letter zijn tussen aankomsttijden. G staat voor generiek (stationary). M voor exponentieel (poisson).

Tweede letter staat voor de 'bedieningsuren'.

Derde letter staat voor aantal bedieners. 1 betekent één bediener, m betekent meerdere bedieners.

G/G/1: generieke aankomsten, 1 bediener.

Utilization = $\frac{\text{Flow rate}}{\text{Capacity}} = \frac{1/a}{1/p} = p/a$ p = processing time
a = interarrival time

Flow time $T = T_q + p$ flow time T: tijd in het systeem

$$I = I_q + I_p$$

T_q = wachttijd in rij

I = overall inventory

I_q = inventory in queue

I_p = inventory in process

$$\text{Time in queue } T_q = \text{processing time} \times \left(\frac{\text{utilization}}{1 - \text{utilization}} \right) \times \left(\frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$$

Resulting inventory:

$$I = R \times T = \frac{1}{a} \times (T_q + p)$$

R = demand rate

$\frac{1}{a}$ = flow rate

G/G/m: generieke aankomsten, meerdere bedieners.

$$\text{Utilization} = \frac{\text{Flow rate}}{\text{Capacity}} = \frac{1 / \text{interarrival time}}{(\text{number of resources} / \text{processing time})} = \frac{1}{a} = \frac{p}{m \times a}$$

a = interarrival time

m = number of resources

p = processing time

$$T_q = \left(\frac{\text{processing time}}{m} \right) \times \left(\frac{\text{utilization} \sqrt{2(m+1)} - 1}{1 - \text{utilization}} \right) \times \left(\frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$$

M/M/1: exponentiele aankomsten, 1 bediener.

$$T_q = p \times \left(\frac{u}{1 - u} \right) \quad CV = 1$$

Stappenplan om wachttijden te berekenen:

- Bepaal welk systeem
- Verzamel de volgende data: aantal resources (m), processing time (p), interarrival time (a), coefficient of variation voor interval (CV_a) en voor processing time (CV_p).
- Bereken utilization $u = \frac{p}{m \times a}$
- Bereken T_q
- Gebaseerd op T_q kunnen de volgende performance berekeningen gemaakt worden:
 - Flow time $T = T_q + p$
 - Inventory in service $I_p = m \times u$
 - Inventory in queue $I_q = T_q / a$
 - Inventory in the system $I = I_p + I_q$

Pooling betekent dat je m wachtrijen met m afzonderlijke bedieners combineert tot één. Dus ook m keer zoveel aankomsten. Ook in dat geval daalt toch de gemiddelde wachttijd met ongeveer een factor $>m$:

$$T_q = \left(\frac{\text{processing time}}{m} \right) \times \left(\frac{\text{utilization} \sqrt{2(m+1)} - 1}{1 - \text{utilization}} \right) \times \left(\frac{CV_a^2 + CV_p^2}{2} \right)$$

Pooling is handig om de wachttijd voor klanten te verlagen zonder extra werknemers aan te hoeven schaffen of het aantal werknemers verminderen en toch hetzelfde aantal klanten te blijven verwerken.

Beperkingen van pooling:

- Minder effect als klant zelf ook al kortste wachtrij herkent en hiervoor kiest.
- Je hebt bedieners nodig die meer soorten bedieningen kunnen doen.
- Klant wil over het algemeen graag een vast aanspreekpunt
- Er kunnen setups ontstaan bij switchen tussen klanttypen
- Variatie in bedieningsduren kan toenemen als bedieningen met lange en korte duren gecombineerd worden

In wachtrijen wordt er vaak geprioriteerd. Dit gebeurt vaak door een kleine stap aan het begin van het proces wanneer klanten arriveren: de **triage step**. Hier wordt informatie verzameld over bepaalde karakteristieken van de arriverende klant. Dit kan op twee manieren:

- **Processing time dependent priority rules:** hierbij wordt gekeken naar de klant met de kortste proces tijd en deze krijgt prioriteit. Denk aan de spoedeisende hulp.
- **Processing time independent priority rules:** hier wordt vaak de first come, first served regel gebruikt.

Wachttijden verkorten of perceptie van wachttijden verkorten door:

- Zorg voor spiegels, lectuur, entertainment, invulformulieren
- Splits het proces: snelle eerste stap, volgende rij uit het zicht
- Laat merken dat de klant is signaleerd
- Leg oorzaak wachttijd uit, maak bijvoorbeeld prijsvoordeel duidelijk
- First come first service, splits trage en snelle diensten, alleen werkend in beeld
- Breng de (eventuele overschatte) wachttijd in beeld
- Voldoende ruimte om te wachten, koffie serveren
- Zorg dat medewachtenden in beeld zijn
- Kies een geschikte wachtrijconfiguratie