HOOFDSTUK 8: LOGISTIEKE KOSTEN

Het concept van business logistics

Business logistics wordt gedefinieerd als de movement, de opslag en andere verwante activiteiten tussen de oorspronkelijke plaats waar een bedrijf zijn grondstoffen haalt en de plaats waar producten nodig zijn voor consumptie door de klanten.

- ⇨ Logistiek = vervoer, productie en opslag
- ⇨ Van grondstof tot het moment van verkoop van het product

Logistiek omvat dus een hele keten van activiteiten:

- Aanvoer van grondstoffen = Materials management
- Activiteiten binnen het bedrijf
- Verdeling naar de klanten = Physical distribution

Logistiek biedt een geïntegreerde aanpak waarbij de movement, de behandeling, het bestellen en verpakken van goederen, net als de administratie, de klantenservice en andere ondersteunende activiteiten, als 1 geheel worden gezien.

- ⇨ Voorbeelden:
    - o Als men moet kiezen tussen verschillende transporttechnieken, zal men zijn beslissing niet enkel laten leiden door de goedkoopste transportkost. Men moet ook rekening houden met bvb voorraadkosten en verpakkingskosten.
    - o Wanneer men de klant de garantie geeft van snelle levering, moet men niet enkel kijken naar het positieve effect op de tevredenheid van de klant en op het marktaandeel, maar men moet ook rekening houden met de gevolgen voor het voorraadniveau, de verkrijging, de kosten van orderverwerking en transportkosten.

Een belangrijk element in de geïntegreerde logistieke aanpak is het “total cost concept”:
Bij elke logistieke beslissing moet men rekening houden met de kosten van de hele logistieke keten, die bestaan uit:

- Transportkosten
- Freight handeling costs
- Inventory costs (incl. warehouse costs)
- Stock-out costs
- Verpakkingskosten
- Kosten van orderverwerking
- Administratiekosten
- Start-up kosten
- Kosten van klantenservice
- Vestigingskosten (location costs)

Elke transportbeslissing zal een effect hebben op elk van deze logistieke kosten.

Transportkosten (transportation costs)

Als iemand de transportdiensten inhuurt van een professionele carrier, dan zijn de transportkosten wat men betaalt aan de carrier.

- ⇨ MAAR: - tarieven van carriers zijn niet altijd transparant
  - toekomstige prijzen kunnen niet altijd voorspeld worden.
- ⇨ Moeilijk om lange termijn contracten te sluiten die volledige zekerheid bieden over de transportprijzen.

Als een bedrijf het transport voor eigen rekening neemt, zal ze met dezelfde problemen geconfronteerd worden als de professionele carriers wanneer ze de kosten wil berekenen.

- ⇨ Kosten kunnen vast of variabel zijn
- ⇨ Kosten kunnen gedrukt worden door optimale routing, de aankoop van het juiste voertuig, het op het juiste ogenblik vervangen van het voertuig, …
- ⇨ Schaalvoordelen komen voort uit het volume van de lading die vervoerd wordt.
  In termen van transportkosten zou de vervoerder steeds moeten gaan voor de grootst mogelijke lading.
  Dit gebeurt echter niet: men moet ook rekening houden met andere logistieke kosten, die sterk toenemen met de grootte van de lading.

- ⇨ In termen van transportkosten, zou men steeds moeten opteren voor het traagste vervoermiddel:
  Traag vervoer per schip kost bvb minder dan supersnel vervoer per vliegtuig.
  MAAR: ook hier moet men rekening houden met andere logistieke kosten.

Behandelingskosten (Handling costs)

Transportbeslissingen kunnen een invloed hebben op de behandelingskosten bij het lossen en laden, of bij de transhipment van goederen.
Deze kosten ontstaan direct bij de schipper als zijn eigen personeel het materiaal behandelt, anders zullen ze hem aangerekend worden door professionele operatoren.

Het effect van een transportbeslissing kan soms aanzienlijk zijn:

- ⇨ Voorbeeld:
  De tarieven van een container operateur in een zeehaven voor het lossen van een container op een woonschip zullen hoger zijn dan voor het lossen op een truck.
  Afhankelijk van de beslissing om bulk niet te vervoeren via de weg, maar via waterwegen of per spoor, zullen additionele behandelingskosten optreden.

Het effect van een transportbeslissing op de behandelingskosten is soms verwaarloosbaar:

- ⇨ Vele operatoren hebben een uniform tarief dat binnen bepaalde voorwaarden constant is per ton.
  De beslissing om goederen te vervoeren per woonschip (barge) met een verschillende laadcapaciteit kan dan genomen worden zonder dat er extra behandelingskosten ontstaan.

Voorraadkosten (Inventory costs)

Voorraadkosten hangen nauw samen met transportbeslissingen:

→ Trade-off tussen voorraadkosten en transportkosten maken

→ Nieuwe trends: JIT delivery en zero-based inventory systems:

Hogere transportkosten om voorraadkosten te drukken

De jaarlijkse kost om goederen in voorraad te houden, h, bestaat uit 4 componenten:

- Intrestkosten:

  = jaarlijkse intrestvoet op de waarde van het goed

  ⇨ Juiste intrestvoet?

  De verwachte prijsstijging van de goederen aftrekken van de intrestvoet.

  De verwachte prijsstijging schatten door de algemene inflatiegraad.

  Meestal raadzaam om de intrestvoet gelijk te stellen aan de reële intrest

  → Reële intrest = intrest + inflatie

- Risicokosten / verzekeringskosten

  = verzekering van goederen tegen brand of diefstal

  Indien geen verzekering: risico dat je zelf loopt.

  Verzekeringskosten zijn meestal verwaarloosbaar.

- Ontwaardingskosten

  Goederen kunnen in waarde verliezen door bederf of door economische ontwaarding.

  → Economische ontwaarding: commercieel waardeverlies omdat producten uit de mode raken, niet meer nuttig zijn, …

  → Voorbeelden:

  - Digitale camera's: door voortdurende technische innovatie steeds betere producten op de markt
  - DVD-spelers: op 1 jaar tijd is de prijs gedaald van 500€ tot 100€
    Verlies van 80% per jaar

  In sommige gevallen is de ontwaardingskost = 0:

  → Voorbeelden:

  - Bedrijven die stookolie of ijzererts in voorraad houden:
    Stookolie / ijzererts bederft niet en raakt niet uit de mode
  - Reserveonderdelen voor een bepaald model van auto

Ontwaardingskosten zijn vaak de belangrijkste factor in de jaarlijkse voorraadkosten.
Ze verschillen enorm van product tot product => schatting moeilijk

- 1e methode: empirisch:

  Waarnemen van de ontwaardingskosten die zich in het verleden hebben voorgedaan.

  → Bvb: opruimingsacties waarbij goederen onder hun aankoopprijs worden verkocht: $\frac{\text{68 988 € kosten opruimingsacties}}{\text{320 000 € kosten voorraad}}$ = 21,56% ontwaardingskost/jaar

- 2e methode: gemiddelde commerciële levensduur van een product

  Bvb: computersector: de gemiddelde levensduur wordt geschat op 3 jaar, maar kan soms veel langer zijn, bvb diskettes

  Als een computer 1 jaar in voorraad wordt gehouden, neemt men aan dat de kans op economische ontwaarding 1/3 bedraagt

  ⇨ ontwaardingskost/jaar = 33%

- Magazijnkosten
  - Als goederen bewaard worden in publieke magazijnen:

    Bvb: zeehavens, luchthavens en distributiecentra: jaarlijks tarief per ton
  - Als goederen bewaard worden in private magazijnen:

    De jaarlijkse magazijnkosten bestaan uit leasingkosten of intrestkosten en afschrijving van het gebouw, maar ook uit verwarming, elektriciteit, onderhoudskosten, …
  - Het is fout om de magazijnkosten te berekenen op basis van de maximale capaciteit van het magazijn:

    De volle capaciteit zal niet altijd benut worden → fluctuaties in voorraad

    In de regel moet men de jaarlijkse kost van het magazijn delen door het gemiddelde voorraadniveau.
  - Soms zijn de magazijnkosten = 0:

    Als een bedrijf ruimte op overschot heeft in zijn magazijn, zal extra bijkomende voorraad op korte termijn niet tot hogere magazijnkosten leiden. Magazijnkosten kunnen verwaarloosd worden aangezien de variabele kosten gelijk zijn aan nul.
  - Verschil met de andere componenten van de jaarlijkse voorraadkost h:

    Tijdens het transport zijn er geen magazijnkosten, wel intrestkosten, ontwaardingskosten en verzekeringskosten (hoger tijdens transport).

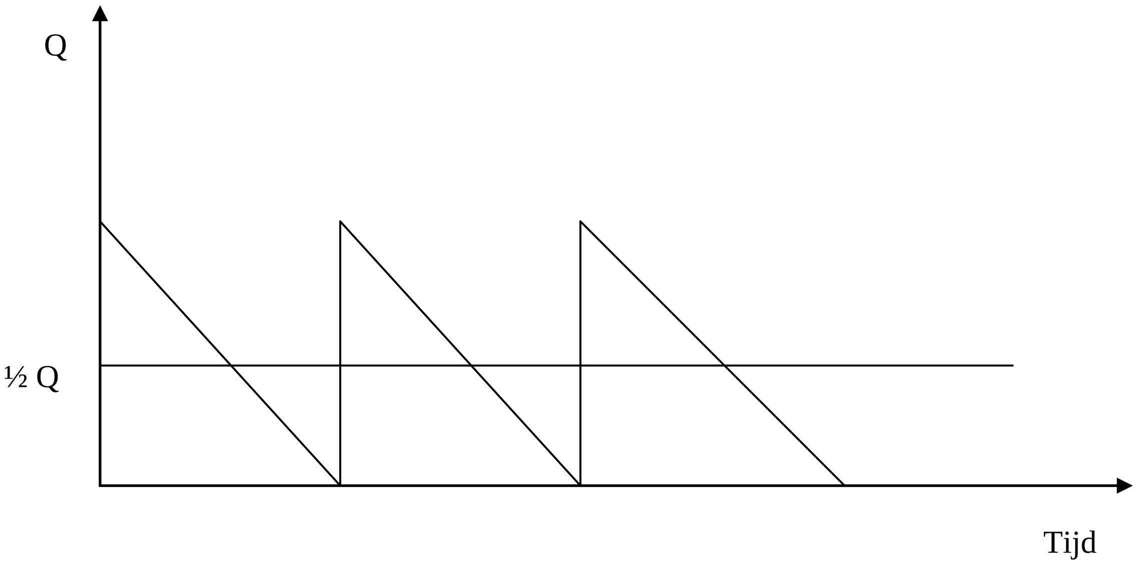
Types van voorraad waarop voorraadkosten moeten worden aangerekend:

- Cyclische voorraad
- Voorraad tijdens transport (in-transit inventory)
- Veiligheidsvoorraad
- Speculatieve voorraad
- Seizoensvoorraad
- Dode voorraad

Cyclische voorraad

Als een bedrijf goederen bestelt, is dit meestal de hoeveelheid die aan de vraag voldoet over een bepaalde periode.
De verkregen goederen zullen zich een bepaalde periode in voorraad bevinden.
De evolutie van de voorraad is cyclisch:
Met de aankomst van een vracht, zal de voorraad toenemen met de geleverde hoeveelheid.
Daarna zal de voorraad dalen met de snelheid waarmee de goederen geconsumeerd worden.
Met de aankomst van een volgende vracht, zal de voorraad opnieuw stijgen met de geleverde hoeveelheid, om daarna weer af te nemen.

Grafisch:



Telkens wanneer een bestelling aankomt, gaat de curve verticaal omhoog.
Daarna neemt de voorraad geleidelijk af.

Veronderstelling: constant verbruiksritme

Gemiddeld blijft de halve bestelhoeveelheid in voorraad: ½ Q

→ Deze regel hangt niet af van de veronderstelling van constant verbruiksritme

→ MAAR: de fluctuaties in voorraad mogen niet gecorreleerd zijn met de aankomst van bestellingen. => Dan vervalt de regel van ½ Q

→ Voorbeeld: als je meer verbruikt na de aankomst van een bestelorder

Cyclische voorraadkost = $\frac{0{,}5\ Q \times h}{D}$ met h = holding cost

D = debiet

2 manieren om de cyclische voorraadkost te drukken:

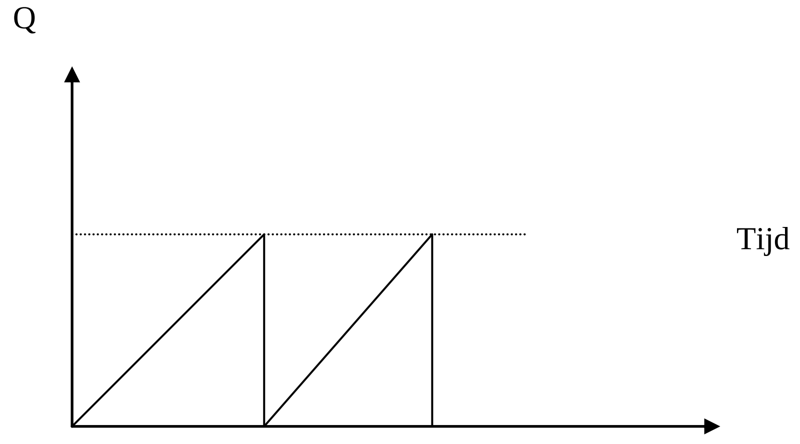
- Opvoeren van het debiet

  Verdubbeling van het debiet → halvering van de kosten
- Vermindering van de partijgrootte

Tot hiertoe hebben we verondersteld dat cyclische voorraad zich vormt op de plaats van bestemming, maar kan zich ook vormen op de plaats van herkomst.

→ Als debiet op de productieplaats groot: cyclische voorraad nagenoeg nul

→ Als debiet klein:



De voorraad wordt geleidelijk aan opgebouwd door productie en daalt dan plotseling met een bestelorder.

De halve bestelhoeveelheid blijft gemiddeld in voorraad.

Voorraad tijdens transport

Elk product wordt in voorraad gehouden gedurende de totale transporttijd.
Gedurende deze tijd zijn ze onderworpen aan voorraadkosten, die bestaan uit:

- Intrestkosten
- Verzekeringskosten
  Deze kunnen hoger zijn, aangezien het risico tijdens transport groter is dan in het magazijn.
- Ontwaardingskosten

Tijdens het transport zijn er geen magazijnkosten

Voorraad tijdens transport moet niet onderschat worden:

→ Het volume tijdens transport kan de cyclische voorraad overtreffen

→ Bvb: wanneer een bedrijf zijn voorraad maandelijks aanvult, zal een gemiddelde ton goederen 2 weken in cyclische voorraad blijven.
Het is goed mogelijk dat de totale transporttijd langer is dan 2 weken.
De goederen zijn dan langer in voorraad tijdens transport dan in cyclische voorraad.

Voorraadkosten tijdens transport zetten aan tot de keuze van snellere vervoerswijzen
↔ Cyclische voorraadkosten zetten aan tot transport in kleine hoeveelheden

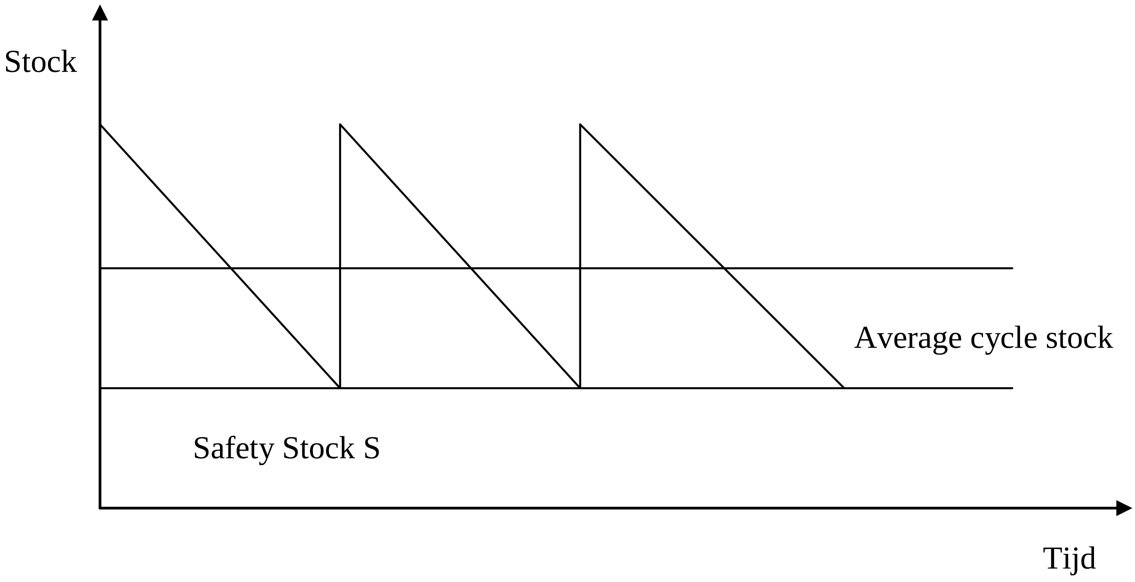
Veiligheidsvoorraad

= Reservevoorraad, buffervoorraad
= de voorraad die aangehouden wordt bovenop de cyclische voorraad omdat men onzeker is over de vraag of de levertijd (tijd tussen doorgeven van de order en levering van de order = lead time)

⇨ om onvoorziene schommelingen op te vangen

⇨ om te voorkomen dat er geen voorraad meer is (stock-out)

Grafisch:



Nieuwe bevoorrading komen niet aan wanneer de voorraad nul is, maar wanneer de voorraad op het niveau van de veiligheidsvoorraad komt.

Veronderstelling: constant verbruiksniveau zodat het ledigen van de voorraad lineair is

Gemiddelde voorraad = ½ Q + S

In de praktijk: allerlei willekeurige fluctuaties mogelijk zodat het ledigen van de voorraad op het ene moment snel gaat en op het andere moment traag.

Als er ook fluctuaties zijn in de order lead time, dan zullen er verplaatsingen zijn over de tijdsas in de verticale voorraadsprongen.

Hierdoor zullen leveringen niet altijd overeenkomen met het niveau van de veiligheidsvoorraad.

Als dat het geval is, is er geen nood aan een veiligheidsvoorraad:

→ Omwille van de fluctuaties zal op het moment van levering de voorraad soms hoger zijn dan de veiligheidsvoorraad, soms lager, en soms zelfs nul.

→ Gemiddeld genomen zal over een periode van ordercyclussen het voorraadniveau bij levering gelijk zijn aan de veiligheidsvoorraad.

De veiligheidsvoorraad is afhankelijk van 4 elementen:

- De aanvoertijd (order lead time)
  Dit is de tijd die verstrijkt tussen de beslissing om goederen te bestellen en de effectieve aankomst van de goederen in het magazijn.
  Hoe langer en hoe wisselvalliger de lead time, hoe hoger de veiligheidsvoorraad.
- De vraag / Het verbruik / dalingsritme van de voorraad
  Hoe hoger en hoe wisselvalliger de vraag, hoe hoger de veiligheidsvoorraad.
- De aanvaardbaarheid van een tekort
  Een manager die afkerig is van risico's, zal opteren voor een hoge veiligeheidsvoorraad.
- Methode van voorraadbewaking
  2 opties:
  - Continuous review:
    = permanente voorraadbewaking
    Men kent steeds het exacte voorraadniveau en een bestelling zal geplaatst worden vanaf het moment dat het voorraadniveau onder een bepaalde hoeveelheid zakt.
  - Fixed interval reviewing:
    = periodieke voorraadbewaking
    Het voorraadniveau wordt gecontroleerd op vaste tijdstippen en een bestelling kan enkel geplaatst worden op 1 van deze tijdstippen.
    De veiligheidsvoorraad zal hier dus hoger moeten zijn dan bij een systeem van permanente voorraadbewaking.

+ Voorbeeld (p. 189- 199)

Speculatieve voorraad

Soms zal men voorraad willen vergaren omdat men denkt dat de prijs van goederen zal stijgen

Er kunnen reeds speculatieve elementen zitten in de kostberekening van de cyclische voorraad, in de voorraad tijdens transport en in de veiligheidsvoorraad:
De jaarlijkse voorraadkost h bestaat o.a. uit de intrest die we bekomen door van de nominale intrest de verwachte prijsstijging af te trekken.
Als men een grote prijsstijging verwacht, zal de jaarlijkse voorraadkost h dalen, wat zal leiden tot een verhoging van de voorraad.
Bij verwaarloosbare of zelfs negatieve reële intrest:

- zal de cyclische voorraad vrij groot zijn
- zal men zal trager vervoer gebruiken die grote hoeveelheden in voorraad houden tijdens het transport
- zal er minder aandacht worden besteed aan de stiptheid, wat aanleiding geeft tot een hogere veiligheidsvoorraad.

Soms kan de verwachte prijsstijging zo hoog zijn, dat niet alleen de reële intrest, maar ook de jaarlijkse voorraadkost h negatief is:

→ Men zal maximaal gebruik maken van ruimte in magazijnen om speculatieve voorraad aan te houden.

→ Veiligheidsvoorraad verdwijnt uit de berekening

→ Voorraad tijdens transport is winstgevend, omwille van de verwachte prijsstijging en de negatieve holding costs.

→ De cyclische voorraad blijft een nadeel:
De cyclische variatie belet om de hele voorraadruimte te gebruiken voor het aanhouden van speculatieve voorraad.
Wanneer voorraden aankomen in grote hoeveelheden, moet er een groot deel van de magazijnruimte worden vrijgemaakt voor de volgende levering.

Cyclische voorraad bemoeilijkt dus het bijhouden van speculatieve voorraad:

→ Voorbeeld: graan:
Bevoorrading gebeurt in schepen van 2000 ton. De maximale capaciteit van de silo is 3000 ton. De voorraad moet gedaald zijn tot 1000 ton vooraleer terug bevoorraad wordt.

⇨ Traag vervoer

Seizoensvoorraad

Soms is het noodzakelijk om voorraad aan te houden omdat de productie van goederen onderworpen is aan seizoensvariaties die verschillen van de vraagschommelingen.
Het is geen voorraad die men cyclisch aanlegt, niet als veiligheid en niet opgedrongen door het vervoer. Men het voorraadbeleid aanpassen aan het seizoen.
Men maakt dan best gebruik van traag vervoer, bvb aan boord van een schip.
Voorraadbeslissingen verliezen aan belang:

→ Bvb ook zichtbaar in de graanprijzen:
Tijdens de productiepiek is de prijs laag, in de loop van het jaar stijgt de prijs.

Dode voorraad

Dit is voorraad die onverkoopbaar is geworden.
Voorraadbeslissingen kunnen hierin een rol spelen:

→ Levering in grote hoeveelheden of door traag vervoer kan ervoor zorgen dat voorraad in ongebruik raakt.

→ Dit risico zou mee berekent moeten zijn in de jaarlijkse voorraadkost h: de ontwaardingkost.

De kosten van voorraadtekort

Dit zijn de verliezen die men maakt door een tekort aan voorraad.

→ Verlies aan klantenservice, verstoren van de productie, e.d.

→ Bvb: Als Opel Belgium een tekort heeft: aanvoeren per vliegtuig

⇨ Extra kosten = tekortkosten

Een hoge veiligheidsvoorraad impliceert hoge voorraadkosten, maar lage tekortkosten.

Berekenen van de tekortkosten v:

→ Men kan ze afleiden uit het gedrag van de voorraadmanager:
Indien hij een hoge veiligheidsvoorraad aanhoudt, wil dit waarschijnlijk zeggen dat de kosten bij een tekort zeer hoog zullen zijn.

Veronderstelling: de vraag tijdens de aanvoertijd is normaal verdeeld.

Het optimale niveau van de veiligheidsvoorraad is dan:

$$k = \frac{0{,}0001 \,.\, N \,.\, v}{h \,.\, \sigma}$$

Met k = toename in K om het tekortrisico te verlagen met 0,0001

→ zie tabel van de normaalverdeling

N = aantal bevoorradingen per jaar

v = kost van een voorraadtekort

h = jaarlijkse voorraadkost

⇨ $$v = \frac{k \,.\, h \,.\, \sigma}{0{,}0001 \,.\, N}$$

= De additionele kosten die men maakt om een voorraadtekort te vermijden

Met khσ = de jaarlijkse kost van bijkomende veiligheidsvoorraad

→ De voorraad wordt verhoogd met kσ eenheden, die elk h kosten per jaar

0,0001N = het aantal vermeden voorraadtekorten

= risicoverlaging met 0,0001 voor elk van de N leveringen per jaar

Voorbeeld:

Stel dat S = 1,55 σ => Tabel normaalverdeling: k = 0,00084

=> v = 0,00084 h σ / 0,0001 N

Verpakkingskosten

Transportbeslissingen kunnen een invloed hebben op verpakkingskosten.

→ Vervoer van bulk en per tankerschip vereisen minder dure verpakking dan kleinere partijen die vervoerd worden door koerierdiensten

De keuze tussen vervoer ter land, per spoor, via zee of lucht kan eveneens een invloed hebben op de verpakkingskosten:

→ Vooral bij vervoer van gevaarlijke goederen

Kosten van orderverwerking en administratie

Leveringen in kleine partijen kunnen zeer hoge administratie en orderverwerkingskosten veroorzaken.

→ Bedrijven proberen orders te groeperen en te leveren in grotere partijen.

Deze kosten zijn zeer klein bij bulk en bij waardevolle goederen.

Start-up costs

Dit zijn de kosten die een bedrijf maakt wanneer het zijn activiteiten verlegd naar een andere operationele basis.

Transport en voorraadbeslissingen die frequente bevoorradingen en korte productiecyclussen inhouden, zullen hogere start-up kosten hebben.

Als bij een levering van goederen de operationele procedure aangepast moet worden, met bijkomende kosten, dan kan men best leveren in grote partijen.

Kosten van klantenservice

Transportbeslissingen kunnen het niveau van klantenservice beïnvloeden, niet enkel wat betreft leveringstijden en tekorten, maar meer algemeen m.b.t. de behandeling van goederen en de klantendienst.
Aandacht voor de klant is vooral belangrijk als transport afgestemd is op de vereisten van individuele klanten. Bedrijven zullen dan eerder zelf het transport regelen of doorgeven aan een professioneel transportbedrijf. Een willekeurig transportbedrijf zou een te groot risico inhouden van verlies van de klant.

Vestigingskosten

Dit zijn niet enkel de prijzen van grond, maar ook de beschikbaarheid van gekwalificeerd personeel, loonniveau's, leveringskosten en de kosten van water, gas, elektriciteit, …
Zelfs belastingen kunnen een rol spelen.

Just-in-time supply en nulvoorraad

Achter deze trends schuilen 3 factoren:

- Grotere aandacht voor de voorraadkosten
- Verlagen van de start-up kosten en orderkosten per bestelling
- Betere planning van de vraag met minder variantie

Deze factoren leiden tot lagere veiligheidsvoorraden en kleinere orders.

Just-in-time supply

JIT kan gedefinieerd worden als aanbieden zonder veiligheidsvoorraad aan te houden en zonder voorraadkosten op te lopen.
Leveringen mogen dus niet te vroeg zijn, want dan is er voorraad te veel, maar ze mogen ook niet te laat zijn, want dan is er voorraad tekort. Leveringen moeten dus net op tijd zijn.

Dit is dus een doel dat maar zelden kan worden bereikt.

→ Om het doel te bereiken over een bepaalde periode moet de standaardafwijking van de aanvoertijd nul zijn.

→ In de praktijk is het enorm moeilijk om absolute zekerheid te verwerven over de vraag.

JIT zal zijn doel meestal al bereiken als het erin slaagt om de veiligheidsvoorraad significant te verlagen, ook al is hij niet compleet weg.

σ = standaardafwijking van de vraag tijdens de aanvoertijd

$$\sigma = \sqrt{T \cdot v + V^2 \cdot t}$$

De standaardafwijking kan verlaagd worden door de 4 variabelen aan te passen:

- De gemiddelde vraag V:
  Dit gaat men natuurlijk niet veranderen.
- De gemiddelde aanvoertijd T:
  Het is geen prioriteit om de gemiddelde aanvoertijd te verkorten.
- De variantie van de vraag v:
  → Consumptie strikt plannen
- De variantie van de aanvoertijd t:
  → Verhoogde stiptheid in aanbod en transport

⇨ Als t en v nul worden, dan is σ = 0 en dus ook veiligheidsvoorraad = 0

Nulvoorraad

Door JIT verdwijnt de veiligheidsvoorraad, maar de andere voorraden blijven: cyclische voorraad, voorraad tijdens transport, en misschien ook speculatieve voorraad en seizoensvoorraad.

Bij nulvoorraad moeten ook deze voorraden verdwijnen.

→ Voorraad tijdens transport kan verlaagd worden door sneller transport

→ Cyclische voorraad kan verlaagd worden door frequentere bevoorradingen in kleinere partijen

Ze kunnen echter niet verlaagd worden tot nul.

HOOFDSTUK 9:

TRANSPORTBESLISSINGEN VANUIT LOGISTIEK OOGPUNT

Square root law

Bepalen van de optimale bestelgrootte

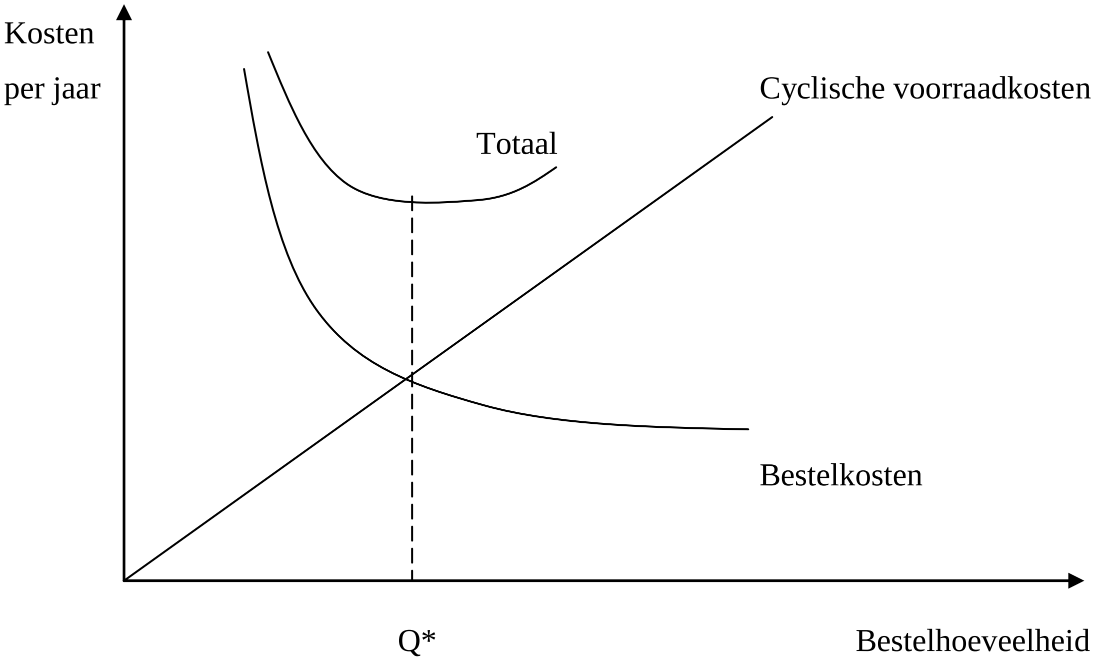
→ Via de formule van “square root law”:

- De formule beschouwt de kosten van de cyclische voorraad
- De formule veronderstelt dat alle relevante kosten van een zending kunnen worden samengevat in een vaste kost per zending:
    - Transportkosten
    - Administratiekosten en orderverwerkingskosten
    - Behandelingskosten (tot op zeker niveau)
    - Soms verpakkingskosten
    - Andere logistieke kosten

⇨ In het algemeen: vaste kost b per zending

⇨ Vaste kosten per zending begunstigen een zo groot mogelijke zending: Maar hoeveel eenheden moet men transporteren?

⇨ De vaste kosten per zending afwegen t.o.v. de kosten van de cyclische voorraad



De jaarlijkse bestelkosten zijn omgekeerd evenredig met de bestelhoeveelheid.

→ Grafisch: hyperbool

→ Een verdubbeling van de bestelhoeveelheid verlaagt het aantal bestellingen met de helft en vermindert de totale bestelkosten.

→ Bestelkosten = b . (D/Q)

De cyclische voorraadkosten zijn recht evenredig met de bestelhoeveelheid.

→ Grafisch: rechte door de oorsprong

→ Cyclische voorraadkosten = 0,5 .Q. h

De totale logistieke kosten zijn dan de som van de jaarlijkse bestelkosten en de cyclische voorraadkosten:

$$V = 0{,}5 \cdot Q \cdot h + b \cdot (D/Q)$$

=> Optimale bestelhoeveelheid:

= minimum van de totale kostenfunctie

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\,D\,b}{h}}$$

= SQUARE ROOT LAW – formule

Met D = jaardebiet

b = vaste bestelkost per zending

h = voorraadkost per eenheid per jaar

⇨ Afleiding:

$$\text{Min}_Q\ V = 0{,}5 \cdot Q \cdot h + b \cdot (D/Q)$$

$$\rightarrow \frac{\partial V}{\partial Q} = -b\,D / Q^2 + h/2 = 0$$

$$\rightarrow Q^2 = 2\,D\,b / h$$

Gebruik van de formule:

Deze formule is kan worden gebruikt als de logistieke kosten kunnen ingedeeld worden in:

- Kosten die niet beïnvloed worden door de bestelhoeveelheid, zoals een vaste kost per ton → Irrelevante kosten
- Vaste kosten per zending b
- Kosten proportioneel met de cyclische voorraad h

+ Voorbeeld p. 214-215

HOOFDSTUK 3:
KOSTBEREKENING IN EEN TRANSPORTBEDRIJF

Tijdskosten en kilometerkosten

- Tijdskosten:
  - Ze zijn te wijten aan het verlopen van de tijd.
    Ze lopen ook wanneer een voertuig stil staat, tijdens het laden en lossen, bij vertragingen, …
  - In proportie tot de tijdsduur
  - Ze worden bepaald op basis van het aantal gewerkte uren.
    Dit bepaalt hoeveel voertuigen en werknemers er nodig zijn.
    Het aantal uren is het criterium dat gebruikt wordt om tijdskosten toe te wijzen aan een bepaalde zending
  - Alle vaste kosten in een onderneming:
    Wegenvignet, kapitaalintrest, loon werknemers (behalve als een deel van het loon bestaat uit een kilometerpremie), jaarlijkse verzekeringspremie voor de voertuigen, huur van de garageruimte, algemene administratiekosten voor beleid van een vloot voertuigen of werknemers, …

- Kilometerkosten:
  - In proportie tot de afstand
  - Ze ontstaan bovenop de tijdskosten, naargelang de afgelegde afstand
    Ze ontstaan enkel wanneer een voertuig in beweging is.
  - Vbn: brandstofverbruik, onderhoud en reparaties, boetes, technisch nazicht van een vrachtwagen, …
  - Ze worden aan elke zending toegewezen op basis van de afgelegde afstand.
    Een transport over een grotere afstand maar eenzelfde tijd zal dus meer aangerekend worden.

- Opmerkingen:
    - Er zijn enkele kosten die niet binnen deze indeling passen:
      Ze zijn nog gerelateerd aan de tijd, noch aan de afstand.
      → Bvb: commissielonen van de opdrachtgever, verblijfskosten voor rijdend personeel, tol of havengelden, …
      → Men moet ze apart bij de kostenberekening optellen wanneer ze voorkomen
    - Afschrijvingen zijn zowel gerelateerd aan de tijd als aan de afstand:
      Zelfs voertuigen die niet in gebruik zijn, moeten worden afgeschreven.
      Men moet een onderscheid maken tussen vaste en variabele afschrijvingen:
      → Vaste afschrijvingen behoren tot de tijdskosten
      → Variabele afschrijvingen behoren tot de kilometerkosten
      Er zijn verschillende methodes om een onderscheid te maken tussen vaste en variabele afschrijvingen:
        - Vuistregel:
          50% vaste afschrijvingen en 50% variabele afschrijvingen
        - Baseren op het vervangingsbeleid van de onderneming:
          Voorbeeld: trekkers in wegvervoer:
          Stel dat een bedrijf na 900 000 km zijn trekkers vervangt.
          → 150 000 km / jaar
          → Vervangen na 6 jaar
          → Jaarlijkse afschrijving = 12,5 %
          Variabele afschrijvingen:
          → Stel dat een trekker 180 000 km / jaar doet
          → Vervangen na 5 jaar
          → Jaarlijkse afschrijving = 13,8 %
          → Effect van 30 000 km extra: afschrijvingen + 1,3 %
          → Effect van 1 km extra is dan: 1,30 / 30 000 = 0,0000433 %
          = variabele afschrijving per km
          → Dit is enkel geldig voor een trekker die tussen 150 000 en 180 000 km per jaar doet (interval van de berekening)
          Voor een trekker die bvb 100 000 km / jaar doet, moet men een nieuwe berekening maken met een interval tussen 100 000 en 112 500 km.

Vaste afschrijvingen:

→ Als je de variabele afschrijvingen kent, ken je ook de vaste

→ Bvb een trekker die 150 000km per jaar doet, wordt vervangen na 6 jaar, dus na 900 000 km:

De variabele afschrijving = 900 000 x 0,0000433 % = 39 % van de aankoopprijs.

De totale afschrijving bedraagt 75 % op dat moment

De vaste afschrijving is dan 75% - 39% = 36 %

Men kan dit ook toepassen op de onderhoudskosten van voertuigen.

Meestal worden onderhoudskosten echter tot de kilometerkosten gerekend.

Uurcoëfficiënt en kilometercoëfficiënt

De tijdskosten van een voertuig kunnen worden uitgedrukt als een bedrag in euro per uur.

→ Uurcoëfficiënt u

De kilometerkosten van een voertuig kunnen uitgedrukt worden als een bedrag in euro per km

→ Kilometercoëfficiënt d

De vervoerskosten van een voertuig worden berekend op basis van de totale afstand D (in km) (heen en terug) en de totale duurtijd U (in uur) van het vervoer.

→ De totale kost is dan gelijk aan: $uU + dD$

Verdere verfijning is mogelijk door de uurcoëfficiënt op te splitsen in uren van werknemers en uren van het voertuig.

Deze hoeven niet gelijk te zijn:

→ Bvb: wanneer een vrachtwagen op een ferry wordt gezet, zonder dat de chauffeur meegaat, is de vrachtwagen langer bezet dan de chauffeur.

We kunnen de tijdskosten uU dus opsplitsen in $u_1U_1 + u_2U_2$

Waarbij U_1 = uren van de chauffeur

u_1 = kost van de chauffeur per uu

U_2 = uren van het voertuig

u_2 = de uurcoëfficiënt minus de chauffeurskosten

Eenzelfde opdeling kan gemaakt worden voor de kilometercoëfficiënt, waarbij kilometers met lading een hogere kost zal worden toegerekend dan kilometers zonder lading.

→ Een vrachtwagen die beladen is, verbruikt meer bandstof e.d.

De uurcoëfficiënt en de kilometercoëfficiënt kunnen worden bepaald door het gemiddelde te nemen van de data van het bedrijf, die men over een lange periode heeft verzameld.
Men moet dan 2 rekeningen aanhouden voor elk voertuig: één voor de tijdskosten en één voor de kilometerkosten.
Na een bepaalde periode wordt de totale kilometerkost gedeeld door de km prestaties (totale afstand) om d te bekomen, en de totale tijdskost wordt gedeeld door de tijdsprestatie om u te bekomen.

Kostcoëfficiënten in wegvervoer Voorbeeld: p. 77-79

Vrachtwagen 28 ton → u = 21,75 Stel D = 130 km en T = 3,5u
→ d = 0,24

⇨ u U + d D = (21,75 x 3,5) + (0,24 x 130) = 107,33 euro
⇨ Opmerking: congestie drijft vervoerskosten op.

Hoe kan men kosten besparen?

- Rijden met gasolie voor huisverwarming
  Prijsverschil: huisbrand 0,37€/l t.o.v. diesel 0,86€/l → Δ = 0,49€/l
  + accijnzen op diesel, niet op huisbrand
  ⇨ Fraude bestreden:
  Olieraffinaderijen moeten een rode kleur (furfinol) in huisbrand doen
- Rijtuigreglementering niet respecteren:
  Volgens de wet mag een chauffeur maximaal 9 opeenvolgende uren rijden.
  → Verplichte inbouw tacograaf
  Maar: als men chauffeurs langer laat rijden, vermindert de uurcoëfficiënt.
- Rijden zonder verzekering
- Besparen op chauffeursloon door de juiste lidstaat te kiezen als vestiging van de bestuurszetel.
  → Bestuurszetel in goedkoop land vestigen en daar alle chauffeurs inschrijven
  → Vroeger waren vooral de zuidelijke lidstaten zoals Portugal en Griekenland aantrekkelijk. Nu eerder de nieuwe lidstaten, zoals Polen en Tsjechië.

- Chauffeur zelfstandige maken:
  - → Lagere bijdragen
  - → Geen minimumloon
  - → Geen maximale arbeidsduur
  - → MAAR: Band van ondergeschiktheid (KB 28 juni 1969):
    Een chauffeur kan aan het statuut van werknemer onderworpen worden indien hij goederen vervoert met voertuig waarvan hij geen eigenaar is of wanneer het gefinancierd is door de opdrachtgever.
  - → Attest van zelfbekwaamheid nodig
  - → Facturen indienen en op basis daarvan wordt hij betaald
  - → BTW-nummer, inschrijving in handelsregister nodig
  - → Aansluiting bij de sociale kas van zelfstandigen
  - → Nooit een niet-concurrentiebeding uitschrijven
  - → Geen vergoeding per uur, maar per aangenomen vervoersopdracht of per km
  - → Rekeningen onderhoud vrachtwagen zelf betalen
  - → Vervoersbedrijf opsplitsen in verschillende vennootschappen en de zelfstandige chauffeur aan de verschillende vennootschappen laten leveren.

<u>Kostcoëfficiënten in de binnenvaart</u> Voorbeeld p. 80-81

Tabel 3.5.: Kostcoëfficiënten voor verschillende types van binnenschepen op Europese waterwegen

- ⇨ Kilometercoëfficiënt:
  Bijna enkel brandstof → Schepen gaan zeer lang mee
- ⇨ Uurcoëfficiënt:
  Het belangrijkste deel bestaat uit de afschrijvingen en de intrest op het schip.
  Men kan besparen op de kapitaalkost door:
  - meer uren per jaar te varen
  - schepen tweedehands te kopen
    → Laat toe dat zowel schippers en reders kunnen concurreren.

Voorbeeld: zeevaart

Schip (afschrijvingen, verzekering, …)	24 886 euro / dag
20 bemanningsleden	1714 euro / dag

→ Westers loonniveau: valt onder de wetgeving van de vlagstaat

→ Varen onder een andere vlagstaat: goedkoper, bvb Panama

Dagcoëfficiënt	26 650 euro
Kilometercoëfficiënt (brandstofverbruik)	20,15 euro/mijl
Snelheid (knopen – 1 knoop = 1 mijl/u)	24,5
Havendagen	6,93 dagen
Havenkosten per dag	600 euro
Afstand (heen en weer)	2 x 14 800 mijl

- ⇨ Totale tijd (round trip) = $6{,}93 + \dfrac{2 \times 14\,800}{24 \times 24{,}5} = 57{,}27$ dagen
- ⇨ Dagkosten = 57,27 dagen x 26 650 = 1 523 382 euro
- ⇨ Mijlkosten = 14 800 x 2 x 20,15 = 596 440 euro
- ⇨ Havenkosten = 600 x 6,93 = 4 158 euro

- ⇨ Totale kosten = 2 123 980 euro
- ⇨ Opbrengst = 1 750 000 euro
- ⇨ Verlies van ongeveer 400 000 euro

  Maar dit is beter dan het schip te laten stilliggen.

  Variabele kosten > opbrengsten: - havenkosten
  - mijlkosten
  - bemanningskosten
  - dagkosten

  Men kan wel uit de kosten komen als men een schip huurt of timecharter tegen prijs van 20 000 euro/dag.

Schaalvoordelen

Hoe zwaarder een voertuig, hoe hoger de tijdscoëfficiënt en kilometercoëfficiënt.
Maar deze opwaartse beweging is niet proportioneel:

→ Een verdubbeling van de tonnage betekent niet een verdubbeling van de kosten

→ Verhoogde schaal verlaagt de kost per ton

→ Dit schaaleffect is vrij groot, vooral bij wegtransport, minder bij binnenvaart

Schaalvoordelen die bereikt worden door over te schakelen op een voertuig met een grotere capaciteit doen zich niet enkel voor op de weg en in de binnenvaart, maar ook in de zeevaart en het luchtvervoer.
MAAR: om te kunnen overschakelen naar een voertuig met grotere capaciteit, moeten de terminalfaciliteiten natuurlijk groot genoeg zijn.

Schaalvoordelen m.b.t. voertuigen mogen niet verward worden met schaalvoordelen in het bedrijf:
Het is niet omdat zwaardere vrachtwagens de kost per ton verlagen, dat grote transportbedrijven noodzakelijkerwijze lagere gemiddelde kosten hebben dan kleinere transportbedrijven.

Variabele kosten

Soms moet men een onderscheid maken tussen vaste en variabele kosten.

- Vaste kosten: heb je zowieso, wat je ook beslist
- Variabele kosten: afhankelijk van een bepaalde beslissing
  Het is de kost die men vermijdt als men niet vervoert.

Voor dagelijkse beslissingen, kan men de variabele kost berekenen als enkel een kilometercoëfficiënt, de tijdscoëfficiënt = 0.

Voorbeeld

Vervoer met vrachtwagen van 28 ton → Kilometercoëfficiënt = 0,24 euro

Stel: De vrachtwagen en de chauffeur hebben die dag geen ander werk, en de chauffeur zal zijn normale werkuren per week niet kunnen vervullen.

⇨ Er is dan geen tijdskost voor het bedrijf: de vrachtwagen en chauffeur zijn beschikbaar en de chauffeur moet toch zowieso betaald worden, of hij nu rijdt of niet.

Veronderstel dat er een keuze is tussen 2 routes:

- Tolweg: 100 km, reistijd van 1,2u, tol bedraagt 12 euro
- Tolvrije weg: 110 km, reistijd van 1,9 u

Welke weg nemen?

Tolroute: 12 + 100 x 0,24 = 36 euro

Tolvrije route: 110 x 0,24 = 26,4 euro

⇨ We zullen dus de tolvrije route nemen.

Veronderstel nu dat de chauffeur al wel zijn normale werkuren heeft vervuld.
In dit geval zal de bijkomende tijd moeten betaald worden als overuren (25€/u).
Welke route is nu het best?

Tolroute: 12 + (1,20 x 25) + (100 x 0,24) = 66 euro

Tolvrije route: (1,90 x 25) + (110 x 0,24) = 73,9 euro

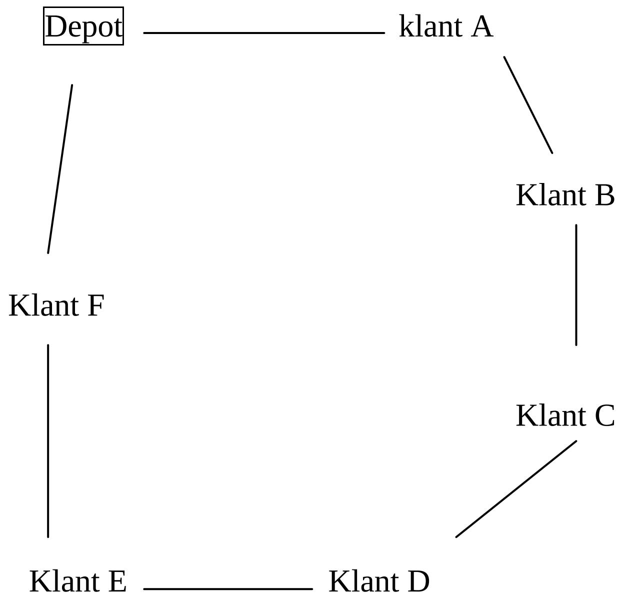
⇨ In dit geval is de tolroute goedkoper

Hetzelfde geldt bij pricing:
In geval van een enkel transport, op een moment dat zowel het voertuig en de chauffeur beschikbaar zijn, kan de prijs enorm zakken, tot bvb 26,4 euro. Dit is puur de kilometerkost van de goedkoopste route. (De chauffeur zal voor om het even welke prijs willen rijden)
In drukkere periodes, als chauffeurs extra uren moeten werken, kan de prijs oplopen tot bvb 66 euro. Deze prijs bevat een uurcoëfficiënt voor de overuren.

Gemeenschappelijke kosten

Dit zijn kosten voor verschillende vervoersprestaties samen.

→ Voorbeeld: Verschillende klanten in 1 round trip



De kost van de round trip = totale tijdsduur x tijdscoëfficiënt

+ totale afstand x kilometercoëfficiënt

Deze kosten zijn gemeenschappelijk voor de 6 klanten.

→ Hoe deze kosten verdelen over de 6 klanten?

Men kan enkel de differentiële kosten duidelijk toewijzen:

- Differentiële kostprijs van klant A:
  = totale kostprijs van de hele rondrit – kosten van de kortere rondrit waar klant A niet inzit
- Differentiële kostprijs van klant B:
  = totale kostprijs van de hele rondrit – kosten van de kortere rondrit waar klant B niet inzit
- Enz.

Deze differentiële kosten zullen vrij laag zijn, en zijn onvoldoende om de totale kost van de round trip te dekken.

Wat overblijft zijn de gezamenlijke kosten:

→ Klanten moeten bovenop de differentiële kosten nog een marge betalen.

Deze marge is afhankelijk van hun betalingsbereidheid.

Voorbeeld: heen – en retourladingen (fronthaul en backhaul):

→ Plaats van lossen = backhaul

→ Plaats van laden = fronthaul

De laadplaats van de ene klant licht dicht bij de losplaats van de andere.

A'pen ________________________ Parijs

De differentiële kosten zijn hier miniem:

→ Bvb: als je toch naar Parijs moet, dan is het geen moeite om ineens een retourvracht mee te brengen. → Bijna geen differentiële kosten.

→ Ook omgekeerd: als je een vracht moet opladen bvb in Parijs, is het maar een kleine moeite om een vracht mee te nemen die daar moet worden afgeleverd.

De som van de differentiële kosten zal niet voldoende zijn om de kosten van de gehele round trip te dekken.

Wat overblijft zijn de gemeenschappelijke kosten.

→ Marge betalen bovenop de differentiële kost

→ Marge is afhankelijk van de betalingsbereidheid van de klant

→ = prijsberekening ≠ kostenberekening

Voorbeeld: passagiers van een vliegtuig:

De differentiële kost is zo goed als nul.

→ Marges om gehele vlucht te vergoeden

→ Schatten van ieders individuele betalingsbereidheid

→ Discrimineren tussen reizigers:

- Zakenreizigers: hoge prijs
- Budgetreizigers: promotieprijs

⇨ Hoe reizigers uit elkaar houden?

Voorwaarden koppelen aan de promotieprijs:

Bvb: zakenreizigers zullen niet tijdens het weekend willen blijven, ze zullen niet ver op voorhand kunnen reserveren, ze moeten de mogelijkheid hebben een andere vlucht te nemen, enz.

Kosten tijdens piekperiodes en off-piek-periodes

Verschil tussen piekuren en niet-piekuren → Probleem in kostberekening

→ Speciaal geval van gezamenlijke kosten:

Ze gebruiken eenzelfde capaciteit

Op piekuren: hoge vraag

→ Grotere betalingsbereidheid

→ Kostberekening: groter deel van de kosten toewijzen aan transport tijdens de piekperiode

MAAR: het kan zijn dat dit niet altijd de juiste oplossing is:

Het kan zijn dat men ook op niet-piekuren een grote betalingsbereidheid heeft.

↔ Niet-piekuren: lage vraag

HOOFDSTUK 4: WACHTTIJDEN IN TRANSPORTBEDRIJVEN

<u>Het standaard queuing model</u>

Wachttijden doen zich frequent voor, zowel bij personenvervoer als bij goederenvervoer.

- Zichtbare wachtlijnen:
  Bvb mensen die aanschuiven aan een loket, mensen aan een taxistandplaats, …
- Onzichtbare wachtlijn:
  Bvb taxi die mensen thuis ophaalt, bestellen van stookolie, …

Wachttijden berekenen in een transportbedrijf → Standard queuing model
3 veronderstellingen:

- De aankomsten worden verondersteld Poisson verdeeld te zijn:
  De kans dat i klanten zullen aankomen per tijdseenheid = formule Poisson verdeling.
  Als aankomsten onafhankelijk zijn van elkaar, dan zijn ze Poisson verdeeld.
  - → De aankomers mogen niet afgesproken hebben, ze mogen niet samen voor het verkeerslicht hebben gestaan, …
  - → De aankomsten van klanten aan een taxistandplaats, de telefoonoproepen voor een goederentransport op de weg, het binnenkomen van orders bij een leveringsdienst, volgen een Poisson verdeling indien de aankomsten niet van tevoren geregeld zijn, indien ze niet hetzelfde schema volgen en indien ze niet veroorzaakt zijn door eenzelfde event.
  - → Bvb: staking = afhankelijk
- De tijd die nodig is om een klant te bedienen is exponentieel verdeeld:
  Het einde van de bedieningstijd kan op elk moment vallen, met constante bedieningstijd, onafhankelijk van de tijd die reeds verstreken is.
  → Voorbeelden:
  - Telefoongesprek in een vreemde taal die je niet begrijpt: kan op eender welk moment inhaken, onafhankelijk van de tijd die men al aan het bellen is.
  - Controle van paspoort van reiziger:
    Het kan zijn dat het paspoort niet gecontroleerd wordt, het kan zijn dat de controleur snel even naar het paspoort kijkt, het kan zijn dat er problemen zijn, …

- De bedieningstijd voor klanten die altijd dezelfde transportdienst vereisen is niet exponentieel verdeeld:

  Bvb: een volgeladen vrachtwagen die vervoert tussen steeds 2 dezelfde steden.

  De kans dat de bedieningstijd eindigt is niet contant:

  → Tijdens het 1e uur is de kans nul want de round trip kan dan nog niet beëindigd zijn

  → Dan volgt een korte periode met grote kans op beëindiging van de bedieningstijd

- De opeenvolgende klanten worden bediend door 1 bedieningskanaal en in volgorde van aankomst (niet in volgorde van de lengte van de bedieningstijd):

  We sluiten uit dat klanten simultaan bediend worden door 2 voertuigen tegelijkertijd en dat klanten met een kortere bedieningstijd eerder bediend worden.

  → Klanten bedienen in volgorde van aankomst, onafhankelijk van de bedieningstijd.

Als aan deze 3 veronderstellingen voldaan is, dan is de gemiddelde tijd dat een klant moet wachten in een wachtlijn gelijk aan:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \qquad \text{als } \lambda < \mu$$

$$W_q = \infty \qquad \text{als } \lambda \geq \mu$$

Met λ = gemiddeld aantal klanten die per tijdseenheid aankomen

μ = aantal klanten die gemiddeld per tijdseenheid kunnen worden bediend

$(\mu - \lambda)$ = capaciteitsreserve

<u>Voorbeeld:</u>

Taxibedrijf: zelfstandige chauffeur met 1 taxi heeft gemiddeld 1 klant per uur.

De taxi kan gemiddeld 2 klanten per uur bedienen.

⇨ Taxi voor ½ van de tijd werkloos

Toch zal een gemiddelde klant moeten wachten om bediend te worden: een aantal klanten zullen toekomen als de taxi vrij is, een aantal klanten zullen aankomen als de taxi bezet is.

⇨ Dus: $\lambda = 1$ $\mu = 2$

⇨ $W_q = 1 / 2 \text{ x } (2 – 1) = 0{,}5$u

⇨ Gemiddeld wacht de klant een half uur.

De Pollaczek-Khintchine correctie

Indien niet aan de 3 veronderstellingen van het standard queuing model voldaan is, zal voorgaande formule niet meer van toepassing zijn om de gemiddelde wachttijd te berekenen. De formule zal gecompliceerder worden.

Door exponentiële bedieningstijd te veronderstellen, gaat men ervan uit dat de bedieningstijd heel variabel is.
Maar bij bepaalde transportdiensten is de bedieningstijd niet exponentieel

⇨ Bvb sluizen: bedieningstijd is bijna altijd dezelfde

Stel dat er nog steeds voldaan is aan de 1e en de 3e veronderstelling:

→ Aankomsten Poisson verdeeld zijn

→ Opeenvolgende klanten worden bediend door 1 bedieningskanaal en in volgorde van aankomst

En stel dat de 2e voorwaarde niet meer voldaan is:

→ Bedieningstijd is NIET exponentieel verdeeld

Dan kunnen we de gemiddelde wachttijd berekenen via de Pollaczek-Khintchine-formule:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \times \frac{\theta^2 + \sigma^2}{2\,\theta^2} \qquad \text{als } \lambda < \mu$$

Met θ = de gemiddelde bedieningstijd

σ = variantie van de bedieningstijd

Als de bedieningstijd exponentieel verdeeld is, dan is $\sigma^2 = \theta^2$

→ De correctiefactor is dan gelijk aan 1.

Bij identieke bedieningstijden is $\sigma^2 = 0$

→ Correctiefactor = 0,5

→ Wachttijd wordt gehalveerd

Voorbeeld: Berekenen van de variantie van de bedieningstijd:

Waarnemingen	5u	6u	4u	5u	7u	3u	gemiddelde = 5
Afwijking	0	1	-1	0	2	-2	
Kwadraat	0	1	1	0	4	4	
Som	10						

⇨ $\sigma^2 = 10 / 5 = 2$

Parallelle bedieningskanalen

Klanten met meerdere bedieningskanalen tegelijkertijd bedienen.

Stel s = aantal bedieningskanalen
De gemiddelde wachttijd is dan gelijk aan:

$$W_q = \frac{(\lambda / \mu)^s}{(\lambda / \mu)^s + s!\,(1 - \lambda / s\mu)\,\Sigma_{v=0}^{s-1}\,(\lambda / \mu)^v / v!} \cdot \frac{1}{\mu s - \lambda} \qquad \lambda < \mu s$$

Met μs = de totale capaciteit
v = sommatie-index, met waarden van 0 tot s-1

Als s = 1:

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \qquad \text{als } \lambda < \mu$$

Stel $\mu = 1$:

→ λ = gemiddeld aantal klanten per tijdseenheid
→ s = aantal bedieningskanalen
→ Zie tabel gemiddelde wachttijd uitgedrukt in bedieningstijd p. 97

Voorbeeld:

1 opdracht duurt gemiddeld 2 dagen

Gemiddeld 4 klanten per dag

10 vrachtwagens

- ⇨ Hoelang wacht de gemiddelde klant?

  $\lambda = 8$

  s = 10

  → Tabel: W_q = 0,20459 bedieningstijd

  = 0,40918 dagen

  → Vermenigvuldigen met 2 want bedieningstijd is 2 dagen!

+ OEFENING

Monte-Carlo simulatie

Wanneer de aankomsten niet Poisson verdeeld zijn

→ Standard Queuing model aanpassen

→ Berekenen van de gemiddelde wachttijd wanneer klanten de wachtrij verlaten als ze een zekere lengte heeft = balking

→ Vbn:

Oplossing: Monte-Carlo simulatie:

→ Simulatie van de operaties van een transportbedrijf m.b.v. de computer: willekeurige processen worden geïmiteerd door willekeurige getallen te gebruiken

→ De computer berekent het bedieningsproces: aantal klanten in een wachtrij, het aantal klanten dat de wachtrij verlaat (balking), enz.

→ Simulatie over een lange periode zodat men betrouwbare resultaten verkrijgt

→ Op deze manier kan men zien hoe een transportbedrijf presteert over een bepaalde periode

Wachtlijnen bij het lijnvervoer

Wachttijd tot de volgende vlucht / afvaart / …

- ⇨ Servicerate is niet constant:

  De gemiddelde bedieningstijd tussenin is oneindig → Iedereen moet wachten

  Bij vertrek is de bedieningstijd = 0 → Iedereen vertrekt
- ⇨ Wachttijd voor de gemiddelde klant is de halve tussentijd tussen 2 bedieningen

Veronderstellingen:

- Je gaat op goed geluk naar bvb de tramhalte (zonder het uurrooster te kennen)

  → Voor goederen: produceren op goed geluk
- Met elke dienst kunnen alle wachtenden mee

  Anders:

  P = kans dat voertuig volledig bezet is $0 < P < 1$

  W = tussentijd x [(1 – P) x 0,5 + P(1 – P) x 1,5 + P² (1 – P) x 2,5 + …]

  Wachttijd voor diegene die met 1e voertuig meegaat

  Kans dat je 2e voertuig moet nemen

  Kans dat je 3e voertuig moet nemen

  Als P = 0: W = 0,5 x tussentijd

Rijnschip: om rendabel te zijn moet het 200 TEU vervoeren

- ⇨ 1 x per maand
- ⇨ Gemiddeld halve maand wachttijd
- ⇨ Niet rendabel
- ⇨ Overschakelen op klein binnenschip:

  Bvb: 40 TEU → 5 vertrekken per maand

  → Gemiddeld 0,1 maand wachttijd
- ⇨ Heeft geleid tot nieuwbouw van kleinere schepen, bvb de Neo-Kempenaar
- ⇨ Naar kleinere schepen overstappen?

  Indien vrije prijszetting: ja ↔ anders niet

Heeft de Lijn een aansporing om rekening te houden met de wachttijd van reizigers? Bussen frequenter laten rijden?

- ⇨ Als frequentie stijgt, stijgt de kost, maar daalt de wachttijd
- ⇨ Geen economische incentive want:
    - Geen concurrentie
    - Geen vrije prijszetting

Wachttijden op het tij

Diepstekende schepen kunnen maar bepaalde uren varen vanuit Antwerpen

- ⇨ Vaarvensters v
- ⇨ Hoe lang wacht een gemiddeld schip?

Schepen die altijd kunnen varen: v < 12,42 (duur tij)

Diepere schepen: 0 << v

Berekenen wachttijd:

$$W = \frac{v}{12,42} \times 0 + \frac{(12,42 - v)}{12,42} \times \frac{(12,42 - v)}{2}$$

= kans dat schip arriveert tijdens vaarvenster + kans dat schip aankomt tijdens vaarverbod

$$W = \frac{(12,42 - v)^2}{24,84}$$

=> Schip wacht gemiddeld halve vaarverbod

Als je rekening wil houden met springtij, doodtij en middeltij:

→ Springtij: bij volle en bij nieuwe maan

→ Doodtij: bij eerste en laatste kwartier

→ Middeltij: komt 2 keer zoveel voor als springtij en doodtij

⇨ Springtij en Doodtij wegen met 25%, middeltij met 50%

Berekening wachttijd voor een schip met volgende vaarvensters:

Doodtij = 8u

Middeltij = 7u

Springtij = 5u

⇨ Gemiddelde wachttijd =

$$W = 0{,}25 \times \frac{(12{,}42 - 8)^2}{24{,}84} + 0{,}5 \times \frac{(12{,}42 - 7)^2}{24{,}84} + 0{,}25 \times \frac{(12{,}42 - 5)^2}{24{,}84} = 1{,}34$$

Na verdiepingswerken:

Doodtij = 10u

Middeltij = 9u

Springtij = 7u

⇨ Gemiddelde wachttijd:

$$W = 0{,}25 \times \frac{(12{,}42 - 10)^2}{24{,}84} + 0{,}5 \times \frac{(12{,}42 - 9)^2}{24{,}84} + 0{,}25 \times \frac{(12{,}42 - 7)^2}{24{,}84} = 0{,}59$$

⇨ Tijdsbesparing van 1,34 – 0,59 = 0,75u

⇨ Van belang voor containerschepen en dure goederen

HOOFDSTUK 5: ROUTING

Transportkosten vormen 1/3 of 2/3 van de totale logistieke kosten.
Om de efficiëntie van transport te verbeteren, maakt men gebruik van Operations Research (OR) technieken:

- ⇨ Hoe het best people-machine systemen ontwerpen en opereren, meestal onder voorwaarde die de verdeling vereisen van schaarse bronnen.

Route planning is een van de meest typische problemen in een transportbedrijf.
3 methode van routing:

1. Keuze van het shortest path
   - ⇨ 1 oorsprong en 1 bestemming
2. Round –trip methode
   - ⇨ Voertuigen die klanten bedienen op verschillende locaties tussen een gegeven oorsprong en bestemming
   - ⇨ 1 oorsprong en meerdere bestemmingen
3. Toewijzen van oorsprongen aan bestemmingen
   - ⇨ Problemen met meerdere oorsprongen en bestemmingen

Elk van deze methodes wordt gebruikt voor een ander type van route toewijzing en heeft zijn eigen oplossingsmethode.
Bij methode 1 en 3 kan men een exacte methode toepassen:

- ⇨ Methode die de correctie oplossing oplevert met wiskundige zekerheid

Methode 2: heuristische methode:

- ⇨ Benaderingen die de oplossing niet met wiskundige zekerheid kunnen garanderen, maar die toch een plausibele oplossing leveren.

1. Shortest –path methode

- Shortest path = de goedkoopste weg om te reizen van oorsprong naar bestemming
- Minimaliseren van de afstand, tijd en kosten
- Gebruik van exacte algoritmes en heuristieken

- Voorbeeld:

  Letters = steden

  Lijnen = wegen (afstand in km)

Probleem: de kortste weg vinden tussen oorsprong A en bestemming G

De oplossing kan gevonden worden a.h.v. dynamische programmering:

⇨ Value iteration algoritme

De oplossing kan weergegeven worden in een tabel:

Stage	City	Action	Km
0	G	-	**0**
1	E	G	**30**
	F	G	**10**
2	B	G	**55**
		E	70
		F	60
	C	E	90
		F	**80**
	D	E	120
		F	**80**
3	A	B	115
		C	110
		D	**100**

- Kolom 2: steden
- Kolom 1: stage

  = fase waarin de stad voorkomt in de route

  = het maximum aantal bewegingen tussen een bepaalde stad en de bestemming

  Voorbeeld:

  - Stad E is 1 beweging van de bestemming G, dit is stage 1.
  - Stad B heeft 2 mogelijkheden om naar G te rijden:

    Ofwel in 1 beweging, ofwel in 2 bewegingen → B is dus in stage 2
- Kolom 3: De actie bij een bepaalde stad:

  Met actie E bedoelen we rijden naar stad E

  Omdat G de bestemming is, kunnen er na G geen acties meer ondernomen worden.

  Steden E en F, in stage 1 van G, hebben elk 1 actie: recht naar G.

  Stad B heeft 3 mogelijke acties: naar E, F of G rijden.

  Bij stad C en D is er de keuze tussen 2 acties: naar E of G rijden

  Bij oorsprong A zijn er 3 mogelijkheden: naar B, C of D rijden.
- Kolom 4: aantal km tussen een bepaalde stad en de bestemming:

  De km in vet = kortste afstand
  - Stage 0: bestemming: geen actie → 0 km
  - Stage 1: steden E en F:

    Er is 1 mogelijke actie: naar G

    → E moet 30 km afleggen vooraleer G bereikt wordt

    → F is 10 km verwijderd van G
  - Stage 2: steden B, C of D:
    - Vanuit B:

      → Mogelijkheid 1: actie G: 55 km

      → Mogelijkheid 2: actie E: 40 km naar E + 30 km van E naar G

      → Mogelijkheid 3: actie F: 50 km + 10 km = 60 km
    - Vanuit C:

      → Mogelijkheid 1: actie E: 60 km + 30 km = 90 km

      → Mogelijkheid 2: actie F: 70 km + 10 km = 80 km
    - Vanuit D:

      → Mogelijkheid 1: actie E: 90 km + 30 km = 120 km

      → Mogelijkheid 2: actie F: 70 km + 10 km = 80 km

- Stage 3: stad A:
  3 mogelijke acties:
  → Actie B: 60 km naar B + 55 km van B naar G = 115 km
  → Actie C: 30 km naar C + 80 km van C naar G = 110 km
  → Actie D: 20 km naar D + 80 km van D naar G = 100 km

- In de tabel kunnen we nu de optimale oplossing vinden:
  Tabel lezen van beneden naar boven, dus van stage 3 naar stage 0.
  In elke stage de optimale oplossing (in vet: kortste afstand) in kolom 4 selecteren.
  → Dus: beginnen in stage 3 vanuit stad A: actie D
  → Stad D in stage 2: actie F is optimaal
  → Stad F in stage 1: actie G
  → De optimale route is dus A-D-F-G, wat 100 km inhoudt
  (kolom 4: oorsprong A)
- Opmerkingen:
  - Methode lijkt nogal omslachtig
    Maar voor een groot aantal steden en wegen blijken het aantal berekeningen relatief klein.
  - Handige methode voor toepassing in professionele software:
    Ingebouwde wegenkaarten, straatplannen, met reeds ingevoerde afstanden en allerlei gebruiksvriendelijke opties
  - Een verzender die een computerprogramma gebruikt om een route te selecteren zal het minimaliseren van de afstand niet als prioriteit hebben, maar wel het drukken van de kosten, meer bepaald minimaliseren van de variabele kosten.
    ⇨ Variabele kosten zijn niet noodzakelijk evenredig met de afstand:
    Bvb in drukke periodes: overuren = variabele kost
    1 km zal dan variabele loonkosten genereren proportioneel met de tijd die men nodig heeft om 1 km te rijden
  - Aangezien het value iteration algoritme een exacte oplossing geeft, zouden in theorie alle softwarepakketten dezelfde route moeten bekomen
    Dit is niet altijd zo: de gegevens m.b.t. afstanden kunnen verschillen per pakket

+ SLIDES

Niet alle softwarepakketten maken gebruik van het value iteration algoritme:

⇨ GPS navigation systemen maken gebruik van crow-fly distance:

- De afstand van een stad naar de bestemming is niet exact gekend.

  Een manier om de berekening in te korten is een gemeenschappelijke eigenschap te gebruiken voor km afstanden: een rechte lijn afstand (crow-fly) kan de afstand van het eigenlijke wegennetwerk niet overschrijden.

  Als een route dus te lang blijkt op basis van de crow-fly afstand, wordt ze verwijderd, want de eigenlijke afstand zal langer zijn.

- Een eerste benadering van een route wordt gekozen van de oorsprong tot elk achtereenvolgend stadium:

  Men selecteert de actie met het kleinste aantal eigenlijke kilometers naar de volgende stad + de geschatte (crow-fly) afstand van die stad naar de bestemming

  Als men aankomt in een stad waar de geschatte afstand 0 is (de bestemming), heeft men een route uitgetekend.

  Voor steden in de route vervangt men dan de geschatte afstanden van een stad naar de bestemming door de werkelijke afstanden.

  Voor andere steden is de afstand tot de bestemming nog steeds gelijk aan de crow-fly afstand.

- 2^{e} benadering:

  Men kiest opnieuw een route met sommige steden die een verschillende geschatte afstand hebben tot de bestemming.

  Men kiest in elk stadium de actie met het kleinste aantal werkelijke kilometers naar de volgende stad + de geschatte afstand van die stad naar de bestemming.

  ⇨ Als dit dezelfde route blijkt te zijn als de vorige, dan is dit de optimale route.

  ⇨ Indien het niet dezelfde route is:

  De geschatte afstanden opnieuw vervangen door de werkelijke afstanden voor elke stad tot de bestemming voor de nieuwe geselecteerde route.

  Dit blijven doen totdat de routes identiek zijn.

⇨ Opmerkingen:

- Goede methode voor minimaliseren van afstand, niet noodzakelijk voor reistijd
- Geen garantie voor het vinden van een optimale afstand indien de procedure onderbroken wordt om tijd te besparen.

- Afstanden in de route zijn gebaseerd op werkelijke afstanden, afstanden voor steden niet in de route zijn gebaseerd op benaderingen.

2. Round –trip methoden

= VEHICLE ROUTING PROBLEM

- Beslissingen op 3 niveau's:
    - Strategisch:
      Bvb: Locatie van bijkomende distributiecentra
    - Tactisch:
      Bvb: compositie van de vloot van voertuigen
    - Operationeel:
      Bvb: routing van voertuigen, crew scheduling
- Vehicle Routing problem:
    - Definitie:
      Bepalen van een routeschema tegen minimale kosten om N klanten te bedienen met K voertuigen
    - De vraag van klanten is op voorhand gekend
    - Voertuigen hebben een vaste capaciteit
    - 1 depot
- Voorbeeld:

Schematisch:

Met O = depot waar voertuigen vertrekken en terug aankomen

De andere letters zijn locaties van klanten

Probleem: minimaliseren van de totale afstand

- ⇨ Afstand kan ook gezien worden in termen van tijd of kosten, net als in km

Er kunnen beperkingen zijn:

- ⇨ Een voertuig kan een maximale nuttige last hebben
- ⇨ Maximale rijtijd per truck
- ⇨ Some locaties kunnen opereren binnen een tijdsvenster:

  D.w.z. dat ze enkel diensten aanvaarden tussen bepaalde gespecifieerde uren
- ⇨ Verbod om bepaalde goederen samen te vervoeren

  Zodat een combinatie van bepaalde klanten in een trip niet mogelijk is

Oplossingsmethode?

- Exacte methodes:

  Niet toepasbaar: zou enorm veel tijd in beslag nemen om te berekenen
- Heuristische methodes:
  - De listing methode
  - De Rover methode
  - De nearest-neighbour methode
  - Clarke – Wright savings algoritme

▪ Clarke – Wright savings algoritme:

Voorbeeld:

- Depot O
- 6 klanten: A, B, C, D, E en F
- Basisgegevens in de afstandmatrix

  → km afstand tussen elk paar van locaties

  → Kan ook voor kosten of tijd

  → Symmetrische tabel

  + SLIDES

3. Toewijzingen van oorsprongen naar bestemming

= TRANSPORTATION PROBLEM

Doel: goederen verplaatsen van oorsprong naar bestemming tegen minimale kosten

Beperkingen:

- Elke bestemming ontvangt het vereiste volume
- De capaciteit van de oorsprong wordt niet overschreden
- Er wordt een positieve hoeveelheid goederen getransporteerd

Voorbeeld:

O_1, O_2, O_3 = oorsprongen, bvb 3 magazijnen in 3 verschillende steden

D_1, D_2, D_3, D_4 = 4 klanten, op 4 verschillende locaties gevestigd

a_i = hoeveelheden die van een goed beschikbaar zijn

⇨ Oorsprong 1 heeft 50 truckladingen beschikbaar, oorsprong 2 heeft er 30 en oorsprong 3 heeft 60 truckladingen voorhanden

b_j = de hoeveelheden die aan elke bestemming moeten worden geleverd

⇨ Bestemming 1 vereist 40 truckladingen, bestemming 2 vereist er 25, enz.

	D_1	D_2	D_3	D_4	a_i
O_1	2	1	3	2	50
O_2	1	2	2	4	30
O_3	4	3	7	1	60
b_j	40	25	17	58	140

De kosten per vrachtwagenlading van elke oorsprong naar een bepaalde bestemming wordt aangeduid in de bovenste linkse hoek van elke cel.

Veronderstel dat de kosten uitgedrukt zijn in eenheden van 100 euro.

De transportkosten variëren afhankelijk van het verschil in afstand of tijd tussen de oorsprongen en de bestemmingen.

Probleem: Bevoorraden van de 4 bestemmingen vanuit de 3 oorsprongen tegen minimale kosten, zonder de hoeveelheden te overschrijden die beschikbaar zijn aan de oorsprong

Het probleem kan voorgesteld worden in de vorm van een lineair programmeringsprobleem:

Min $\Sigma_i \Sigma_j c_{ij} x_{ij}$

Met $\Sigma_i x_{i1} = 40$ $\Sigma_j x_{1j} \leq 50$

$\Sigma_i x_{i2} = 25$ $\Sigma_j x_{2j} \leq 30$

$\Sigma_i x_{i3} = 17$ $\Sigma_j x_{3j} \leq 60$

$\Sigma_i x_{i4} = 58$

Met x_{ij} = het aantal ladingen van oorsprong i naar bestemming j

c_{ij} = de transportkosten per lading van oorsprong i naar bestemming j

Geen oplossing als:

Totaal vereiste $\Sigma_j b_j = 40 + 25 + 17 + 58 >$ beschikbare hoeveelheid $\Sigma_i a_i = 50 + 30 + 60$

→ $\Sigma_i a_i$ moet $\geq$ $\Sigma_j b_j$

→ In gevallen waar $\Sigma_i a_i > \Sigma_j b_j$ wordt een fictieve bestemming gecreëerd die het surplus ontvangt.

Dit is slechts een dummy bestemming, wat betekent dat het surplus gewoon blijft waar het is, in de oorsprong.

De transportkosten in de kolom van deze fictieve bestemming zijn 0.

In dit geval: $\Sigma_i a_i = \Sigma_j b_j$

Aangezien er in dit geval genoeg goederen beschikbaar zijn in de oorsprongen om de bestemmingen te bevoorraden, is er een oplossing.

Er zijn meerdere oplossingen mogelijk, maar we gaan op zoek naar deze met de kleinste kosten.

⇨ We maken hiervoor gebruik van het stepping stone algoritme:

Dit algoritme is niet heuristisch, maar exact.

We beginnen met de initiële oplossing door de "Northwest Corner Rule" toe te passen:

	D_1	D_2	D_3	D_4	a_i
O_1	2 **40**	1 **10**	3	2	50
O_2	1	2 **15**	2 **15**	4	30
O_3	4	3	7 **2**	1 **58**	60
b_j	40	25	17	58	140

In vet: aantal ladingen

→ Niet verwarren met de transportkosten in de linkse bovenhoek!

- We beginnen met cel 11 (oorsprong 1, bestemming 1):
  We wijzen een zo groot mogelijk volume toe, zonder a_i of b_j te overschrijden.
  Er zijn 50 ladingen beschikbaar in oorsprong 1, maar we hebben er maar 40 nodig voor bestemming 1 → Dus 40 invoegen in tabel
- We gaan dan verder met een aangrenzende cel van een rij of kolom die nog niet gebalanceerd is.
  We gaan verder met cel 12, waaraan we eveneens de grootst mogelijke hoeveelheid toewijzen.
  In kolom 2 zijn er 25 vereist, maar er zijn er nog maar 10 beschikbaar in oorsprong 1. We voegen dus 10 in, wat betekent dat oorsprong 1 nu uitgeput is.
- Kolom 2 is nog niet gebalanceerd, dus we gaan verder met de aangrenzende cel in kolom 2:
  We wijzen de grootst mogelijke hoeveelheid toe aan cel 22, nl 15 ladingen.
- Deze procedure wordt herhaald tot in cel 34, waar we eveneens weer de grootst mogelijke hoeveelheid toewijzen, nl. 58 ladingen.
- Op deze manier bekomen we een oplossing met 7 beperkingen (3 oorsprongen en 4 bestemmingen) met leveringen in slechts 6 cellen.

De Northwest Corner Rule geeft een oplossing, maar niet noodzakelijk de optimale oplossing:

⇨ Om te testen of de oplossing optimaal is, kijken we naar elke cel die nog niet gebruikt is in de oplossing.

⇨ In elke cel berekenen we de besparing als er een levering was geweest.
Enkel indien de besparing 0 of negatief is voor alle ongebruikte cellen, hebben we de optimale oplossing.

Veronderstel dat we een lading leveren aan de ongebruikte cel 32:

⇨ Effect op de totale transportkost $\Sigma_i \Sigma_j c_{ij} x_{ij}$?

⇨ Als x_{32} de hoeveelheid 1 toegewezen krijgt, dan moeten de andere toewijzingen aangepast worden:

Cel x_{33} zal moeten worden verminderd met 1 eenheid

Dit betekent dat cel x_{23} met 1 verhoogd moet worden en x_{22} met 1 verminderd moet worden

⇨ Effect van deze wijzigingen op de totale transportkosten:

Directe kost $c_{32} = 3$

Indirecte kostenbesparing $z_{32} = 7 - 2 + 2 = 7$

Totale kostenbesparing = $z_{32} - c_{32} = 4$

⇨ De oplossing is dus niet optimaal, aangezien er een mogelijke besparing is.

Veronderstel dat aan cel 21 een lading geleverd wordt:

⇨ Aanpassingen nodig in:

- Cel 22: 1 lading minder
- Cel 12: 1 lading meer
- Cel 11: 1 lading minder

⇨ Effect van deze aanpassingen op de totale transportkost:

Directe kost $c_{21} = 1$

Indirecte kostenbesparing $z_{21} = 2 - 1 + 2 = 3$

Totale kostenbesparing = $z_{21} - c_{21} = 2$

Volgende tabel geeft voor elke cel de besparing:

	D_1	D_2	D_3	D_4	a_i
O_1	2 **40**	1 **10**	3 - 2	2 -7	50
O_2	1 2	2 **15**	2 **15**	4 -8	30
O_3	4 4	3 4	7 **2**	1 **58**	60
b_j	40	25	17	58	140

⇨ Om de indirecte kostenbesparing voor een cel ij te berekenen, moet men een lus construeren (zoals de 2 vorige voorbeelden):
In elke cel van de lus wordt een lading meer of minder geleverd.
De lus vertrekt en eindigt in rij i en kolom j van de beschouwde cel ij.
De indirecte kostenbesparing is de afwisselend positieve en negatieve som van de transportkosten in de lus.

⇨ Bij het toepassen van deze methode is het belangrijk dat de lus enkel cellen bevat die gebruikt zijn in de oplossing.
Hierdoor kan de lus heel ingewikkeld worden:
Bvb: als een lading geleverd wordt in cel 31:
Indirecte kostenbesparing $z_{31} = 7 – 2 + 2 – 1 + 2 = 8$
Dit is de afwisselend positieve en negatieve som van transportkosten voor de cellen 33, 23, 22, 12, 11.

Uit de tabel kunnen we afleiden dat de oplossing niet optimaal is:

⇨ Er zijn cellen met een positieve $z_{ij} – c_{ij}$ waarde.

Laten we nu 1 van die cellen opnemen in de oplossing:

⇨ In theorie mogen we eender welke van die cellen opnemen, maar in de meeste gevallen komen we het snelst tot de optimale oplossing indien we de cel opnemen waar $z_{ij} – c_{ij}$ het grootst is.

We nemen dus cel 32

⇨ Elke lading die getransporteerd wordt van oorsprong 3 naar bestemming 2, bespaart 400 euro

⇨ Om zoveel mogelijk te besparen, zullen we proberen een zo groot mogelijke lading toe te wijzen.

De maximale hoeveelheid wordt gegeven door de cel uit de lus met kleinste leveringshoeveelheid met een negatief teken → 2

Als er meer dan 2 ladingen worden toegewezen aan cel 32, dan wordt de hoeveelheid in cel 33 negatief.

⇨ Cel 32 ontvangt dus 2 ladingen:

Hierdoor moeten de cellen in de lus aangepast worden met 2 ladingen.

Dit geeft een nieuwe oplossing waarbij cel 32 opgenomen wordt in de oplossing en cel 33 uit de oplossing wordt verwijderd.

	D_1	D_2	D_3	D_4	a_i
O_1	2 **40**	1 **10**	3	2	50
O_2	1 2	2 **13**	2 **17**	4	30
O_3	4	3 **2**	7	1 **58**	60
b_j	40	25	17	58	140

Om te testen of deze oplossing optimaal is, kunnen we opnieuw de besparingen berekenen:

⇨ Zolang een cel een positief resultaat geeft, moet het opgenomen worden in de oplossing en zullen er minder transportkosten zijn.

⇨ Bvb: cel 21: $z_{21} - c_{21} = 2$

Cel 21 zal dus opgenomen worden in de oplossing met 13 ladingen.

Dit geeft een nieuwe oplossing, die opnieuw getest kan worden door de $z_{ij} - c_{ij}$ waarden te berekenen.

De berekening gaat door totdat men in een situatie komt waarbij voor alle ongebruikte cellen geldt dat $z_{ij} - c_{ij} \leq 0$. De oplossing is dan optimaal.

Het stepping stone algoritme vergt enorm veel tijd.

Een andere methode die gebruikt kan worden is de uv-methode of MODI-methode.

4. Verdere toepassingen

Routeplanning kan problemen opleveren die buiten de 3 besproken gebieden vallen.

Sommige van deze problemen kunnen opgelost worden door integer programming.

⇨ Voorbeelden:

- Het toewijzen van transporttaken zodat een minimum voertuigen gebruikt wordt.
- Het combineren van ladingen in 1 voertuig
  = knapsack probleem
- Het toewijzen van crew aan scheduled services
  Zodat de totale loonkosten of de totale tijd gereduceerd wordt tot een minimum

HOOFDSTUK 7: INVESTEREN IN VOERTUIGEN

Investeren in voertuigen:

1. Bepalen van de grootte en de samenstelling van de vloot
2. Vastleggen van een levensduur voor de voertuigen in de vloot

Optimale grootte en samenstelling van de vloot

Optimale vervanging

Vervangingsbeleid:

⇨ Naarmate voertuigen ouder worden, hebben ze meer defecten, meer onderhoudskosten en is het vaak goedkoper om ze te vervangen

⇨ Wanneer vervangen?

Vaak vervangen: veel afschrijvingskosten

Blijven rijden: hoge onderhoudskosten

Optimale vervangingspunt = tussenin

3 benaderingen bij optimaal vervangingsbeleid:

- Optimaal vervangingsmoment:
  - ⇨ Gebruiksduur vaststellen tot vervangingsmoment:
    Totdat moment worden alle herstellingen uitgevoerd.
    Bij het bereiken van het vervangingsmoment wordt het voertuig verkocht tegen residuwaarde en wordt een nieuw voertuig aangekocht.
  - ⇨ Wit –zwart oplossing:
    Tot aan het vervangingsmoment worden alle herstellingen uitgevoerd, hoe duur ook.
    Op het moment van vervanging wordt geen enkele herstelling meer uitgevoerd, maar wordt het voertuig onmiddellijk verkocht.
- Optimale herstellingsgrens:
  - ⇨ Men stelt het maximale bedrag vast dat een herstelling mag kosten, afhankelijk van de levensduur.
    Op voorhand wordt niet bepaald hoelang het voertuig gebruikt zal worden.

- ⇨ Indien een herstellingskost < herstellingsgrens: herstelling uitvoeren
- ⇨ Indien een herstellingskost > herstellingsgrens: niet herstellen

  Het voertuig wordt verkocht tegen schrootwaarde en een nieuw voertuig wordt aangekocht.
- ⇨ Meer genuanceerde benadering:

  MAAR het sluit de mogelijkheid uit om een rijklaar voertuig te verkopen

- Optimale herstellingsgrens gecombineerd met maximale vervangingsmoment

  Er wordt een herstellingsgrens vastgelegd afhankelijk van de leeftijd van het voertuig en bijkomend wordt een uiterlijk vervangingsmoment bepaald.

  Een voertuig wordt dan vervangen wanneer een te groot defect optreedt (verkopen tegen schrootwaarde) of wanneer het uiterlijke vervangingsmoment wordt bereikt (verkopen tegen residuwaarde).

Beperkingen in ons model:

- Een voertuig wordt altijd vervangen door een gelijkaardig voertuig:

  Geen vervanging door een ander merk of type voertuig.
  - ⇨ Zuivere vervanging, geen wijziging van voertuig
- Geen 2e handsvoertuigen

Niemand kan herstellingskosten met zekerheid voorspellen.

⇨ Verwachte kosten minimeren

<u>Cost data</u>

Bij het bepalen van een optimale vervangingslimiet kan men alle operationele kosten die niet gerelateerd zijn aan de leeftijd van een voertuig negeren:

- ⇨ Lonen van chauffeurs, huur van garage, verzekering, brandstofkost
- ⇨ Deze kosten zullen niet anders zijn bij een nieuwe vrachtwagen dan bij een oude.
- ⇨ M.b.t. brandstof kan men opmerken dat het verbruik van een vrachtwagen toeneemt naarmate hij ouder is.

  Men zou brandstofkosten dan wel in rekening moeten brengen.

  Toenemend verbruik zou dan leiden tot snellere vervanging en een lagere herstellingsgrens.

In het geval van vrachtwagens, zal leeftijd een merkbare invloed hebben op volgende kostencategorieën:

- Aankoopprijs nieuwe trekker
- Onderhoudsuitgaven
- Intresten
- Dervingskosten en kwaliteitsverlies
- Belastingen

- Aankoopprijs van een nieuwe trekker:
  (= afschrijvingen)
  - ⇨ Voorbeeld:

    Aankoopprijs trekker = 80 000

    $$\text{Residuwaarde in \% van aankoopprijs} = \frac{\text{Verkoopprijs}}{\text{Nieuwprijs in dat jaar}}$$

    Indien geen nieuwprijs: residuwaarde = historische meerwaarde

Leeftijd	Residuwaarde in % aankoopprijs
1	73
2	59
3	48
4	38
5	31
6	25
7	20
8	16
9	10
10	4
Scrap value	1

De residuwaarde van een voertuig daalt van 73% op het einde van jaar 1 naar slechts 4% op het einde van jaar 10.

Als een tractor ouder is dan 10 jaar of vervangen wordt omdat de herstellingsgrens overschreden wordt, ontvangt men enkel de schrootwaarde van 1%

- Onderhoudskosten:

  Afhankelijk van het aantal km

  ⇨ Voorbeeld:

  Trekker: 150 000 km /jaar

  → Juiste onderhoudskosten in rekening brengen

  → Proportioneel toerekenen

Aantal jaren in gebruik	Onderhoudskosten (EUR)
1	2600
2	3098
3	3692
4	4399
5	5242
6	6247
7	7444
8	8871
9	10 571
10	12 596
11	15 010

De waarden in de tabel zijn gemiddeldes

→ Hangt af van preventief onderhoud

→ Onderhoud zelf doen vs. uitbesteden

→ Rijstijl en laadpraktijken kunnen eveneens invloed hebben

Deze waarden moeten niet als gegeven aangenomen worden, maar moeten worden aangepast aan de geobserveerde onderhoudskost

De boekhouding moet de nodig data voorzien over trekkers over verschillende gebruiksjaren.

Er zijn 3 stappen vereist om uit de boekhouding data betrouwbare conclusies te kunnen trekken m.b.t. vervangingsbeleid:

- 1e aanpassing: Jaarlijkse onderhoudskosten voor alle voertuigen omzetten in hetzelfde aantal kilometers.

  Deze aanpassing is noodzakelijk omdat oudere trekkers de neiging hebben om minder gebruikt te worden dan nieuwe.

Indien er geen omzetting zou zijn naar een standaard kost per mijl, dan zou dit de indruk geven dat de onderhoudskosten afnemen met toenemende leeftijd.

- 2e aanpassing: Onderhoudskosten uitdrukken in een munteenheid met constante koopkracht

Men maakt gebruik van data over verschillende boekjaren, wat betekent dat stijgende onderhoudskosten kunnen toegewezen worden aan 2 simultane factoren:

  - ouder worden van het voertuig
  - depreciatie van de munteenheid

Als men de hele evolutie zou toeschrijven aan het verouderingsproces, dan zou men de tijdsfactor overschatten en te snel vervangen.

Men moet de prijsstijging elimineren:

→ Onderhoudskosten uitdrukken in constante prijzen:

$$\text{uitgave x } \frac{\text{prijsindex basisjaar}}{\text{prijsindex jaar uitgave}}$$

- 3e aanpassing: De kostenobservaties verlagen tot een gemiddelde:

Grafisch: curve trekken door een puntenwolk van individuele gevallen:

De individuele trekkers worden voorgesteld door een indexnummer.

(hier maar voor 5 vrachtwagens)

Eigenschappen:

- Negatieve autocorrelatie voor eenzelfde trekker in opeenvolgende jaren
- De omvang van de onderhoudskosten neemt toe met de leeftijd
- Het aantal observaties verminderd met de leeftijd

De data van de oudste trekker omvatten meerdere actieve dienstjaren dan recent aangekochte trekkers die minder dienstjaren hebben.

Om het beste vervangingsbeleid te bekomen, moet men niet afgaan op de kostenevolutie van een enkele trekker.

Men moet de gemiddelde tendens nemen van de verschillende trekkers:

→ Meestal benaderd door een exponentiële verdeling

→ Een exponentiële verdeling vertrekt van een bepaalde beginuitgave, met jaarlijks een stijging met een constant percentage

→ Voorbeeld:
In het eerste gebruiksjaar: kost van 2600, daarna een jaarlijkse stijging met 19%

Soms kan het goed zijn om trekkers in bepaalde groepen in te delen:

→ Bvb: voertuigen die slechter presteren dan anderen kunnen best apart behandeld worden, met een aparte kostencurve en vroegere vervanging.

- Intrestkosten

  Complex → zie later

- Dervingskosten en kwaliteitsverlies:
  - Dervingskosten omvatten alle uitgaven die gedaan worden om een ander voertuig te huren tijdens herstelling.

    Ze omvatten ook het inkomensverlies tijdens de herstelling van het voertuig, het verlies van contracten en andere commerciële verliezen die niet zichtbaar zijn in de boekhouding.
  - Rijden met oudere voertuigen kan leiden tot kwaliteitsverlies van de aangeboden diensten.

    Vergeleken met een nieuw voertuig, zijn oudere voertuigen trager, minder veilig en minder aangenaam voor de passagiers.

    Oudere voertuigen stralen bovendien een negatief imago uit.

    De beoordeling van deze kosten is eerder subjectief.

    Dit element kan worden opgenomen in de berekening als een extra bedrag bij de onderhoudskosten, afhankelijk van de leeftijd van het voertuig.

- Belastingen

  EU: verschillende hoge belastingen op voertuigen.

  Vaak is de belasting afhankelijk van de leeftijd van het voertuig.

  In dat geval zullen ze een invloed hebben op het vervangingsbeleid.

Opmerking: Alle kosten berekenen zonder BTW: aftrekbaar voor vrachtwagens

Berekening zonder intrestkosten, dervingskosten en kwaliteitsverlies en zonder belasting

Gebruik jaren t	Residu waarde R_t	Onderhouds -kost in jaar t K_t	Cumulatieve kosten na t jaar	Gemiddelde kost per jaar	Herstellingsgrens op het einde van jaar t H_t
1	58 400	2600	24 200	24 200	$-800 + 7 \times 13599 - K_2 - K_3 - \ldots - K_8 + 12800 = 68201$
2	47 200	3098	38 498	19 249	$-800 + 6 \times 13599 - K_3 - \ldots - K_8 + 12800 = 57\,700$
3	38 400	3692	50 990	16 997	$-800 + 5 \times 13599 - K_4 - K_5 - \ldots - K_8 + 12800 = 47792$
4	30 400	4399	63 390	15 847	$-800 + 4 \times 13599 - K_5 - \ldots - K_8 + 12800 = 38\,593$
5	24 800	5242	74 232	14 846	$-800 + 3 \times 13599 - K_6 - \ldots - K_8 + 12800 = 30\,236$
6	20 000	6247	85 279	14 213	$-800 + 2 \times 13599 - K_7 - K_8 + 12800 = 22\,884$
7	16 000	7444	96 724	13 818	$-800 + 1 \times 13599 - K_8 + 12800 = 16\,729$
8	12 800	8871	108 794	**13 599**	$-800 + 0 \times 13599 + 12800 = 12\,000$
9	8000	10 571	124 165	13 796	
10	3200	12 596	141 561	14 156	
11	800	15 010	158 971	14 452	

- Kolom 1: leeftijd van het voertuig
- Kolom 2: residuwaarde

  Met een aankoopwaarde van 80 000 is na 1 jaar de herverkoopwaarde 58 400, na 2 jaar 47200 enz. → Na 11 jaar: schrootwaarde
- Kolom 3: Onderhoudskosten
- Kolom 4: Totale kosten van een voertuig van een bepaalde leeftijd

  Cumulatieve kosten = afschrijvingen (= 80 000 – residuwaarde) + onderhoudskosten

Men kan zien dat elk jaar de kosten toenemen: monotoon stijgend verloop

Het doel van vervangingsbeleid is niet de cumulatieve kosten minimeren, maar de cumulatieve kosten minimeren in relatie tot hun gebruiksjaren.

- Kolom 5: Kost per gebruiksjaar

$$= \frac{\text{Cumulatieve kosten (kolom 4)}}{\text{Aantal gebruiksjaren (kolom 1)}}$$

De jaarlijkse kost is minimaal na 8 jaar

⇨ 8 jaar is dus de vervangingsleeftijd want de kost per gebruiksjaar is het kleinst

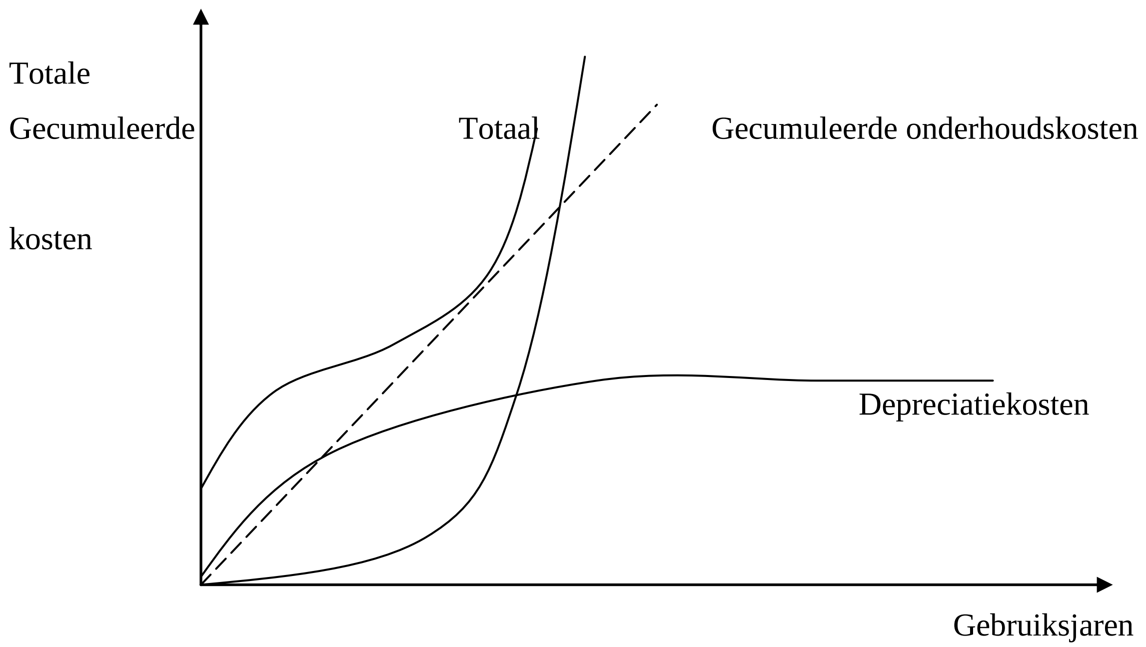
⇨ Een tractor die 150 000 km per jaar doet wordt 8 jaar gebruikt:
Na 8 jaar is de km stand dan 1200 000 (= 150 000 x 8)

⇨ Indien men echter wel rekening houdt met dervingskosten en kwaliteitsverlies:
De trekker zal waarschijnlijk vroeger vervangen worden:
Het kan verstandig zijn om de trekker na 7 jaar te vervangen
De kosten zullen immers jaarlijks toenemen met 13 818 – 13 599 = 219
Voor deze kost kan men veiliger en vervoer van betere kwaliteit en met een beter imago bekomen.
Men kan zelfs al vervangen na 6 jaar: verschil van 395 euro / jaar

⇨ Men kan de tabel als volgt gebruiken:
De verschillen in kolom 5 geven aan hoeveel het zou kosten om te rijden met een nieuwe trekker.
De operator moet deze kostenverschillen afwegen tegen dervingskosten en kwaliteitsverlies.

⇨ Vooral bij personenwagens is de subjectieve kostprijs van de oude wagen vrij hoog.

⇨ Men kan dit ook grafisch voorstellen:



- Gecumuleerde onderhoudskosten:

  Convexe curve:

  → Hoe ouder de trekker, hoe hoger de onderhoudskosten
- Depreciatiekosten

  Concave curve:

  → In het begin sterk stijgende afschrijvingen, daarna minder
- Totale kosten:

  = Verticale optelling van de depreciatie en gecumuleerde onderhoudskosten.

Men moet de totale kostprijs per jaar minimeren:

- ⇨ Voerstraal tekenen
- ⇨ Helling van de voerstraal = $\frac{\text{Totale kosten}}{\text{Aantal gebruiksjaren}}$
- ⇨ In elk punt de voerstraal tekenen
- ⇨ Voerstraal met kleinste helling = raaklijn in totale kostencurve

  Hoe vlakker voerstraal, hoe lager de kostprijs per jaar.
- ⇨ Temporele marginale kostprijs:

  = de stijging in kosten als we een gebruiksjaar toevoegen

  = raaklijn aan de totale kostencurve
- ⇨ Voerstraal = gemiddelde kostprijs per jaar
- ⇨ Trekker in dienst houden zolang:

  Helling van de totale kostencurve < helling voerstraal

- Kolom 6: Herstellingsgrens afhankelijk van de leeftijd

  Men bekomt dit door 2 opties af te wegen: vervangen of herstellen.

  Beide opties genereren kosten en de herstellingsgrens wordt bekomen door de 2 kostenstromen te vergelijken. => Kleinste kost kiezen

  Men moet deze vergelijking blijven doen tot het voertuig vervangen wordt.

  Vanaf dat moment zijn de toekomstige kosten equivalent, aangezien elke optie een voertuig oplevert met een gemiddelde jaarlijkse kost van 13 599.

- ⇨ Voorbeeld: stel dat een trekker van 1 jaar een ongeval heeft:
    - o Vervangingskost =

      Men ontvangt de schrootwaarde van de defecte trekker, maar men moet ook een nieuwe trekker kopen met kosten tot aan het einde van jaar 8.

      De kostenstroom is dus – 800 + 7 x 13 599
    - o Herstellingskost:

      Men heeft een herstellingskost H, gevolgd door onderhoudskosten van jaar 2 tem jaar 8. Op het einde van jaar 8 ontvangt men de verkoopwaarde van 12800.

      De kostenstroom is dus $H + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 - 12800$

  Men kiest ervoor de trekker te herstellen wanneer deze kost het kleinst is.

  De herstellingsgrens wordt dus gegeven door:

  Kostenstroom na herstelling < kostenstroom na vervanging

  $H + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8 - 12800 < - 800 + 7 \times 13\,599$

  $H < - 800 + 7 \times 13\,599 - K_2 - K_3 - K_4 - K_5 - K_6 - K_7 - K_8 + 12800 =$

  $H < 68\,201$ (zie ook tabel)
- ⇨ Analoge berekeningen voor volgende jaren: resultaten zie tabel
- ⇨ Na 8 jaar daalt de herstellingsgrens tot 12 000

  Het maximum bedrag dat men zal willen uitgeven om een trekker te herstellen bedraagt dan het verschil tussen de residuwaarde van een rijklare trekker en dat van een defecte.
- ⇨ Hoe ouder de trekker, hoe lager de herstellingsgrens.

Berekening met intrestkosten

Transportbedrijven berekenen intrest vaak op een verkeerde manier:

Bvb: intrest aanrekenen op de helft van de nieuwwaarde van de trekker:

⇨ Fout:

- Geen effect op vervangingsbeleid:

  Er is voortdurend een trekker aanwezig.

- Intrest moet ook aangerekend worden op onderhoudskosten:

  Stel een bedrijf heeft de keuze tussen 2 onderhoudscontracten:

	3000	3000	3000	3000	3000
Of	1000	2000	3000	4000	5000

  → 2e contract laat bedrijf toe om geld opzij te zetten en intrest op te verdienen

Concrete berekening intrest:

Alle toekomstige uitgaven voor een trekker terugrekenen naar vandaag:

⇨ Formule samengestelde intrest:

Elke toekomstige uitgave $\times \dfrac{1}{(1 + r)^t}$

met r = intrest per jaar en per euro

t = moment uitgave (jaar na nu)

⇨ De totale contant gemaakte kosten

= Som van alle totale toekomstige kosten berekend via samengestelde intrest

= eenmalige kapitaaluitgave met een intrestvoet r die equivalent is aan de som van alle toekomstige kosten

⇨ Deze som van toekomstige kosten kan omgezet worden in een annuïteit:

= De jaarlijkse som die we zouden moeten betalen over de gehele levensduur van het voertuig om de som van de totale contant gemaakte kosten met een intrestvoet r te kunnen betalen.

$$X_t = \frac{\text{Totale contant gemaakte kosten}}{1 / (1 + r)^{0,5} + 1/(1 + r)^{1,5} + \ldots + 1/ (1 + r)^{t-0,5}}$$

De annuïteit X_t in de formule moet in de helft van elk dienstjaar betaald worden.

Berekening van de optimale vervangingsleeftijd:

Stel r = 6%

Gebruik jaren t	Residu waarde R_t	Onderhouds -kost in jaar t K_t	Totale contant gemaakte kosten na t jaar	Annuïteit X_t	Herstellingsgrens op het einde van jaar t H_t
1	58 400	2600	24 431	28 242	$-800 + [\Sigma_{i=2}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-1,5}] + 8000/1{,}06^{8} = 70027$
2	47 200	3098	43 357	22 969	$-800 + [\Sigma_{i=3}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-2,5}] + 8000/1{,}06^{7} = 60817$
3	38 400	3692	56 314	20 463	$-800 + [\Sigma_{i=4}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-3,5}] + 8000/1{,}06^{6} = 51666$
4	30 400	4399	68 064	19 079	$-800 + [\Sigma_{i=5}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-4,5}] + 8000/1{,}06^{5} = 42694$
5	24 800	5242	77 645	17 903	$-800 + [\Sigma_{i=6}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-5,5}] + 8000/1{,}06^{4} = 34052$
6	20 000	6247	86 612	17 108	$-800 + [\Sigma_{i=7}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-6,5}] + 8000/1{,}06^{3} = 25925$
7	16 000	7444	95 167	16 558	$-800 + [\Sigma_{i=8}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-7,5}] + 8000/1{,}06^{2} = 18543$
8	12 800	8871	103 508	16 190	$-800 + [\Sigma_{i=9}^{9} (16\,171 – K_i)/1{,}06^{i-8,5}] + 8000/1{,}06^{1} = 12187$
9	8000	10 571	113 245	**16 171**	$-800 + [0] + 8000/1{,}06^{0} = 7200$
10	3200	12 596	123 435	16 289	
11	800	15 010	132 941	16 372	

- Kolom 1 tem 3: analoog als voorheen (zonder intrest)
- Kolom 4:

  De totale cumulatieve kosten zijn niet gewoon de som van de jaarlijkse kosten, maar van de totale contant gemaakte kosten met een intrestvoet r.

  We veronderstellen dat de onderhoudsuitgaven in jaar t in de helft van dat jaar gebeuren.

  We moeten ze dus berekenen over (t – 0,5 jaar).

  ⇨ Voorbeelden:

  - Trekker van 1 jaar:

    Totale contant gemaakte kosten = 27 431 =

80 000	(a.w., onmiddellijke uitgave in jaar 0)
$+ 2600 / (1{,}06)^{0,5}$	(onderhoudskost in jaar 1: uitgave in de helft van jaar 1: kan je 0,5 jaar mee wachten)
$- 58\,400 / (1{,}06)^{1}$	(residuwaarde na 1 jaar, 1 jaar op wachten)

  - Trekker van 2 jaar:

Totale contant gemaakte kosten = 43 357 =

80 000 (aankoopprijs , onmiddellijke uitgave)

+ 2600 / $(1{,}06)^{0{,}5}$ (onderhoudskost in jaar 1: uitgave in de helft van jaar 1: kan je 0,5 jaar mee wachten)

+ 3098 / $(1{,}06)^{1{,}5}$ (onderhoudskost in jaar 2: uitgave in de helft van jaar 2: kan je 1,5 jaar mee wachten)

- 47 200 / $(1{,}06)^{2}$ (Residuwaarde na 2 jaar: moet je 2j op wachten)

⇨ Hoe langer je rijdt met een trekker, hoe hoger de contant gemaakte kosten
Elk jaar voegt kosten toe en men moet een jaar langer wachten op de residuwaarde waardoor de residuwaarde daalt.

- Kolom 5:

⇨ De gemiddelde kostprijs per jaar is vervangen door een equivalente annuïteit per jaar. Deze annuïteit is hoger dan de totale contant gemaakte kosten gedeeld door het aantal jaren:
De betalingen worden gespreid over t jaar, elke betaling moet 1/t -de van de totale kosten dekken en de intrest vergoeden.

→ Voorbeeld:

Trekker van 3 jaar: totale contant gemaakte kosten = 56 314: spreiden over 3 jaar:
Betaling van X in het midden van elk jaar:

$X \cdot 1 / (1 + 0{,}06)^{0{,}5} + X \cdot 1/(1 + 0{,}06)^{1{,}5} + X \cdot 1/ (1 + 0{,}06)^{2{,}5} = 56\,314$

→ $X\,[1 / (1 + 0{,}06)^{0{,}5} + 1/(1 + 0{,}06)^{1{,}5} + 1/ (1 + 0{,}06)^{2{,}5}] = 56\,314$

→ $X = 56\,314 / [1 / (1 + 0{,}06)^{0{,}5} + 1/(1 + 0{,}06)^{1{,}5} + 1/ (1 + 0{,}06)^{2{,}5}]$

→ $X = 20\,463$

> 1/3 van 56 314

⇨ Het verschil tussen de gemiddelde kostprijs per jaar en de annuïteit = jaarlijkse intrestkost op de aankoop en het onderhoud van het voertuig.

→ Voorbeeld:

Trekker van 4 jaar: annuïteit = 19 079 Gemiddelde kostprijs per jaar = 15 874
Jaarlijkse intrestkost van een trekker die 4 jaar in dienst blijft = 19 079 – 15 874
= 3 232

Trekker van 10 jaar: annuïteit = 16 289 Gemiddelde kostprijs per jaar = 14 156
Jaarlijkse intrestlast van een trekker die 10 jaar in dienst blijft = 16 289 – 14 156
= 2 133

Latere vervanging vermindert dus de intrestlast:

Intrest zet dus aan tot latere vervanging!

⇨ Annuïteit is het kleinste als we vervangen na 9 jaar

= optimale vervangingsduur rekening houdend met de intrest

- Kolom 6: Herstellingsgrens berekenen met intrest:

  Kosten van nieuwe trekker vergelijken met kosten van herstelde trekker: goedkoopste toekomst kiezen.

⇨ Voorbeeld:

Stel trekker van 1 jaar:

- Vervangen kost:

  - 800 (schrootwaarde)

  + 16 171

  + 16 171

  + 16 171

  + 16 171

  + …

- Herstellen kost:

  H (herstellingskost)

  + K_2 (= 3098)

  + K_3

  + K_4

  + …

  + K_9

  - 8000 (nieuwe trekker)

  + 16 171

  + … (vanaf hier toekomst identiek als bij vervangen)

Conditie om te herstellen:

$$H + K_1 + K_2 + \dots + K_9 - 8000 \text{ moet } < -800 + (16\,171 \times 8)$$

$$H \text{ moet } < -800 + \frac{(16\,171 - K_2)}{(1{,}06)^{0{,}5}} + \frac{(16\,171 - K_3)}{(1{,}06)^{1{,}5}} + \dots + \frac{(16\,171 - K_9)}{(1{,}06)^{7{,}5}} + \frac{8000}{(1{,}06)^{8}}$$

H moet < 70 027

Stel trekker van 2 jaar:

$$H < -800 + \frac{(16\,171 - K_3)}{(1{,}06)^{0{,}5}} + \frac{(16\,171 - K_4)}{(1{,}06)^{1{,}5}} + \ldots + \frac{(16\,171 - K_9)}{(1{,}06)^{6{,}5}} + \frac{8000}{(1{,}06)^{7}}$$

⇨ Intrest zet aan tot hogere herstellingsgrenzen.

Voor bussen: na 17 jaar vervangen

Voor autocars:

- ⇨ Dervingskosten en kwaliteitsverlies = belangrijk
- ⇨ Subjectieve kosten zeer hoog
- ⇨ Vroeger vervangen:
  Dit is mogelijk zonder de jaarlijkse kosten aanzienlijk op te drijven

Toekomstige prijzen

Toekomstige prijzen kunnen worden opgenomen in de berekening door de onderhoudskosten, residuwaarden en aankoopwaarden uit te drukken in voorspelde prijzen.
Gegeven de lange termijn waarover vervangingsbeslissingen worden genomen, veronderstelt men een constante groeivoet.
Het veiligste is om de algemene tendens van de inflatie te volgen.

Opnemen van toekomstige prijzen in de berekening:

$$\text{Uitgave op tijdstip } n \times \frac{(1 + \text{inflatie})}{(1 + \text{intrest})}$$

- ⇨ Vermenigvuldigen om rekening te houden met prijsstijgingen
- ⇨ Delen om contant te maken
- ⇨ Contante kosten moeten berekend worden tegen reële intrest:
  Reële intrest = intrest – inflatie

Vervanging door een ander type opvolger

Tot nu toe werd verondersteld dat een voertuig vervangen werd door identiek hetzelfde voertuig.

⇨ Vervanging maakt een einde aan een kostencyclus en herhaalt dan het hele proces vanaf het begin.

Stel nu dat een voertuig vervangen wordt door een ander type voertuig:

⇨ De huidige kostencyclus wordt beëindigd en een geheel nieuwe kostencyclus wordt begonnen

⇨ Temporele marginale kostprijs vergelijken met de gemiddelde kostprijs van de opvolger

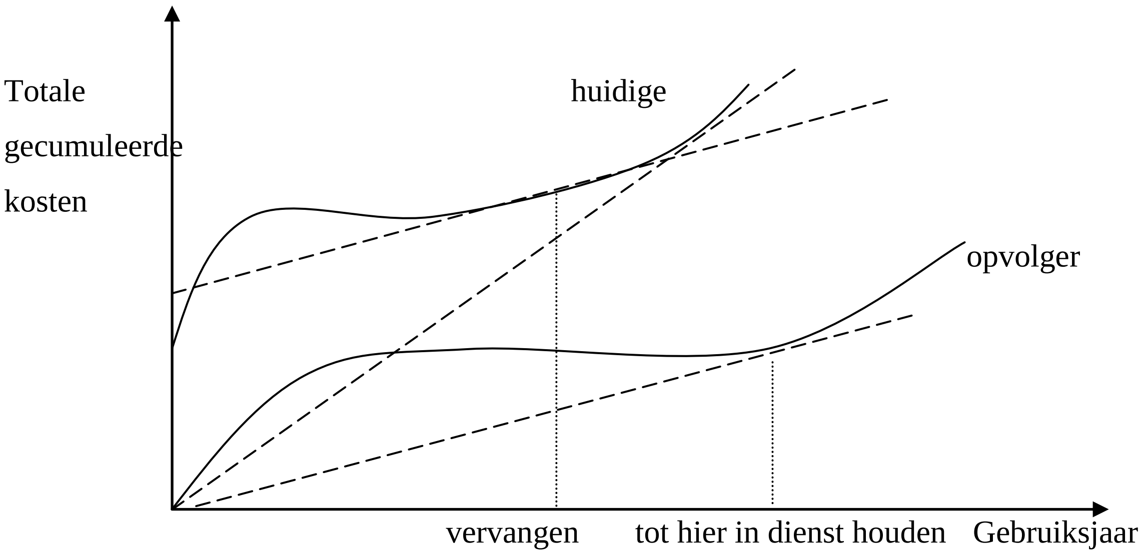
⇨ De berekening van het vervangingstijdstip gebeurt nu in 2 stappen:

- Voorgaande berekeningswijze wordt toegepast op de kostencyclus van de opvolger: Men berekent de optimale economische gebruiksduur en jaarlijkse kosten of de equivalente annuïteit die corresponderen met die levensduur.
- Men berekent de kosten voor een bijkomend jaar met het bestaande voertuig:
  Kost van een bijkomend jaar = verlies in residuwaarde voor dat jaar
  + bijkomende onderhoudskosten in dat jaar
  Indien men intrest opneemt in de berekening:
  → Residuwaarde aan het begin van het jaar x $(1 + r)^{0,5}$
  → Residuwaarde aan het einde van het jaar delen door $(1 + r)^{0,5}$

⇨ Wanneer vervangen?
Kosten van een bijkomend jaar met het bestaande voertuig > gemiddelde jaarlijkse kosten of equivalente annuïteit van de opvolger
OF
Temporele marginale kostprijs oude trekker > gemiddelde jaarlijkse kostprijs nieuwe

Probleem: kostencurve nieuwe trekker niet gekend

⇨ Grafisch:



Huidig voertuig in dienst tot temporele marginale kostprijs = voerstraal opvolger

Maar: we gaan vroeger vervangen:

→ Voerstraal huidige parallel verschuiven

Speciaal geval: gebruik maken van een onderaannemer:

⇨ Makkelijker om de gemiddelde jaarlijkse kosten van een opvolger te schatten

⇨ Men moet enkel de vergoeding weten die de onderaannemer aanrekent

Vervanging door een 2e hands voertuig

- Lagere aanschaffingswaarde:
  → Trekker kopen tegen residuwaarde i.p.v. aankoopprijs
- Onderhoudskosten beginnen op niveau van een jaar later
- Uitstekend beleid voor operatoren met minder afgelegde afstand per mijl
- Hoe vervanging van een 2e hands voertuig bepalen?

De kostenberekening herhalen voor verschillende strategieën:

- De 1e strategie kan bvb zijn: enkel voertuigen aankopen die 1 jaar oud zijn:
  - De aankoopprijs is dan 58 400
  - Residuwaarde = 47 200
  - De onderhoudskosten in het eerste jaar zijn dan 3098
    → Rij lager kijken: kosten schuiven rij op
- De 2e strategie kan bvb zijn: enkel trekkers van 2 jaar oud kopen:
  - Aankoopprijs = 47 200
  - Residuwaarde = 38 400
  - Onderhoudskosten = 3693
    → Rij lager kijken: rij 3 wordt rij 2

Voor elke strategie zal er een bijhorende tabel zijn die de optimale levenscyclus geeft.
Men moet enkel kolom 2 en 3 aanpassen in de tabel.
De strategie die de laagste kost of annuïteit oplevert is optimaal.

- ⇨ Temporele marginale kost is het kleinst in jaar 5
- ⇨ Alle trekkers in hun 5e jaar gebruiken
- ⇨ Kopen in 4e jaar en verkopen op einde van 5e jaar

- Problemen:
  - Men weet niet of de geselecteerde strategie wel kan worden uitgevoerd:
    Er is immers geen garantie dat er een 2e hands voertuig van de juiste ouderdom op het juiste moment beschikbaar is.
  - Voorspellen van onderhoudskosten:
    De kans is groot dat men een operator een voertuig verkoopt omdat de onderhoudskosten voor dat voertuig gemiddeld hoger zijn
    - ⇨ Markt biedt slechte voertuigen aan
    - ⇨ Je kent verborgen gebreken van het voertuig niet

- Bij personenwagens: BIF (belasting voor in verkeersstelling) betalen

Gebruik jaren t	Residu waarde R_t	Onderhouds -kost in jaar t K_t	Totale contant gemaakte kosten na t jaar	Annuïteit X_t	Herstellingsgrens op het einde van jaar t H_t
1	58 400	2600	24 431	28 242	$-800 + [\Sigma_{i=2}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-1{,}5}] + 8000/1{,}06^8 = 70027$
2	47 200	3098	43 357	22 969	$-800 + [\Sigma_{i=3}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-2{,}5}] + 8000/1{,}06^7 = 60817$
3	38 400	3692	56 314	20 463	$-800 + [\Sigma_{i=4}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-3{,}5}] + 8000/1{,}06^6 = 51666$
4	30 400	4399	68 064	19 079	$-800 + [\Sigma_{i=5}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-4{,}5}] + 8000/1{,}06^5 = 42694$
5	24 800	5242	77 645	17 903	$-800 + [\Sigma_{i=6}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-5{,}5}] + 8000/1{,}06^4 = 34052$
6	20 000	6247	86 612	17 108	$-800 + [\Sigma_{i=7}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-6{,}5}] + 8000/1{,}06^3 = 25925$
7	16 000	7444	95 167	16 558	$-800 + [\Sigma_{i=8}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-7{,}5}] + 8000/1{,}06^2 = 18543$
8	12 800	8871	103 508	16 190	$-800 + [\Sigma_{i=9}^{9} (16\,171 - K_i)/1{,}06^{i-8{,}5}] + 8000/1{,}06^1 = 12187$
9	8000	10 571	113 245	**16 171**	$-800 + [0] + 8000/1{,}06^0 = 7200$
10	3200	12 596	123 435	16 289	
11	800	15 010	132 941	16 372	

Conclusies m.b.t. de berekening van tijd –en kilometerkosten

Men kan de resultaten van het vervangingsbeleid gebruiken voor de afschrijvingen:

⇨ Afschrijvingen worden opgesplitst in tijd –en km gedeelte:
   - Vaste afschrijvingen: uurcoëfficiënt
   - Variabele afschrijvingen: km coëfficiënt

Met een jaarlijkse afstand van 150 000 km was de optimale levenscyclus 8 jaar.

⇨ Afschrijving = (80 000 – 12 800) / 8 = 8400

Hoe variëren de afschrijvingen met de afstand?

⇨ Als afstand geen invloed heeft, dan zijn de variabele afschrijvingen 0 en zijn er enkel vaste afschrijvingen.

⇨ Als afstand wel een invloed heeft, dan is er wel een variabele component aanwezig

Optimale vervanging (zonder intrest), afstand gehalveerd

Gebruik jaren t	Residu waarde R_t	Onderhouds -kost in jaar t K_t	Cumulatieve kosten na t jaar	Gemiddelde kost per jaar	Herstellingsgrens op het einde van jaar t H_t
1	58 400	1300	22 900	22 900	-800 + 8 x 10898 $-K_2 - K_3 - \ldots - K_9$ +8000 = 62 602
2	47 200	1549	35 649	17 825	-800 + 7 x 10 898 $-K_3 - \ldots - K_9$ + 8000= 60 253
3	38 400	1846	46 295	15 432	-800 +6 x 10 898 $-K_4 - K_5 - \ldots - K_9$ +8000 = 51201
4	30 400	2200	56 495	14 124	-800 + 5 x 10 898 $-K_5 - \ldots - K_9$ +8000 = 42 503
5	24 800	2621	64 716	12 943	-800 + 4 x 10 898 $-K_6 - \ldots - K_9$ +8000 = 34 226
6	20 000	3124	72 640	12 107	-800 + 3 x 10 898 $-K_7 - K_8 - K_9$ +8000 = 26 451
7	16 000	3722	80 362	11 480	-800 + 2 x 10 898 $- K_8 - K_9$ +8000 = 19 275
8	12 800	4435	87 997	11 000	-800 + 1 x 10 898 $- K_9$ +8000 = 12 813
9	8000	5285	98 082	**10 898**	-800 + 0 x 10 898 + 8000 = 7200
10	3200	6298	109 180	10 918	
11	800	7505	119 085	10 826	

Stel trekker: 75 000 km / jaar

⇨ Halvering van de onderhoudskosten:

Want halvering van de afstand → Onderhoudskosten en afstand zijn proportioneel

⇨ Gecumuleerde kosten zullen dus dalen

⇨ We zien nu dat de jaarlijkse kosten minimaal zijn met een levenscyclus van 9 jaar i.p.v. 8

- Trekker 150 000 km/jaar: vervangen na 8 jaar:

  Afschrijvingen = (80 000 – 12 800) / 8 = 8400

- Trekker 75 000 km/jaar: vervangen na 9 jaar:

  Afschrijvingen = (80 000 – 8000) / 9 = 8000

⇨ Wanneer de afstand met 75 000km vermindert, verminderen de afschrijvingen met 400:

Wanneer nu de afstand met 1 km verandert, dan veranderen de afschrijvingen met:

400 / 75 000 = 0,005333

Dit is de variabele afschrijving toegewezen via de km coëfficiënt.

Als een trekker 150 000 km/jaar aflegt en vervangen wordt na 8 jaar, dus vervangen wordt na 1200 000 km dan is de variabele afschrijvingskost = 0,005333 x 1200 000 = 6400
De totale afschrijvingen bedroegen 80 000 – 12 800 = 67 800

- ⇨ 6400 / 67 800 = 9,5%
- ⇨ 9,5 % van de afschrijvingen is dus variabel
- ⇨ Dus 90,5% van de afschrijvingen zijn vast

Men kan de onderhoudskosten op een gelijkaardige manier verdelen in een vast en een variabel gedeelte:

- ⇨ Als een voertuig 150 000 km/jaar doet en vervangen wordt na 8 jaar, dan is de gemiddelde onderhoudskost per jaar 41 595 / 8 = 5 199

  (41 595 = de som van de onderhoudskosten van jaar 1 tem jaar 8)
- ⇨ Een trekker die 75000 km/jaar aflegt en vervangen wordt na 9 jaar:

  Gemiddelde onderhoudskost = 26 082 / 9 = 2 898

  (26 082 = de som van de onderhoudskosten van jaar 1 tem jaar 9)
- ⇨ Een vermindering van de afstand met 75000 km, doet de gemiddelde onderhoudskost dalen met 5199 – 2898 = 2301

  Per km zal de onderhoudskost dus veranderen met 2301 / 75000 = 0,03068
- ⇨ Aangezien een trekker gemiddeld 150 000 km/jaar doet en vervangen wordt na 8 jaar, dus na 1200 000 km, is de variabele onderhoudskost gelijk aan:

  1200 000 x 0,03068 = 36 816

  Jaarlijkse onderhoudskost 41 594 – variabele onderhoudskost 36 815

  = vaste onderhoudskost van 4778

Taxatie

Enkel voor ondernemingen die winst maken en die aan belastingen onderworpen zijn.

- Annuïteit:

  Voor een vrachtwagen die n jaar in dienst is:

$$\text{Annuïteit} = \frac{\text{Totale contant gemaakte kosten}}{1/(1+0,06)^{0,5} + 1/(1+0,06)^{1,5} + \ldots + 1/(1+0,06)^{n-0,5}}$$

$$\text{Annuïteit} = \frac{A + K_1/(1,06)^{0,5} + K_2/(1,06)^{1,5} + \ldots + K_n/(1,06)^{n-0,5} - R_n/(1,06)^{n-0,5}}{1/(1,06)^{0,5} + 1/(1,06)^{1,5} + \ldots + 1/(1,06)^{n-0,5}}$$

met A = aanschaffingswaarde

K_j = onderhoudskost in jaar j

R_n = residuwaarde in jaar n

n = gebruiksduur

→ Annuïteit moet zo klein mogelijk zijn

- Onderhoudskosten:

  Voor vrachtwagens zijn de onderhoudskosten integraal aftrekbaar van de belastbare winst

  ⇨ Onmiddellijk belastingvoordeel:

  Toevoegen aan de teller:

  $-0,3554 \times [K_1/(1,06)^{0,5} + K_2/(1,06)^{1,5} + \ldots + K_n/(1,06)^{n-0,5}]$

  (vennootschapsbelasting = 35,34 %)

  = fiscale voordeel van de onderhoudskosten

- Aanschaffingswaarde fiscaal afschrijven over 5 jaar:

  ⇨ Belastingvoordeel niet onmiddellijk:

  $= -0,3554 \times [0,2\,A/(1,06)^{0,5} + 0,2A/(1,06)^{1,5} + \ldots + 0,2A/(1,06)^{4,5}]$

  Als $n \geq 5$: 5 termen

  Als $n < 5$: n termen (bvb na 2 jaar stoppen)

  ⇨ Minder gemakkelijk vervangen want fiscaal minder gunstig

  ⇨ Als je voor de leeftijd van 5 jaar vervangt:

  Meerwaarde als gewone bedrijfswinst belast: 35,54 %

  $= 0,3554 \times [R_n - A(1 - 0,2\,n)]$ = 0,3554 x (residuwaarde – boekwaarde)

Vanaf 5 jaar: fiscaal gunstig statuut voor meerwaarden:

Als n ≥ 5: meerwaarde slechts uitgestelde belasting

- ⇨ Spreiden over afschrijvingstermijn van de nieuwe trekker die je koopt (dus over de 5 volgende jaren:

  $$+ 0{,}3554 \times R_n \times [0{,}2/(1{,}06)^{n+0{,}5} + 0{,}2/(1{,}06)^{n+1{,}5} + \ldots + 0{,}2/(1{,}06)^{n+4{,}5}]$$

- ⇨ Dit is een fiscale reden om met vervanging te wachten tot trekker 5 jaar is

▪ Investeringsaftrek

Als onderneming minder dan 20 werknemers heeft, mag ze gespreide investeringsaftrek toepassen:

= 10,5 % van de afschrijvingen

Je mag de afschrijvingen met 10,5% verhogen

▪ Intrest:

Je mag alle intresten aftrekken:

- ⇨ Intrest = 6%:

  = Intrest 8% - 2 % inflatie

- ⇨ Netto intrest na belasting 8% - (0,3554 x 8%) = 5,2 %
- ⇨ In hele berekening intrest van 6% vervangen door 3,2% = 5,2% - 2% inflatie

▪ Voor personenwagens:

- Loontrekkende die wagen gebruikt voor woon-werk, mag deze kosten aftrekken van zijn beroepsinkomen
  - → Enkel voor professioneel gedeelte
  - → Belastingtarief hoger
- Meerwaarde niet belast:

  Stel auto over 5 jaar afschrijven totdat BW = 0 → Verkopen voor 20 000

  → niet belast

  = groot belastingvoordeel (voorwaarde: 5 jaar gebruiken)
- Aftrek voor personenwagens en wagens voor dubbel gebruik beperkt tot 75%
  - → Niet voor vrachtwagens en motors
  - → Als auto enkel gebruik wordt voor woon-werkverkeer:

    Aftrekbaar voor 15 cent/km

- Intresten op personenwagens zijn integraal aftrekbaar
  Maar bewijzen dat je intresten betaald hebt en gebruikt voor beroepsactiviteit
- BTW opnemen in aanschaffingswaarde en onderhoudskosten
  → Vennootschap heeft BTW-nr: krijgt BTW terug
- BIV = belasting op in verkeersstelling

HOOFDSTUK 6: PRIJSBEREKENING IN VERVOERBEDRIJVEN

Uitgangspunt: kosten

Uurcoëfficiënt = 21,75 euro

Kilometercoëfficiënt = 0,24 euro

Stel leeg terugrijden

⇨ Prijs?

21,75 x laad –en lostijd

+ (0,24 + 21,75/snelheid) x 2 K   met K = aantal km

Stel: Laad –en lostijd elk 6u

Snelheid = 70 km/u

⇨ Tarief?

21,75 x 6

+ (0,24 + 21,75/70) x 2K

⇨ Vergelijken met opgevraagde tarieven:

	Berekening	Prijsopgave
100 km	240 euro	259 – 390 euro
200 km	350 euro	330 – 368 euro
400 km	570 euro	660 – 735 euro

Verklaring voor de verschillen: wachttijden aan grens, wettelijk voorgeschreven rust van de chauffeur, enz.

Vervoerders rekenen gemiddelde kosten aan, ook voor de lege retourvracht.

Indien toch retourvracht: zuivere winst

Tarieven zijn maar een uitgangspunt

⇨ Vaak prijs per klant

⇨ Onderhandelen: initiatief en rekening houden met concurrentie

⇨ Indien de vervoerder toegeeft aan de eisen van de klant: vaak moeilijk om de consequenties te schatten

⇨ Via computer: analyse van de prijsberekening

- Routing: standaardpakketten
- Prijsberekening: zelf in spreadsheet berekenen:

  Want veel verschillen tussen bedrijven zodat standaardpakketten niet mogelijk zijn.

  Prijszetting wordt door vervoersbedrijven vaak outgesourced naar consultancy bedrijven.

Probleem: wachttijden

⇨ Het aanbod van transport kan niet opgeslagen worden

⇨ Men kan het transport enkel uitvoeren als de capaciteit beschikbaar is

⇨ Men kan een beroep doen op de ‘standard queuing theorie”:
  MAAR: wachttijd heeft een invloed op de vraag bij transporttarieven

⇨ Beste aanpak is vaak een simulatie: Monte Carlo simulatie

Specifieke omstandigheden

Elke gevalstudie heeft zijn eigen omstandigheden.
Wij veronderstellen het volgende:

- Korte termijn beslissingen:
  De capaciteit van de vloot ligt vast en kan niet veranderd worden.
  Prijszetting kan enkel beïnvloed worden door de variabele kosten.
- De vervoerder is hoeveelheidsaanpasser:
  De vervoerder kan enkel kiezen tussen de prijzen die door de klanten worden aangeboden.
  De vervoerder kan enkel maar beslissen of hij de opdracht aanvaard of niet.
- Alle vervoeropdrachten worden afzonderlijk uitgevoerd:
  Geen samenladingen, geen heen –en retourvrachten, enz.
- Bij capaciteitstekort is er maar 1 oplossing: de klant laten wachten:
  → Er zullen dan een aantal klanten afhaken.
  Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn: extra capaciteit inhuren van een onderaannemer.
  → Een deel van de winst gaat dan naar de onderaannemer
- Beperkt aantal klanten: elke klant wordt afzonderlijk beschouwd in de berekening

- Gelijke uitvoerbaarheid van alle klanten:

  Klanten zijn enorm gevoelig voor wachttijden.

  We kunnen deze gevoeligheid begrijpen als we een onderscheid maken tussen de werkelijke afzet x en de potentiële vraag V:

  - Werkelijke afzet x:

    Dit is het aantal uren dat werkelijk gebruikt wordt voor de klant, de effectieve uren die voertuigen presteren

    Deze vraag wordt beïnvloed door wachttijden.

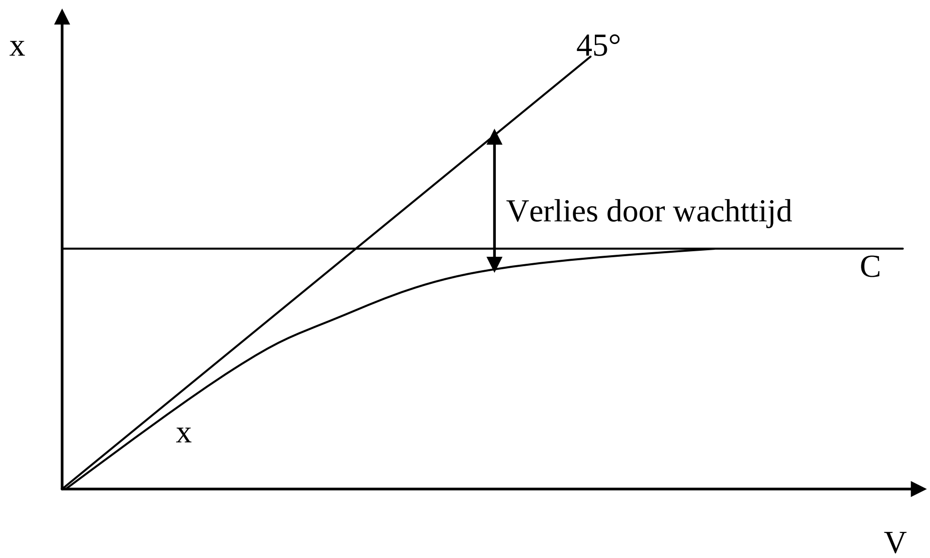
    Wanneer wachttijd zich voordoet, kan het zijn dat sommige klanten afhaken.

  - Potentiële vraag V:

    Dit is het verwacht aantal uren dat we voor de klant rijden wanneer we hem niet doen wachten.

  Het verschil tussen de 2 is het aantal uren dat we de klant doen wachten.

  - ⇨ In alle gevallen geldt dat: $x \leq V$
  - ⇨ Het verschil V – x = het aantal uren dat je verliest door te wachten
  - ⇨ Wanneer er een overschot is aan capaciteit om alle klanten onmiddellijk te bedienen in alle omstandigheden, dan geldt dat x = V
  - ⇨ Wanneer capaciteit schaars is en klanten moeten wachten, dan x < V
  - ⇨ Voor een gegeven capaciteit verloopt de relatie tussen x en V als volgt:



- De x-curve geeft de werkelijke vraag i.f.v. de potentiële vraag V.
- De 45°lijn zoekt de punten waar x en V aan elkaar gelijk zijn.

- De horizontale lijn C geeft de capaciteit weer:
  Het maximale aantal uren dat een bedrijf kan vervoeren gegeven het aantal voertuigen.
  C= aantal beschikbare voertuigen x aantal uren
- Aangezien $x \leq V$ zal de x-curve nooit stijgen boven de 45°-lijn
- Wanneer lage V en lage capaciteitsbenutting, dan is $x \approx V$:
  Klanten moeten bijna niet wachten en er is geen verlies in vraag als gevolg van wachttijden.
  De x-curve sluit aan bij de 45°-lijn.
- Wanneer de vraag toeneemt en meer capaciteit benut wordt, zal er meer wachttijd zijn.
  Er is ook een grotere terugval in de vraag V – x en de x-curve wijkt meer en meer af van de 45°-lijn.
  Zelfs wanneer de potentiële vraag hoog is, kan x nooit de capaciteit overschrijden: de x-curve zal nooit boven de C-lijn komen.
- x zal ten hoogste C asymptotisch benaderen:
  Zelfs met een zeer hoge potentiële vraag zal het soms voorkomen dat voertuigen ongebruikt zijn, zodat de werkelijke vraag x niet exact gelijk zal zijn aan C.
- De grafiek toont aan hoe toenemend capaciteitsgebruik een verlies aan vraag veroorzaakt, te wijten aan wachttijden.
  De uitvoerbare fractie x/V hangt af van de capaciteitsbenutting:
  - → x/V = 1 als de vraag V veel lager is dan de capaciteit
  - → De verhouding x/V daalt naarmate het drukker wordt

Gevalstudie

Klein transportbedrijf met 5 vrachtwagens en een beperkt aantal klanten.

- ⇨ 6 opdrachten
- ⇨ 2 mogelijke bijkomende opdrachten
- ⇨ In totaal 8 klanten onderscheiden, genummerd van 1 tot 8

Elke vrachtwagen rijdt 40 uren per week

- ⇨ Totale beschikbare capaciteit = 200 uur per week

Vraag-categorie j	Bruto marge per voertuig-uur m_j	Potentiële vraag (voertuig-uren in een gem. week) V_j	Gecum. potentiële vraag	Potentiële marge-ontvangsten m_j x V_j	Gecum. potentiële marge-ontvangsten	Uitvoerbare fractie x/V	Gecum. verwachte marge-ontvangsten
2	36,33	32	32	1162	1162	0,95	1100
3	25,63	24	56	615	1777	0,91	1616
6	25,30	36	92	911	2688	0,86	2303
1	23,75	54	146	1282	3970	0,78	3099
5	21,08	35	181	738	4708	0,73	3438
4	16,13	16	197	258	4966	0,71	3511
8	15,30	94	291	1438	6404	0,57	3665
7	5,45	117	408	638	7042	0,45	3136

- Kolom 1: klanten

  Klanten zijn gerangschikt naar dalende vraag:

  → Best betalende klant: marge van 36,36

  → Slechtste klanten: diegenen die we nu zouden willen toevoegen

- Kolom 2: Bruto marge per voertuig:

  Voor elke klant: marge per voertuiguur:

  $$= \frac{\text{Prijs – variabele kosten}}{\text{Uren beslaglegging op voertuig}}$$

  ⇨ Enkel de schaarse uren beschouwen:

  De uren tussen 8 -12u en 13 -17u

- Kolom 3: Potentiële vraag in een gemiddelde week, uitgedrukt in voertuiguren

  = het aantal uren dat een voertuig gebruikt wordt, gedurende normale werkuren, zonder dat de klant moet wachten.

  Voor klanten 7 en 8 is het aantal potentiële opdrachten gebaseerd op schattingen.

  Voor klanten 1 tem 6 zijn de potentiële opdrachten geschat door bij het geobserveerde aanbod het geschatte verlies aan opdrachten door wachttijden op te tellen.

Deze schatting is gebaseerd op telefoongesprekken en faxberichten, waardoor men alle vragen van klanten kan nagaan, inclusief de opdrachten die men is kwijtgespeeld door wachttijd.

In de praktijk zijn deze gegevens echter niet volledig en werd een globale schatting gemaakt waarbij voor elke 5 opdrachten die uitgevoerd werden, 2 opdrachten werden kwijtgespeeld als gevolg van wachttijden.

- ⇨ De potentiële vraag was dus 40% hoger dan de werkelijke vraag.

Deze schatting is niet perfect, maar de berekening voorziet een controle:

- ⇨ Indien de potentiële vraag onderschat wordt, dan zal de output in de tabel lager zijn dan de werkelijke vraag
- ⇨ Men kan dus de schatting voor de potentiële vraag aanpassen
- ⇨ In dit geval was geen correctie nodig:

  De berekening in de tabel is een goede benadering van de werkelijke output van ongeveer 140 u per week voor de 6 klanten samen.

  We bekomen een potentiële vraag van 197 uur en een uitvoerbare fractie van 0,71 → Dus een verwachte activiteit van 197 x 0,71 = 139,87 uur per week.

- Kolom 4: optelling van kolom 3:

Als men enkel opdrachten aanvaard met de grootste marge (klant 2), dan verwacht men een potentiële vraag van 32 uur.

Als men hierbij de 2^{e} hoogste marge voegt, dan kan men in totaal een potentiële vraag van 32 + 24 = 56 voertuiguren verwachten, enz.

- Kolom 5: Potentiële margeontvangsten

  = kolom 2 x kolom 3

  = bruto marge x aantal voertuiguren

Het zijn de potentiële ontvangsten, als er geen wachttijd is.

- Kolom 6: Cumulatieve potentiële margeontvangsten:

  = sommatie van kolom 5

Als men enkel opdrachten aanvaard met de hoogste marge, dan zijn de wekelijkse potentiële margeontvangsten 1162 euro.

Als men ook opdrachten aanneemt met de 2^{e} hoogste marge, dan bedragen de wekelijkse potentiële margeontvangsten 1777 euro.

Bij het aanvaarden van 6 opdrachten: potentiële margeopbrengsten = 4966 euro per week.

Als men klanten 7 en 8 ook toevoegt, dan krijgt men een wekelijkse potentiële margeontvangst van 7042 euro.

Om de werkelijke margeontvangsten te bekomen, moet men de werkelijke vraag beschouwen.

- Kolom 7: de uitvoerbare fractie x/V:

  Potentiële vraag = 408

  MAAR slechts 200 beschikbaar → Slechts fractie uitvoeren

  - Als men enkel klant 2 bedient: 95% van 1162

    Men verliest slechts 5% van de vraag door wachttijden.
  - Als men klant 2 en 3 bedient: 91% van 1777
  - Als men alle 8 klanten bedient, kan men slechts 45% van de opdrachten uitvoeren

  De berekening in de tabel gaat ervan uit dat alle klanten even gevoelig zijn voor wachttijden.

  De uitvoerbare fractie werd voor elke klant berekend d.m.v. een simulatie:

  - De aankomsten van orders werden gesimuleerd door een frequentieverdeling te maken voor het mogelijke aantal opdrachten, dagelijks van maandag tem vrijdag

    Empirisch: bijhouden van het aantal inkomende orders gedurende een aantal weken.
  - Het effect van wachttijd werd geschat op basis van volgende regels:
    - ¼ van de opdrachten accepteert 1 dag wachten
    - $(¼)^2$ = 1/16 van de opdrachten accepteert 2 dagen wachten
    - Geen enkele opdracht is bereid om 3 of meer dagen te wachten

  Deze bevindingen sluiten dicht aan bij de werkelijkheid, maar zijn geen perfecte beschrijving ervan.

  Men kan de activiteiten van het transportbedrijf simuleren m.b.v. een computerprogramma:

  - De 1^e^ mogelijkheid bestaat erin slechts 1 klant te bedienen: klant 2 met de grootste marge:

    Men maakt een computermodel van de activiteiten van het bedrijf dag na dag. We beginnen bvb op de 1^e^ dag van het jaar, bvb een maandag, waarop er 5 lege vrachtwagens zijn.

Er wordt een toevalsnummer getrokken, dat het aantal opdrachten vertegenwoordigt voor die dag, gebaseerd op de frequentieverdeling van een maandag.

De opdrachten worden toegewezen aan de vrachtwagens in willekeurige volgorde zolang er vrachtwagens beschikbaar zijn.

Wanneer er geen vrachtwagen beschikbaar is op die dag voor een opdracht, dan wordt een nieuw toevalsgetal getrokken om te bepalen of de opdracht uitgesteld wordt.

Als een vrachtwagen beschikbaar is de volgende dag, dan is er ¼ de kans dat de opdracht wordt aangenomen.

Als men 2 dagen moet wachten, is de kans nog maar 1/16.

Wanneer men 3 dagen moet wachten, verliest men de opdracht.

- De berekening gaat verder op de volgende dag:

  Men trekt opnieuw een toevalsgetal, dat het aantal opdrachten vertegenwoordigt voor die dag, gebaseerd op de frequentieverdeling van een dinsdag.

  De opdrachten worden toegewezen aan de vrachtwagens, die gedurende de duur van de opdracht als bezet worden beschouwd.

  Indien er geen vrachtwagen vrij is, gaat men na of de dag erna of 2 dagen erna of 3 dagen erna een vrachtwagen beschikbaar is, met respectievelijke kansen ¼, 1/16 en 0 voor behouden van de opdracht.

- De berekening wordt een voldoende lange tijd herhaald (hier 98 weken)

  Op het einde van de berekening, gaat men na hoelang de vrachtwagens in dienst zijn geweest.

  → Hier: De 5 vrachtwagens waren 32,39 uren/week operationeel

  → De uitvoerbare fractie is dus 30,29 / 32,39 = 0,95

Men kan deze simulatie ook doen voor 2 klanten (nl. klant 2 en 3), enz.

Bij 8 klanten is er veel wachttijd, waardoor we veel klanten verliezen.

→ Vrachtwagens gemiddeld 181,72 uren bezig

→ Uitvoerbare fractie = 181,72 / 408 = 0,45

- Kolom 8: Gecumuleerde verwachte margeontvangsten:

  De verwachte margeontvangsten zijn maximaal als men alle opdrachten aanvaard, behalve klant 7.

  ⇨ De marge van 5,45 euro/uur is te weinig om de inname van capaciteit te compenseren