

Problemen binnen het Bakcentransportproces in de Natte Waterbouw

augustus 1998

W.P. Huijssoon



**Onderzoek naar de inzet van materieel voor het
transport van stenen over water, ten behoeve van
de bouw van een golfbreker.**

Problemen binnen het Bakcentransportproces in de Natte Waterbouw

W.P. Huijssoon

augustus 1998



**Onderzoek naar de inzet van materieel voor het
transport van stenen over water, ten behoeve van de
bouw van een golfbreker.**

Afstudeer scriptie

Problemen binnen het bakcentransportproces in de Natte Waterbouw

Onderzoek naar de inzet van materieel voor het
transport van stenen over water, ten behoeve van de
bouw van een golfbreker.

Door :

Willem Peter Huijssoon

Plaats en Datum :

Papendrecht & Delft
augustus 1998

Studie :

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Sectie : Waterbouwkunde
Stevinweg 1, Delft

Opdrachtgever :

Baggermaatschappij Boskalis bv.
afdeling : Hydronamic
Rosmolenweg 20, Papendrecht

Afstudeercommissie :

prof.dr.ir. J.K. Vrijling
ir. W. Tutuarima
ir. T.H.W. Horstmeier
ir. C.J. Dykstra (Boskalis)

Voorwoord

Dit rapport is de afstudeer-scriptie van W.P. Huijssoon ter afsluiting van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Het onderwerp 'Problemen binnen het Bakkentransportproces in de Natte Waterbouw' is aangedragen door de afdeling Hydronamic van Boskalis te Papendrecht.

Naast het rapport is een bruikbaar simulatiemodel (BakSim) ontwikkeld, waarmee het bakkentransportproces of soortgelijke processen kunnen worden berekend.

Dit rapport bevat de benodigde kennis en inzicht in het bakkentransportproces, dat nodig is voor efficiënt gebruik van het computerprogramma BakSim.

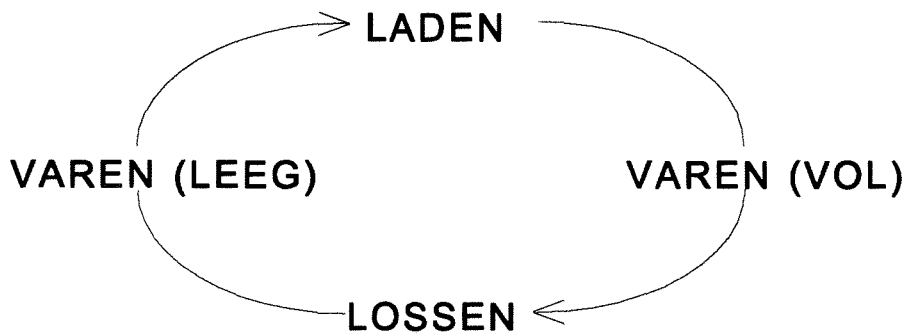
Hierbij wil ik met name mijn afstudeercommissie bedanken voor de begeleiding gedurende mijn afstudeer-periode. Verder wil ik de afdeling Hydronamic binnen Boskalis hartelijk danken voor de enthousiaste medewerking en voor het gebruik van de nodige faciliteiten.

SAMENVATTING

Vanuit de praktijk (Boskalis) is de vraag gekomen om het bakkentransportproces, zoals dat plaatsvindt bij de bouw van offshore golfbrekers, nader te bestuderen. De reden daarvan is, dat de berekende productie met behulp van de huidige berekeningsmethode niet voldoet in de praktijk. De berekende productie en daarmee ook de kosten blijken niet haalbaar te zijn.

Het doel van dit onderzoek is het inzicht in het bakkentransportproces te vergroten. Tevens is een bruikbaar hulpmiddel ontwikkeld waarmee tijdens de begrotingsfase de werkelijk haalbare productie en de kosten bij een gegeven materieel-inzet nauwkeuriger bepaald kunnen worden.

Het bakkentransportproces bestaat hier uit het transporteren van stenen en beton elementen voor de bouw van een offshore golfbreker. Dit transport vindt plaats met platte bakken die verscheept worden met duw- en/of sleepboten. De bakken worden geladen aan een kade in een werkhaven (het laadstation), zie schema 1. Op de loslocatie worden de bakken gelost (het losstation). Het losstation bestaat uit een kraan op een ponton die de stenen lost en op zijn plaats brengt.



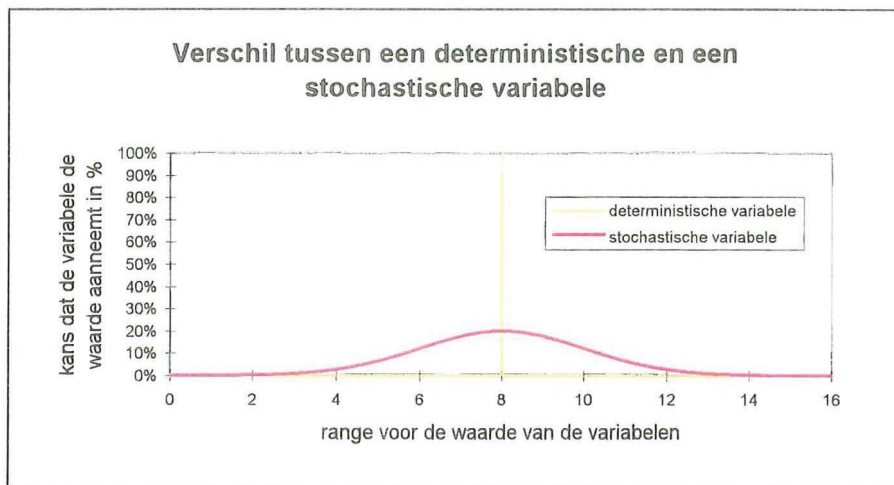
Schema 1 : Vereenvoudigd transportcirculatieschema van de platte bakken

In de huidige berekeningsmethode worden voor alle variabelen vaste waarden aangenomen. Hierbij wordt gestreefd naar een situatie, waarbij de netto weekproductie van de drie deelprocessen van het bakkentransport, te weten : laden, lossen en transport, gelijk zijn. Deze netto weekproducties worden berekend aan de hand van de capaciteit van het materieel en het aantal netto operationele uren per week. Het aantal netto operationele uren is gelijk aan de duur van de werkweek vermindert met de verlettijd.

Bij het bepalen van de materieel-inzet wordt rekening gehouden met de kosten van het materieel. Hieruit volgt met behulp van de kosten calculatie (zie doelfunctie), dat het duurste materieel het knelpunt van het proces moet zijn. Onder het knelpunt van het proces wordt het deelproces met de hoogste bezettingsgraad verstaan. Met onderstaande formule kan de materieel-inzet 'optimaal' worden bepaald.

$$\text{Doel functie} \Rightarrow \left(\min_{n-n_{\text{opt}}} \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{laad}}} K_{\text{laad},i} + \sum_{j=1}^{n_{\text{bak}}} K_{\text{bak},j} + \sum_{h=1}^{n_{\text{los}}} K_{\text{los},h}}{P_{\text{nominiaal}}(P_{\text{n,laad}}(n_{\text{laad}}); P_{\text{n,transport}}(n_{\text{bak}}); P_{\text{n,los}}(n_{\text{los}}))} \right) [\text{gld / ton}]$$

Uit de procesanalyse volgt, dat de huidige berekeningsmethode met vaste waarden rekent voor variabelen die in de praktijk variabel en stochastisch van aard zijn. Stochastisch wil zeggen dat de variabele niet vastgelegd is door een constante waarde (deterministisch) maar door een kansdichtheidsverdeling, zie Grafiek 1.



Grafiek I : Grafische weergave van verschil tussen een deterministische en een stochastische variabele.

Uit een probabilistische analyse volgt, dat het stochastische karakter van de variabelen productieverlies veroorzaakt. Naast de gemiddelde waarde van de productie van de deelprocessen speelt de spreiding een belangrijke rol in de grootte van het productieverlies. De verdeling van de productie is vastgelegd binnen de volgende grenzen :

$$\mu_{P_{\text{nominaal}}} \leq \min (\mu_{P_{\text{n,laad}}}, \mu_{P_{\text{n,transport}}}, \mu_{P_{\text{n,los}}})$$

$$\sigma_{P_{\text{nominaal}}} \leq \max (\sigma_{P_{\text{n,laad}}}, \sigma_{P_{\text{n,transport}}}, \sigma_{P_{\text{n,los}}})$$

Uit deze analyse is verder gebleken, dat het knelpunt van het proces niet constant hetzelfde deelproces hoeft te zijn. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het feit, dat oponthoud binnen het ene deelproces, wachttijden (dus productieverlies) bij het andere deelproces kan veroorzaken. Van deze afhankelijkheden tussen de deelprocessen is vooraf niets bekend.

Een nauwkeurige productie- en kostenberekening moet dus rekening houden met de statistische onzekerheden van de variabelen en de afhankelijkheden tussen de deelprocessen. Omdat de afhankelijkheden en de wachttijden van de deelprocessen niet bekend zijn, is het niet mogelijk om het bakkentransportproces nauwkeurig met behulp van analytische methoden uit te rekenen. Daarom is het nieuwe model gebaseerd op een simulatietechniek.

Uit de literatuurstudie en diverse gesprekken met personen uit de transport en logistiek sector is gebleken dat er geen literatuur over dit onderwerp beschikbaar is. Tevens zijn bestaande rekenmodellen, welke een soortgelijke cyclus beschrijven als het bakkentransportproces, moeilijk of niet te vinden. De modellen, welke hiervoor in aanmerking kwamen, bleken achteraf niet herschrijfbaar te zijn. Daarom is gekozen voor het ontwikkelen van een nieuw simulatiemodel. Het nieuwe simulatiemodel houdt rekening met het stochastische karakter van de variabelen en berekent zelf de wachttijden.

De invoer van het nieuwe model BakSim bestaat onder andere uit een aangenomen materieel-inzet met bijbehorende specifieke gegevens. Deze specifieke gegevens bestaan onder andere uit capaciteit gegevens, verlettijden, vaartijden en kosten. Voor de capaciteit, verlettijden en vaartijden moeten verdelingen worden aangenomen en ingevoerd.

Het nieuwe simulatiemodel BakSim berekent naast de verdeling van de weekproductie ook de productie over de opgegeven bouwtijd, de bezettingsgraad van elk stuk materieel en de globale verwerkingskosten per ton.

Het simulatieprogramma BakSim is op drie manieren getoetst. Als eerste is gecontroleerd of alle onderdelen goed functioneren. Ten tweede is een scenario met vaste waarden (deterministisch) met de hand nagerekend. Als laatste is het model met behulp van beschikbare data van het werk Kertih in Maleisië getoetst aan de praktijk.

Uit de testen volgt, dat het simulatieprogramma het bakkentransportproces nauwkeuriger berekent dan de huidige berekeningsmethode en dat daarbij de antwoorden de werkelijkheid, binnen de marges van de aannamen, benaderen.

Met behulp van BakSim is het mogelijk om tijdens de begrotingsfase een 'optimalisatie'-analyse of een risico -analyse voor het werk uit te voeren.

Bij het optimaliseren van het bakkentransportproces moet eerst het deelproces worden bepaald, dat het knelpunt moet zijn (het knelpuntproces). Uit economisch oogpunt moet in elk productieproces het duurste deelproces het knelpunt van het proces zijn. In het bakkentransportproces is dat over het algemeen het losproces. Om de bezettingsgraad van het losmaterieel te verhogen kunnen diverse maatregelen worden getroffen. Enkele maatregelen kunnen zijn :

- I. Laadcapaciteit verhogen :
 - A. ander laadmaterieel-inzetten met een hogere bruto laadcapaciteit,
 - B. een extra laadstation inrichten (kade + materieel).
- II. Transportcapaciteit verhogen :
 - A. extra bakken inzetten,
 - B. grotere bakken toepassen,
 - C. sneller varende boten inzetten.

Tijdens het optimaliseren van het proces moet er naar gestreefd worden, dat het knelpuntproces zo intensief mogelijk wordt ingezet. Uit het onderzoek is gebleken, dat de netto productie van de overige deelprocessen hoger moet zijn dan de netto productie van het knelpuntproces. Hierdoor ontstaat een wachtrij van bakken voor het knelpuntproces. Deze wachtrij dient als buffer, die steringen in de aanvoer van de stenen opvangt.

Het intensiveren van het knelpuntproces is er de oorzaak van dat de bezettingsgraad van de deelprocessen, waarvan de netto productie is verhoogd, afneemt. Daarom moet altijd met behulp van een 'kosten-baten' analyse worden onderzocht of de veranderingen economisch verantwoord zijn. Hierbij worden met behulp van de extra investeringen en de nieuwe productie de nieuwe verwerkingskosten berekend. De 'kosten-baten' analyse is gebaseerd op de reeds weergegeven doelfunctie.

Hierbij moet tevens voldaan worden aan de volgende eis :

$$P_{\text{nominaal}} (P_{n.\text{laad}}, n_{\text{laad}}; P_{n.\text{transport}}, n_{\text{boot+bak}}; P_{n.\text{los}}, n_{\text{los}}) \geq P_{\text{benodigd}} (\text{totale hoeveelheid, tijd})$$

Voor het 'optimaliseren' van het bakkentransportproces moeten diverse scenario's worden opgesteld en gesimuleerd (berekend). Met behulp van de berekende productie en globale verwerkingskosten in [gulden/ton] kan de 'optimale' materieel-inzet worden bepaald. Hierbij moet altijd de vraag gesteld worden of de investeringen opwegen tegen het risico dat het werk niet binnen de gestelde tijd gereed komt.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	III
SAMENVATTING.....	IV
INHOUDSOPGAVE	VII
SYMBOLENLIJST.....	XI
1. INLEIDING.....	1
2. PROBLEEMSTELLING	3
2.1 PROBLEEM BESCHRIJVING	3
2.2 PROBLEEMANALYSE.....	4
2.2.1 <i>Centrale Probleemstelling</i>	4
2.2.2 <i>Doelstelling</i>	4
2.2.3 <i>Bepalingen van het type werk waarvoor dit onderzoek geldt</i>	4
2.2.3.1 <i>Algemene randvoorwaarden</i>	4
2.2.3.2 <i>Programma van eisen</i>	5
3. HUIDIGE BEREKENINGSMETHODE.....	7
3.1 BEREKENING VAN DE LAAD-, TRANSPORT- EN LOSPRODUCTIE TIJDENS DE WERKVOORBEREIDINGSFASE.....	7
3.1.1 <i>Inleiding</i>	7
3.1.2 <i>Berekening Laad- en Losproductie</i>	7
3.1.3 <i>Berekening Transportproductie</i>	9
3.1.4 <i>Bepaling van de Nominale Weekproductie</i>	9
3.1.5 <i>Voorbeeld</i>	10
3.2 ANALYSE VAN DE KOSTEN.....	12
3.2.1 <i>Inleiding</i>	12
3.2.2 <i>Knelpuntcalculatie</i>	12
3.3 PROBABILISTISCHE ANALYSE	15
3.3.1 <i>Inleiding</i>	15
3.3.2 <i>Productieberekeningen</i>	15
3.3.3 <i>Conclusie</i>	17
4. VOORONDERZOEK NAAR EEN NIEUW MODEL.....	19
4.1 INLEIDING	19
4.2 VOORWAARDEN	19
4.3 TOETSEN VAN BESTAANDE SOFTWARE & MODELLEN.....	19

5.	ONTWIKKELING VAN HET NIEUWE MODEL, BAKSIM.....	21
5.1	INLEIDING	21
5.2	PROCESANALYSE VAN HET BAKKENTRANSPORTPROCES.....	21
5.2.1	<i>Laadproces</i>	21
5.2.2	<i>Transportproces</i>	21
5.2.3	<i>Losproces</i>	22
5.2.4	<i>Proces schematisatie</i>	22
5.2.5	<i>Verletten</i>	24
5.3	BEPERKINGEN VAN HET MODEL	25
5.3.1	<i>Randvoorwaarden</i>	25
5.3.2	<i>Uitgangspunten</i>	26
5.3.3	<i>Programma van eisen</i>	26
5.4	MODELLERING VAN HET BAKKENTRANSPORTPROCES.....	27
5.4.1	<i>Modellering van het laad- en losproces</i>	27
5.4.2	<i>Modellering transportproces</i>	27
5.4.3	<i>Het modelleren van de verlettijden</i>	28
5.4.3.1	<i>Kritische beschouwing</i>	30
5.4.3.2	<i>Het opnemen van de wachttijden in het model</i>	31
5.5	BENODIGDE INVOERGEGEVENS.....	31
5.6	UITVOER	32
5.7	TOETSEN VAN HET MODEL.....	32
5.7.1	<i>Algemene test</i>	33
5.7.2	<i>Deterministische test</i>	33
5.7.3	<i>Toetsing aan de praktijk</i>	35
6.	VERDELINGSONDERZOEK.....	37
6.1	ALGEMEEN.....	37
6.2	LITERAATUURSTUDIE NAAR GEBRUIKELIJKE TYPE KANSVERDELINGEN	37
6.3	VERDELING VAN DE VAARTIJDEN.....	37
6.4	VERDELING VAN DE BAKVULLINGSGRAAD	38
6.4.1.1	<i>verdeling van de bakvullingsgraad bij betonelementen. (TETRAPODS)</i>	38
6.4.1.2	<i>verdeling van de bakvullingsgraad bij stenen</i>	40
6.4.2	<i>Verdeling van de bakvullingsgraad bij klei/veen materiaal</i>	42
6.4.3	<i>Invloed van het baktype op de bakvullingsgraad</i>	42
6.5	VERDELINGEN T.B.V. DE BRUTO LAADTIJD EN/OF -PRODUCTIE.....	43
6.5.1.1	<i>Verdeling van de bruto laadtijd van tetrapods</i>	43
6.5.1.2	<i>Verdeling van de netto laadproductie van stenen</i>	44
6.6	VERDELING TEN BEHOEVE VAN DE BRUTO LOSTIJD EN -PRODUCTIE.....	45
6.7	VERDELING VAN DE VERLETTIJDEN.....	47
7.	MODEL-TOETSING AAN DE PRAKTIJK.....	49
7.1	BESCHRIJVING VAN HET TETRAPOD TRANSPORT IN KERTIH.	49
7.2	BEREKENINGEN VAN HET TETRAPOD TRANSPORT IN KERTIH.....	50
7.2.1	<i>Analytische berekening</i>	50
7.2.2	<i>Simulatie berekening</i>	51
7.3	VERGELIJKING MET DE WERKELIJKHEID	51
7.4	'OPTIMALISATIE' VAN HET TETRAPOD-TRANSPORT	52
7.5	BESCHRIJVING VAN HET BREUKSTEEN TRANSPORT IN KERTIH.....	53
7.6	BEREKENINGEN VAN HET BREUKSTEEN TRANSPORT IN KERTIH.....	54
7.6.1	<i>Analytische berekening</i>	54
7.6.2	<i>Simulatie berekening</i>	55
7.7	VERGELIJKING MET DE WERKELIJKHEID	55
7.8	'OPTIMALISATIE' VAN HET BREUKSTEEN-TRANSPORT :	56
7.9	VERGELIJKING VAN DE BEREKENDE NETTO LOSTIJDEN	57
7.10	CONCLUSIE.....	58

8.	SIMULATIE ONDERZOEK MET BEHULP VAN BAKSIM.....	59
8.1	INLEIDING	59
8.2	BASIS-SCENARIO	60
8.3	ANALYTISCHE BEREKENING	61
8.4	SIMULATIES VAN HET BASISSCENARIO.....	63
8.5	PROCES 'OPTIMALISATIE'	63
8.5.1	<i>Productie 'optimalisatie'</i>	64
8.5.1.1	Het toevoegen van extra laadcapaciteit.....	64
8.5.1.2	Het toevoegen van extra transportcapaciteit	65
8.5.2	<i>Kosten optimalisatie</i>	66
8.5.3	<i>Conclusie</i>	67
8.6	INVLOED VAN DE SPREIDING VAN DE VERDELINGEN	68
8.6.1	<i>Conclusie</i>	70
8.7	RISICO-ANALYSE VAN DE DUUR VAN HET PROJECT.....	70
9.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	73
10.	PRAKTISCHE VUISTREGELS.....	75
11.	LITERATUURLIJST	77

BIJLAGEN :

- a. : Dwarsprofiel van de offshore golfbreker in Kertih.
- b. : Schematisatie van het bakken transportproces.
- c. : Foutenbomen van het bakken transportproces.
- d. : Toelichting op Erlang-K verdeling.
- e. : Berekeningen van de probabilistische analyse.
- f. : Uitvoer van basisscenario uit BakSim.
- g. : Beschrijving testprocedure.
- h. : Resultaten van toetsing aan de praktijk.
- i. : Handleiding BakSim.
- j. : Toelichting op de Kolmogorov Smirnov test.
- k. : Analytische berekening Basisscenario.
- l. : Aangenomen verdelingen bij het simulatieonderzoek.
- m. : Resultaten van het simulatieonderzoek met BakSim.

Symbolenlijst

Lengte van de werkweek	=	GTH	[uur/week]
Bruto servicetijd	=	GSH	[uur/week]
Netto servicetijd	=	NSH	[uur/week]
Netto operationele uren	=	NOH	[uur/week]
Netto weekproductie	=	Is de weekproductie van het bakken-transportproces waarbij rekening gehouden is met de verlettijden maar niet met de wachttijden.	[ton/week]
Bruto weekproductie	=	Is de weekproductie van het bakken-transportproces waarbij rekening gehouden is met de verlet- en wachttijden.	[ton/week]
Bakvulling	=	netto getransporteerde lading van een bak	[ton]
planverlet	=	dit zijn de verletten ten gevolge van de planning, zoals o.a. veiligheid, interferentie en ploegwisseltijd.	[%] ^a
weerverlet	=	alle verletten ten gevolge van het weer, zoals o.a. storm en deining.	[%] ^a
operationeelverlet	=	dit zijn operationele verletten, zoals het wisselen van een bak.	[%] ^b
n_{laad}	=	aantal beschikbare laadstations	[stuks]
$n_{\text{boot+bak}}$	=	aantal beschikbare boot-bak combinaties	[stuks]
n_{los}	=	aantal beschikbare losstations	[stuks]
P_{benodigd}	=	benodigde weekproductie van het werk	[ton/week]
P_{nominaal}	=	berekende weekproductie van het werk	[ton/week]
$P_{\text{capa.mat.}}$	=	de capaciteit van het betreffende materieel	[ton/noh]
Q_{bak}	=	netto getransporteerde lading voor de betreffende bak	[ton]
$P_{\text{n.laadstation}}$	=	netto weekproductie van het betreffende laadstation	[ton/week]
$P_{\text{n.laad}}$	=	netto weekproductie van het laadproces	[ton/week]
$P_{\text{n.bak}}$	=	netto weekproductie van het betreffende bak	[ton/week]
$P_{\text{n.transport}}$	=	netto weekproductie van het transportproces	[ton/week]
$P_{\text{n.losstation}}$	=	netto weekproductie van het betreffende losstation	[ton/week]
$P_{\text{n.los}}$	=	netto weekproductie van het losproces	[ton/week]

D_{plan}	=	planverlet		$[\%]^a$
D_{weer}	=	weerverlet		$[\%]^a$
$D_{\text{rep\&ond.}}$	=	reparatie en onderhoud aan het betreffende materieel.		$[\%]^b$
$D_{\text{operationeel}}$	=	operationele verletten		$[\%]^b$
eff	=	Efficiëntie		$[\%]$
T_{laad}	=	laadtijd	[uur]	
T_{vaar}	=	vaartijd	[uur]	
T_{los}	=	lostijd	[uur]	
T_{cyclus}	=	cyclustijd	[uur]	

Gemiddelde waarde van variabele x	=	$\mu(x)$
Standaardafwijking van variabele x	=	$\sigma(x)$
Variatie-coëfficiënt van variabele x	=	$V(x) = \sigma(x) / \mu(x)$

Eenheden :

noh	=	netto operationele uren
$\%^a$	=	percentage ten opzichte van GTH.
$\%^b$	=	percentage ten opzichte van NOH.

1. INLEIDING

Dit rapport is het resultaat van het afstudeerproject *Bakkentransport Natte Waterbouw*. Het onderwerp is aangedragen door Hydronamic b.v., naar aanleiding van een werk in Maleisië dat in 1994-1995 is uitgevoerd door Boskalis-Zinkon.

Dit werk bestond onder andere uit de bouw van een offshore golfbreker aan de oostkust van het schiereiland Maleisië vlak bij het dorp Kertih. De functie van de golfbreker is het achterliggende havengebied te beschermen tegen golfaanval vanuit de Zuid Chinese Zee.

Bij het ontwerp is gekozen voor een 'Rubble Mound' golfbreker. De golfbreker ligt ca. 1 km voor de kust en is 1500 m lang. Voor de bouw is gebruik gemaakt van breuksteen uit een groeve nabij de werkhaven en tetrapods (betonelementen). Voor de bouw van de golfbreker zijn de volgende hoeveelheden steen verwerkt :

Materiaal	Hoeveelheden	Eenheden
Bedding 63 - 150 mm	150.000	ton
Core 5 - 500 kg	1.200.000	ton
Armour 0.5 - 2.0 ton	340.000	ton
Armour 2.0 - 5.0 ton	<u>50.000</u>	ton
<i>totaal aan steen</i>	<i>1.740.000</i>	<i>ton</i>
Tetrapods á 11 ton	17.500	stuks
Tetrapods á 20 ton	1.700	stuks

Tabel 1-1 : Materiaal hoeveelheden van de golfbreker in Kertih

In bijlage A is een dwarsprofiel opgenomen met daarbij een lijst van het gebruikte materieel. Van de totale hoeveelheid steen is ca. 80 % (1.420.000 ton) getransporteerd en geplaatst met behulp van zijstorters. De overige 20 % (320.000 ton) stenen en de tetrapods zijn met platte bakken over het water getransporteerd en met behulp van kranen gelost en geplaatst.

Het belang van dit onderzoek komt naar voren, als we de werkelijke productie en kosten vergelijken met de begroting. Bij de bouw van de golfbreker in Kertih was de werkelijke weekproductie gemiddeld lager, dan begroot en waren de werkelijke kosten ruim twee maal zo hoog als begroot.

2. Probleemstelling

2.1 PROBLEEM BESCHRIJVING

Het transporteren van stenen met behulp van drijvende bakken wordt regelmatig bij civiele waterwerken toegepast, bijvoorbeeld bij de bouw van golfbrekers. Bij dit soort werken is de materieel-inzet van groot belang voor de behaalde productie. De materieel-inzet bepaalt ondermeer de bouwtijd en de bouwkosten van een werk.

De toegestane bouwtijd van een project is vaak vooraf reeds vastgelegd. Hieruit volgt een minimale productie die moet worden gehaald om binnen de gestelde tijd het werk te maken. Een totaal werk wordt veelal onderverdeeld in diverse bouwfases met elk een eigen om te zetten hoeveelheid. Hieruit volgen ondermeer de leveringstijden en -hoeveelheden voor de aanvoer van de betreffende materialen.

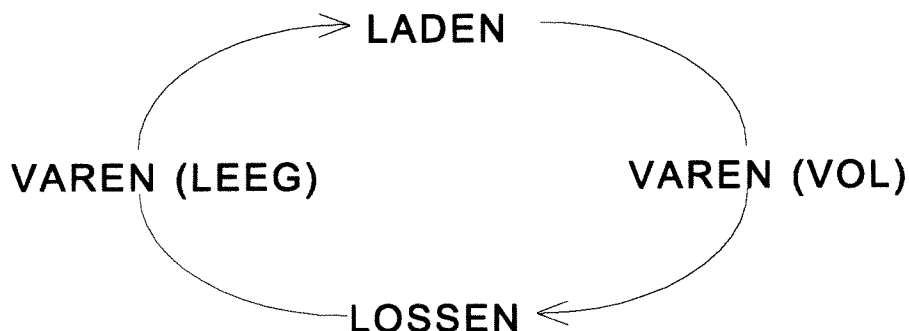
Bij het bepalen van de benodigde materieel-inzet voor een werk wordt over het algemeen gebruik gemaakt van vaste waarden. Deze waarden bestaan voornamelijk uit gemiddelde tijden voor bepaalde werkzaamheden (c.q. verletten). Daar deze tijden in werkelijkheid niet vast zijn, moeten de uitkomsten worden gecorrigeerd. Hieruit volgt een globaal beeld van het benodigde materieel. In werkelijkheid zijn de aangenomen waarden niet constant (deterministisch), maar variabel en stochastisch van aard. Voor het berekenen van de benodigde materieel-inzet zou rekening gehouden moeten worden met de onzekerheid (statistische spreiding) van deze variabelen.

Het bakkentransport-systeem dat in dit rapport behandeld wordt, is als volgt te schematiseren :

- Voor de bouw van bijvoorbeeld een golfbreker moet breuksteen worden getransporteerd. Dit transport vindt plaats met platte bakken die over het water worden getransporteerd.
- De bakken worden geladen door een laadstation in een (werk)haven op speciaal daarvoor gereserveerde aanlegplaatsen (kaden). Onder een laadstation wordt één aanlegplaats op de laadlocatie met het bijbehorende laadmaterieel verstaan.
- Als een bak geladen is wordt deze verscheept met een duw- of sleepboot. De geladen bakken worden naar een wachtlocatie (buffer) voor volgeladen bakken of direct naar een losstation op de loslocatie gebracht.
- Onder een losstation wordt het materieel verstaan wat op de loslocatie aanwezig is om een bak te lossen.
- Als een bak gelost is, wordt deze naar een wachtlocatie (buffer) voor lege bakken of direct naar een laadstation in de (werk)haven gebracht.

Als het aantal laad- en losstations bekend is, kan met behulp van de vaarafstand en de benodigde transportcapaciteit, het aantal in te zetten bakken worden bepaald. Hiervoor is een overzicht nodig van de transportcirculatie van de bakken.

Deze ziet er vereenvoudigd als volgt uit:



Figuur 2-1- Vereenvoudigd transportcirculatie-schema van de platte bakken.

2.2 PROBLEEMANALYSE

2.2.1 Centrale Probleemstelling

De huidige berekeningsmethode voor het bepalen van de productie voor de bouw van een 'rubble mound' (stortsteen) golfbreker met behulp van platte bakken voldoet in de praktijk niet. De berekende productie en daarmee ook de kosten blijken niet haalbaar te zijn.

2.2.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het inzicht in het bakkentransportproces te vergroten. Tevens zal een bruikbaar hulpmiddel worden ontworpen waarmee vooraf inzicht verkregen kan worden in de werkelijk haalbare productie en kosten voor de bouw van een golfbreker, met een gegeven materieel-inzet. Dit onderzoek geeft antwoord op de volgende vragen :

- A. Wat is de globale kostprijs voor het transport en plaatsing per verwerkte ton materiaal voor het gegeven werk, en hoe bereikt men een minimum ?
- B. Hoeveel materiaal kan er in een bepaalde periode getransporteerd en verwerkt worden met een gegeven materieel-inzet?
- C. Wat is de bezettingsgraad van elk stuk materieel?
- D. Hoe ziet het model eruit waarmee het bakkentransportproces adequaat wordt beschreven.
- E. Hoe kan men in de praktijk zien, dat het bakkentransportproces niet 'optimaal' verloopt, en waar moet, indien nodig, worden ingegrepen om het proces beter te laten verlopen?
- F. Hoe verloopt de verhouding van de globale kostprijs per verwerkte ton tot het risico dat de productie niet gehaald wordt ?

2.2.3 Beperkingen van het type werk waarvoor dit onderzoek geldt

2.2.3.1 Algemene randvoorwaarden

Bij het opstellen van de algemene randvoorwaarden is gebruik gemaakt van de rapporten ' transport-analyse Holoceen' van baggerspeciedepot Ketelmeer (*Literatuur 2*) en het eindrapport van Kertih Marine Works (*Literatuur 3*).

1. Het werk bestaat uit de bouw van een 'rubble mound' golfbreker of een soortgelijk kunstwerk.
2. Het te transporteren materiaal bestaat uit breuksteen en/of betonelementen (tetrapods) welke verdeeld zijn in gewichtsklassen.
3. Het materiaal wordt met platte bakken over het water getransporteerd met behulp van duw- en/of sleepboten.
4. De bakken worden op één locatie geladen. Hoe en waarmee geladen wordt doet er globaal gezien niet toe.
5. Een bak die geladen is, wordt naar een losstation verscheept. Zijn deze echter voorzien van een bak, dan wordt de bak naar de wachtlocatie voor volgeladen bakken gebracht.
6. Op de loslocatie wordt ervan uitgegaan, dat de bakken niet zelf kunnen lossen. Hiervoor zijn op de loslocatie kranen aanwezig, die de stenen direct nauwkeurig op zijn plaats brengen (zie Foto 1).
7. Een bak die gelost is, wordt naar een laadstation verscheept. Zijn deze echter voorzien van een bak, dan wordt de bak naar de wachtlocatie voor lege bakken gebracht.
8. Het werk dient binnen een vooraf gestelde periode uitgevoerd te worden. Overschrijdt men deze tijdslimiet, dan moet rekening gehouden worden met de eventuele gevolgen hiervan.
9. De aanvoer van de stenen en/of betonelementen (tetrapods) naar de werkhaven wordt buiten beschouwing gelaten. Er wordt dus in deze studie vanuit gegaan, dat de te transporteren materialen altijd voorradig zijn op de laadlocatie.

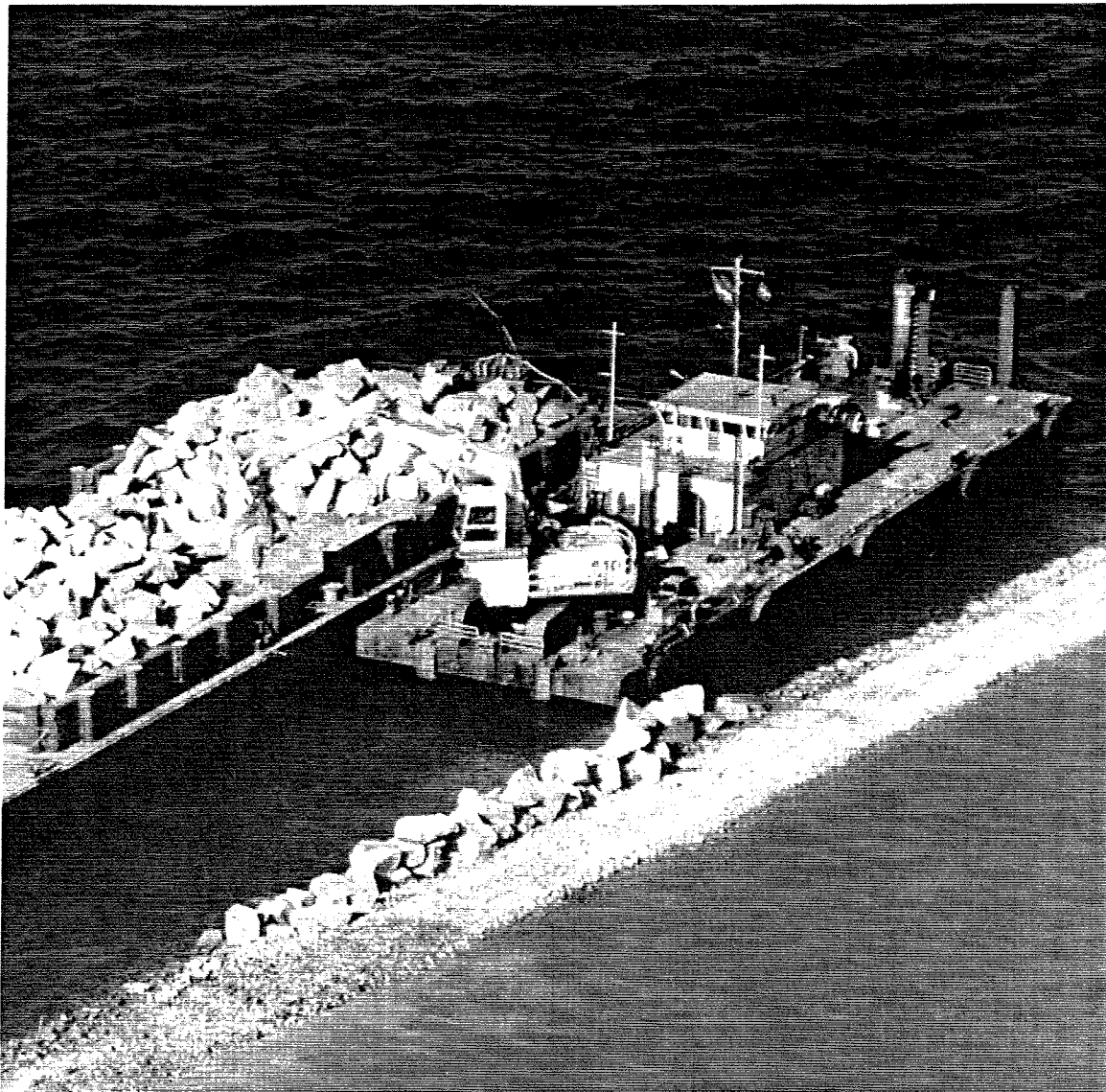


Foto 1 : Het losstation 'Zeepaard' lost een bak met stenen.

2.2.3.2 Programma van eisen

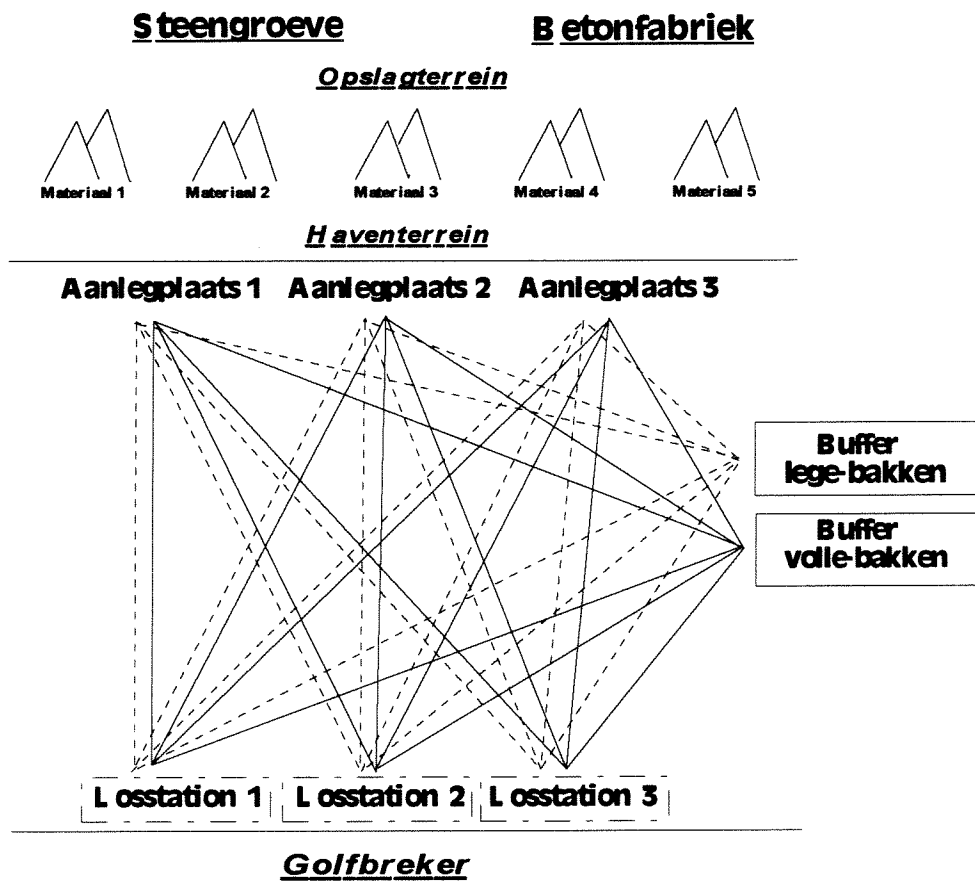
Hier volgen eisen en/of criteria die gesteld worden aan het 'werk' waarvoor dit onderzoek geldt.

1. Van het werk moet de tijdsduur bekend zijn.
2. Voor al het materieel geldt een vooraf opgegeven indeling van de werkweek.
3. Het te verwerken materiaal wordt over het water getransporteerd.
4. Voor het transport wordt gebruik gemaakt van platte bakken.
5. De platte bakken worden met duw- of sleepboten verscheept.
6. Er is één duw- of sleepboot nodig om een bak te transporteren.
7. De bakken doorlopen een vaste cyclus zonder daarvan af te wijken.
8. De bakken volgen de FIFO (First In First Out) strategie op de wachtplaatsen.
9. De duw en/of sleepboten doorlopen een vaste cyclus, waarvan alleen afgeweken mag worden als dit de productie bevordert.
10. De duw en/of sleepboten maken altijd de rit af waar ze aan begonnen zijn.
11. De duw en/of sleepboten volgen net als de bakken de FIFO-strategie op de wachtplaatsen.
12. De verletten moeten kunnen worden verrekend.

Het transportproces wordt vastgelegd binnen de volgende grenzen:

onderdeel	minimaal aanwezig	maximaal aanwezig
materiaalsoorten	1	5
aanlegplaats/laadstations	1	5
platte bakken	1	30
buffer met lege bakken	0	1
buffer met volle bakken	0	1
duw- en/of sleepboten	1	30
losstations	1	5

Tabel 2-1 - Criteria voor het bakcenttransportproces.



Figuur 2-2 - Voorbeeld lay-out van het bakcenttransportproces voor de bouw van een golfbreker.

3. Huidige berekeningsmethode

3.1 BEREKENING VAN DE LAAD-, TRANSPORT- EN LOSPRODUCTIE TIJDENS DE WERKVOORBEREIDINGSFASE

3.1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven, hoe in de praktijk de materieel-inzet voor een steen-werk, zoals beschreven, wordt begroot. Met deze rekenmethode wordt de weekproductie berekend met behulp van de begrootte materieel-inzet. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat bekend is, welk materieel wordt ingezet voor het werk. Van al het materieel moeten specifieke gegevens bekend zijn, zie Tabel 3-1. Zijn deze niet bekend, dan moet er een waarde voor worden aangenomen.

INVOER VARIABELEN	
LAAD- EN LOSSTATIONS	TRANSPORT
aantal laad- en losstations	aantal bakken & boten ⁵
capaciteit [ton/noh] ¹	netto getransporteerde lading (bakvulling) [ton/bak]
tijdsduur van een werkweek [uur]	tijdsduur van een werkweek [uur]
tijdsduur van de verletten	tijdsduur van de verletten
planverlet ² [%] ³	planverlet ² [%] ³
weerverlet [%] ³	weerverlet [%] ³
reparatie en onderhoud [%] ⁴	reparatie en onderhoud [%] ⁴
operationele verletten [%] ⁴ zoals bakwisseltijd	vaartijden [uur]
	van buffer met lege bakken naar laadstation
	van laadstation naar buffer met volgeladen bakken
	van buffer met volgeladen bakken naar losstation
	van losstation naar buffer met lege bakken

Tabel 3-1 : Lijst met benodigde invoervariabelen voor het berekenen van de nominale weekproductie.

De weekproductie van een werk wordt bepaald door het deelproces met de laagste productie. Dat deelproces wordt het *knelpunt* van het proces genoemd. Het bakkentransportproces is verdeeld in drie deelprocessen, te weten; laden, transport en lossen. Voor het bepalen van de productie van het gegeven werk moet dus van elk deelproces de weekproductie worden berekend.

3.1.2 Berekening Laad- en Losproductie

Voor elk laad- en losstation moeten de volgende berekeningen worden uitgevoerd:

1. Als eerste wordt aan de hand van de tijdsduur van een werkweek [GTH] de bruto service tijd [GSH] berekend. De bruto service tijd is de duur van een werkweek vermindert met de planverletten².

$$GSH = GTH \cdot \left(\frac{100 - D_{plan}}{100} \right) \text{ [uur / week]} \quad \text{vergelijking 3-1}$$

¹ noh = netto operationele uren

² planverlet = verletten ten gevolge van de planning, zoals o.a. veiligheid, interferentie en ploegwisseltijd

³ Hierbij moet het verlet worden uitgedrukt in een percentage van de tijdsduur van een werkweek.

⁴ Hierbij moet het verlet worden uitgedrukt in een percentage van de netto operationele uren per werkweek.

⁵ In deze berekening wordt ervan uitgegaan dat voor elke bak ook een boot beschikbaar is.

2. De netto service tijd [NSH] per stuk materieel is de bruto service tijd vermindert met het weerverlet.

$$NSH = GSH \cdot \left(\frac{100 - D_{weer}}{100} \right) \text{ [uur / week]} \quad \text{vergelijking 3-2}$$

3. Nu kan voor elk stuk materieel het aantal netto operationele uren [NOH] worden berekend door de netto service tijd van het materieel te delen door zijn eigen verletten.

$$NOH = \frac{NSH}{\left(\frac{100 + D_{reparatie\&onderhoud} + D_{operationeel}}{100} \right)} \text{ [noh / week]} \quad \text{vergelijking 3-3}$$

4. Aangezien de capaciteit bekend is en wordt uitgedrukt in [ton/noh] kan de netto weekproductie voor elk stuk materieel worden berekend, door het aantal netto operationele uren te vermenigvuldigen met de capaciteit.

$$P_{n.mat.} = NOH \cdot P_{capa.mat} \quad \text{vergelijking 3-4}$$

5. Verder kan nu ook de in rekening gebrachte efficiëntie voor elk stuk materieel worden berekend. De efficiëntie is de verhouding van het aantal netto operationele uren ten opzichte van de tijdsduur van een werkweek.

$$eff = \left(\frac{NOH}{GTH} * 100 \right) \quad \text{vergelijking 3-5}$$

Waarin :	<i>GTH</i>	: bruto werktijd [uur/week]	<i>D_{plan}</i>	: planverlet [%]
	<i>GSH</i>	: bruto service tijd [uur/week]	<i>D_{weer}</i>	: weerverlet [%]
	<i>NSH</i>	: netto service tijd [uur/week]	<i>D_{operationeel}</i>	: operationele verletten [%]
	<i>NOH</i>	: netto operationele uren [uur/week]	<i>D_{rep&ond}</i>	: verletten t.g.v. reparatie & onderhoud [%]
	<i>eff</i>	: efficiëntie [%]		

Nu de netto weekproductie van elk laad- en losstation bekend is, kan de weekproductie van het laad- en losproces worden berekend door de producties van gelijke componenten bij elkaar op te tellen.

$$P_{n.proces} = \sum_{i=1}^{n_{mat}} P_{n.mat.,i} \quad \text{geeft :} \quad P_{n.laad} = \sum_{i=1}^{n_{laad}} P_{n.laadstation,i} \quad \text{vergelijking 3-6}$$

$$P_{n.los} = \sum_{i=1}^{n_{los}} P_{n.losstation,i} \quad \text{vergelijking 3-7}$$

Waarin :	<i>P_{n.laad}</i>	: netto weekproductie laadproces [ton/week]
	<i>P_{n.los}</i>	: netto weekproductie losproces [ton/week]
	<i>P_{n.laadstation}</i>	: netto weekproductie van een laadstation [ton/week]
	<i>P_{n.losstation}</i>	: netto weekproductie van een losstation [ton/week]
	<i>n_{laad}</i>	: aantal beschikbare laadstations op de laadlocatie
	<i>n_{los}</i>	: aantal beschikbare losstations op de loslocatie

3.1.3 Berekening Transportproductie

Met behulp van het aantal bakken en duw- en/of sleepboten en bijhorende specifieke gegevens (zie Tabel 3-2) kan de transportproductie worden berekend. Als eerste zullen de netto operationele uren van de bakken worden berekend. Deze berekening loopt parallel aan vergelijking 3.1 t/m 3.3 van de laad- en losproductie.

Hierna moet eerst de cyclustijd van een boot-bak combinatie worden berekend. De netto cyclustijd ($T_{n.cyclus}$) bestaat uit de laadtijd (T_{laad}), de vaartijd (T_{vaar}) en de lostijd (T_{los}).

$$T_{n.cyclus} = T_{laad} + T_{vaar} + T_{los} \quad \text{vergelijking 3-8}^6$$

Het aantal cycli dat één boot-bak combinatie per week doorloopt is nu bepaald door de netto operationele tijd te delen door de netto cyclustijd. Door deze te vermenigvuldigen met de bakvulling is de transportproductie van één boot-bak combinatie bepaald. Door de productie van alle bakken bij elkaar op te tellen is de transportproductie bekend.

$$P_{n.bak} = \frac{NOH}{T_{n.cyclus}} \cdot Q_{bak} \quad \text{vergelijking 3-9}$$

$$P_{n.transport} = \sum_{i=1}^{n_{bak}} P_{n.bak,i} \quad \text{vergelijking 3-10}$$

Waarin :	Q_{bak}	: netto getransporteerde lading per bak (bakvulling) [ton]
	$P_{n.bak}$: netto weekproductie van één boot-bak combinatie [ton/week]
	$P_{n.transport}$: netto weekproductie transportproces [ton/week]
	n_{bak}	: aantal beschikbare boot-bak combinaties voor het werk

3.1.4 Bepaling van de Nominale Weekproductie

Aan de hand van de berekende producties van de deelprocessen kan nu de weekproductie bepaald worden. Deze is, zoals reeds vermeld (zie paragraaf 3.1.1), vastgelegd door het deelproces met de laagste productie. Voor de rest van dit onderzoek zal deze weekproductie als uitgangspunt worden aangehouden. Daarom wordt deze weekproductie de *nominale weekproductie* genoemd.

$$P_{\text{nominaal}} = \min(P_{n.laad}, P_{n.transport}, P_{n.los}) \quad \text{vergelijking 3-11}$$

⁶ De laad- en lostijd is inclusief de afmeertijd en de loskoppeltijd.

3.1.5 Voorbeeld

Gegevens : Bij dit voorbeeld is uitgegaan van een bouwfase van 20 weken waarin 515.000 ton steen moet worden verwerkt. Dit betekent dat de gemiddelde weekproductie minimaal $\left(P_{\text{benodigd}} = \frac{515.000 \text{ ton}}{20 \text{ wk}} \right) 25.750 \text{ ton / week}$ moet bedragen. In onderstaande tabel zijn de gegevens van het beschikbare materieel opgenomen.

INVOERGEGEVENS :

Materieel-inzet	aantal	Materieel-inzet	aantal
losstations	2	bakken	3
laadstations	1	boten	3

Specifieke Materieel Gegevens

	eenheden	losstation		laadstation	bakken & boten
		1	2	1	1 t/m 3
P_{capa}	ton/noh	120	130	200	900
GTH	uur/week	168	168	168	168
D_{plan}	%	15	17	0	0
D_{weer}	%	0	0	0	0
$D_{\text{reparatie\&onderhoud}}$	%	12	15	0	0
$D_{\text{positioneren}}$	%	6.4	6.9	0	n.v.t.
	uur/bak	0.48	0.48	0	
$D_{\text{bakwissel}}$	%	6.7	7.2	11.1	n.v.t.
	uur/bak	0.5	0.50	0.50	
T_{vaar}	uur/cyclus	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4.25
Kosten/stuk	gid/week	60.000	70.000	30.000	10.000

Tabel 3-2 : Invoergegevens van het voorbeeld.

Berekeningen :

Losproductie : De weekproductie van losstation 1 is met behulp van vergelijking 3.1 t/m 3.5 berekend :

$$GSH = 168 \cdot \left(\frac{100 - 15}{100} \right) = 142.8 \text{ [uur / week]}$$

$$NSH = 142.8 \cdot \left(\frac{100 - 0}{100} \right) = 142.8 \text{ [uur / week]}$$

$$NOH = \frac{142.8}{\left(\frac{100 + 12 + 6.4 + 6.7}{100} \right)} = 114.2 \text{ [noh / week]}$$

$$eff = \left(\frac{114.2}{168} * 100 \right) = 68\%$$

$$P_{n, \text{losstation}, 1} = 114.2 \text{ [noh / week]} \cdot 120 \text{ [ton / noh]} = 13701 \text{ [ton / week]}$$

Voor losstation 2 loopt deze berekening parallel aan de berekening van losstation 1. Uit de berekening voor losstation 2 volgt dat deze een netto weekproductie van 14035 [ton/week] voor losstation 2.

De totale losproductie volgt nu uit vergelijking 3.7 :

$$P_{n,los} = \sum_{i=1}^2 P_{n,losstation,i} = 13701 + 14035 = 27737 \text{ [ton / week]}$$

Laadproductie : De berekening van de laadproductie is gelijk aan die van de losproductie. Uit de berekening van het laadstation volgt, dat de efficiëntie gelijk is aan 90.00% en de productie gelijk is aan 30240 [ton/week].

Transportproductie : Voor het berekenen van de transportproductie moet naast het aantal operationele uren ook de cyclustijd van een bak bekend zijn. Het aantal netto operationele uren is gelijk aan 168 [uur/week]. De netto cyclustijd van een bak wordt met behulp van vergelijking 3.8 berekend :

$$T_{n,cyclus} = T_{laad} + T_{vaar} + T_{los} = \left(\frac{900}{200} + 0.5 \right) + 4.25 + \left(\frac{900}{120} + 0.5 \right) = 17.25 \text{ [noh / cyclus]}$$

$$\frac{168 \text{ [noh / week]}}{17.25 \text{ [noh / cyclus]}} = 9.74 \text{ [cycli / week]}$$

Hieruit volgt dat elke boot-bak combinatie in één week 9.74 cycli kan doorlopen. Daarmee is de transportproductie als volgt bepaald :

$$\text{aantal benodigde bakken : } \frac{25750 \text{ [ton / week]}}{9.74 \text{ [cycli / week]} \cdot 900 \text{ [ton / bak]}} = 2.9 \text{ bakken} \Rightarrow 3 \text{ bakken}$$

$$P_{transport} = 3 \text{ bakken} \cdot 9.74 \text{ [cycli / week]} \cdot 900 \text{ [ton / bak]} = 26296 \text{ [ton / week]}$$

Uitkomsten (Nominale weekproductie) :

De nominale weekproductie is gelijk aan de netto weekproductie van het deelproces met de laagste productie, het knelpuntproces (zie paragraaf 3.1.1).

Deelproces	netto weekproductie
losmaterieel	27737 [ton/week]
laadmaterieel	30240 [ton/week]
transportmaterieel	26296 [ton/week]

Tabel 3-3 : Tabel met resultaten van de voorbeeld berekening.

Hieruit volgt, dat in dit geval het transport het knelpunt is van het totale proces. De nominale weekproductie is nu bepaald met behulp van vergelijking 3-11 en is dus gelijk aan de netto weekproductie van het transportproces.

$$P_{nominiaal} = \min(P_{n,laad}, P_{n,transport}, P_{n,los}) = 26296 \text{ [ton / week]}$$

Conclusie :

Uit deze berekening blijkt dat het werk ($P_{benodigd} = 25.750 \text{ [ton / week]}$) uitgevoerd kan worden met de aangenomen materieelbezetting, $P_{nominiaal} = 26296 \text{ [ton / week]}$ (1 laadstation, 2 losstations en 3 boot-bak combinaties).

$$P_{nominiaal} > P_{benodigd}$$

Het enige wat nu nog moet worden gecontroleerd is, of de materieel keuze wel economisch verantwoord is. Dit kan worden uitgevoerd met de kostenrekening, die opgenomen is in het volgende hoofdstuk.

3.2 ANALYSE VAN DE KOSTEN

3.2.1 Inleiding

Over het algemeen wordt verwacht, dat de kosten van een werk veranderen met de grootte van de productie. Dit is gebaseerd op het feit, dat voor het verhogen van de productie nieuwe hoeveelheden productiecapaciteit (extra materieel) in bedrijf moet worden genomen.

Er moet echter op gewezen worden, dat een deel van de kosten niet door de vergroting van de productie wordt beïnvloed. Dit wijst op het bestaan van andere kwantitatieve betrekkingen in de productie.

Uit onderzoek naar de kwantitatieve verhoudingen van de productiemiddelen blijkt, dat een wijziging van de productie mogelijk is, zonder aanpassingen van de materieel-inzet van alle procesonderdelen. Hieruit volgt, dat het verhogen van de materieel-inzet voor één procesonderdeel, reeds voldoende kan zijn voor een verhoging van de productie. De verhouding tussen de materieel-inzet en de productie moet zo worden gekozen, dat de economisch meest gunstige verhouding wordt bereikt. Dit wil zeggen, dat het resultaat van de productie met de laagste kosten wordt verkregen. Daarbij moet uiteraard rekening worden gehouden met de kosten verhoudingen van de productiemiddelen (het materieel). Het economische element wordt in deze vraagstukken opgenomen in de kosten die aan het productiemiddel (materieel) wordt toegekend. Hieruit volgt, dat de materieel-inzet voor de maximale productie niet gelijk zal zijn met de meest economisch verantwoorde materieel-inzet.

De kosten verhoudingen van de productiemiddelen bepalen samen met de benodigde productie de keuze van het materieel. Hierbij zal gestreefd worden, uit economisch oogpunt, om bij het bepalen van de materieel-inzet het materieel met de relatief hoogste kosten, intensief ten opzichte van het overige materieel in te zetten. Dit wil zeggen, dat de bezettingsgraad van het betreffende productiemiddel (materieel) zal worden verhoogd door een toename van één of meerdere productiemiddelen (extra materieel). Hierbij moet altijd nagegaan worden of de aanpassingen wel economisch verantwoord zijn, want :

Het op deze manier verhogen van de bezettingsgraad van een productiemiddel heeft tot gevolg, dat de bezettingsgraad van een ander productiemiddel afneemt.

Voor het bepalen of de aanpassingen economisch verantwoord zijn, wordt gebruik gemaakt van de knelpuntcalculatie. In deze calculatie methode wordt rekening gehouden met het feit, dat de materieel-inzet niet alleen bepalend is voor de productie maar ook voor de kosten. Als eerste zal een definitie voor het 'knelpunt' worden gegeven, waarna de *knelpuntcalculatie* beknopt is beschreven.

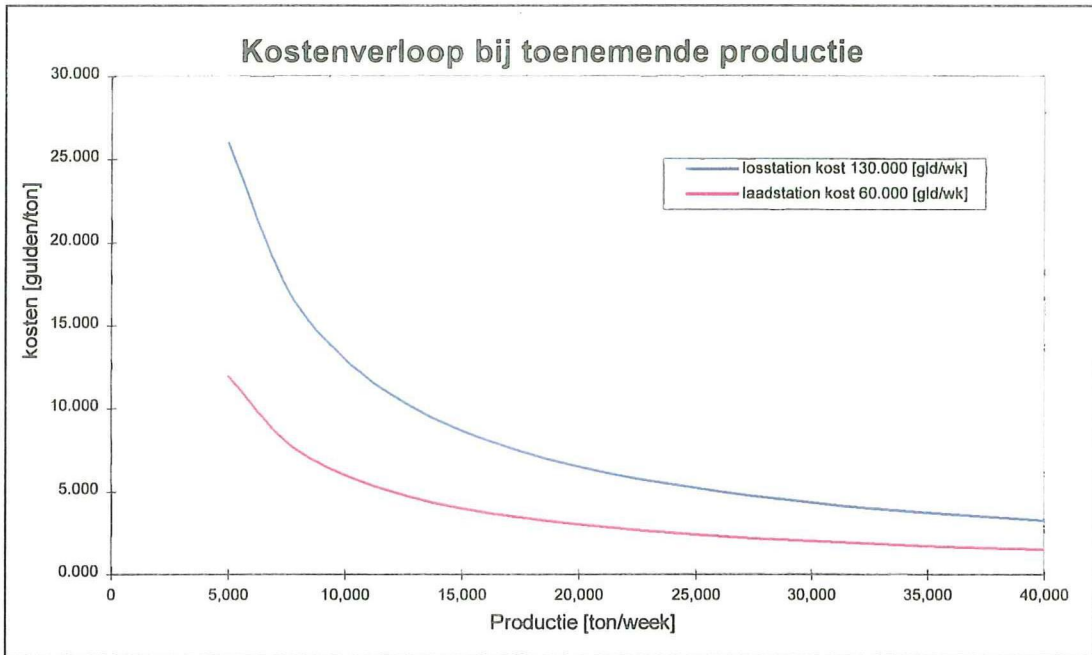
Het 'knelpunt' wordt als volgt gedefinieerd (literatuur 5) :

Het *knelpunt* of *bottleneck* is de handeling, van de mens of van de machine, binnen een proces die, gegeven de orders over een bepaalde periode, gemiddeld de hoogste bezetting heeft. Anders gezegd : dit is de zwakste schakel van het proces, welke de productie van het proces bepaalt.

3.2.2 Knelpuntcalculatie

Voor het bepalen welk deelproces het knelpunt mag of moet zijn, kan de knelpuntcalculatie worden toegepast. Met deze calculatie methode wordt rekening gehouden dat de materieel-inzet niet alleen de productie, maar ook het kostenplaatje voor een groot deel bepaalt. Voor de kosten zullen voor de eenvoud alleen de vaste kosten van het materieel in rekening worden gebracht. Onder de vaste kosten van het materieel wordt de huur van het materieel verstaan, inclusief de personeelskosten.

Grafisch wordt het verloop van de productie-kosten per deelproces uitgebeeld door een hyperbool (zie Grafiek 3-1). Het verloop van deze kromme geeft aan, dat de constante kosten per deelproces aanvankelijk bij lage productie hoog zijn. Bij het verhogen van de productie dalen de kosten eerst zeer snel, maar de daling neemt geleidelijk af, totdat verdere vergroting van de productie nauwelijks meer gevolgen heeft (asymptoot is bereikt). In de literatuur staat dit bekend als de wet van Bücher (Literatuur 5).



Grafiek 3-1: Voorbeeld van het kostenverloop van materieel volgens Bücher's wet.

Het voorgaande kan als volgt in formulevorm worden samengevat :

$$\text{Doel functie} \Rightarrow \left(\min_{n-n_{opt}} \frac{\sum_{i=1}^{n_{laad}} K_{laad,i} + \sum_{j=1}^{n_{bak}} K_{bak,j} + \sum_{h=1}^{n_{los}} K_{los,h}}{P_{nominaal}(P_{n,laad}(n_{laad}); P_{n,transport}(n_{bak}); P_{n,los}(n_{los}))} \right) \text{ [gld / ton]} \quad \text{vergelijking}$$

3-12⁷

waarbij : $P_{nominaal}(P_{n,laad}(n_{laad}); P_{n,transport}(n_{bak}); P_{n,los}(n_{los})) \geq P_{benodigd}$ (totale hoeveelheid, tijd)

Waarin :

- n_{laad} : aantal laadstations
- n_{bak} : aantal boot-bak combinaties
- n_{los} : aantal losstations
- K_{laad} : kosten van een laadstation [gld/week]
- K_{bak} : kosten van een boot-bak combinatie [gld/week]
- K_{los} : kosten van een losstation [gld/week]

⁷ De tijd is opgenomen in de benodigde productie. De gevolgen van te vroeg en/of te laat opleveren, zoals rente verlies en boetes, zijn hierin niet verwerkt.

Voorbeeld :

Aan de hand van de gegevens en resultaten van het voorbeeld uit hoofdstuk 3.1.5, zal de knelpuntcalculatie worden toegelicht. Voor het gegeven werk geldt, dat het losproces het duurste deelproces is van het werk (fl. 130.000,-/wk). Daarom zal gestreefd worden de bezettingsgraad van het losstation zo hoog mogelijk te krijgen en/of te houden. Om dit te verkrijgen moet nagegaan worden of extra laad- en/of transportmaterieel moet worden ingezet. Hoeveel materieel extra moet worden ingezet, hangt af van de vraag, of de aanpassing economisch verantwoord is.

Uit de berekening is gebleken, dat met de huidige materieel bezetting, het transport het maatgevende deelproces is. Zoals reeds beschreven zal de materieel-inzet worden aangepast zodat het losproces het knelpuntproces wordt. Uit Tabel 3-3 volgt dat het laadproces niet hoeft worden aangepast omdat $P_{n,laad} > P_{n,los}$. Het transportproces moet echter wel worden aangepast omdat $P_{n,transport} < P_{n,los}$. Hiervoor moet één boot-bak combinatie extra worden ingezet, waardoor $P_{n,transport}$ toeneemt tot 35061 [ton/week]. Met behulp van vergelijking 4.1 kan nu de meest gunstige (financieel gezien) materieel bezetting worden bepaald.

aangenomen materieel bezetting (3 boot-bak combinaties) :

$$\frac{30.000 + (60.000 + 70.000) + (3 * 10.000)}{26.296} = 7.23 \text{ [gld / ton]}$$

aangepaste materieel bezetting (4 boot-bak combinaties) :

$$\frac{30.000 + (60.000 + 70.000) + (4 * 10.000)}{27.737} = 7.21 \text{ [gld / ton]}$$

Hieruit volgt dat het goedkoper is om met vier boot-bak combinaties te werken dan met drie. Tevens neemt de nominale weekproductie toe met 5,5% ($P_{\text{nominaal}} = 27737$ [ton / week]).

Bij het beantwoorden van de vraag of een aanpassing economisch verantwoord is, mag de productie niet worden vergeten. De productie is namelijk een belangrijke factor voor het risico, dat het werk niet op tijd klaar is.

In het voorbeeld blijkt, dat de vermindering in de kosten door de optimalisatie slechts fl. 0,02 [gld/ton] bedraagt, terwijl de productie met 5.5 % is gestegen. Door deze hogere productie is de kans, dat het werk niet binnen de gestelde tijd klaar is, afgenomen en daarmee ook het risico. Voor het voorbeeld zit de winst van deze optimalisatie dus hoofdzakelijk in het verminderde risico.

3.3 PROBABILISTISCHE ANALYSE

3.3.1 Inleiding

Zoals reeds vermeldt in de probleem beschrijving, zijn de variabelen niet vast (deterministisch) maar variabel en stochastisch van aard. Hierdoor zijn de berekende capaciteiten en de producties ook variabel en stochastisch van aard. Het doel van deze analyse is na te gaan of bij het ontwerpen van een nieuw rekenmodel rekening gehouden moet worden met het stochastische (variabele) karakter van de variabelen. Om hier antwoord op te kunnen geven is, met behulp van handmatige (analytisch) probabilistische berekeningen, onderzocht welke invloed het stochastische karakter heeft op de uiteindelijke productie. Hierbij is gekeken, hoe de netto laad- en losproductie de nominale productie beïnvloedt. In dit onderzoek is voor de eenvoud de invloed van het transport buiten beschouwing gelaten.

3.3.2 Productieberekeningen

In deze berekening is het onderzoek naar de invloed van de netto laad- en losproductie op de *nominale productie* beschreven.

Voor het bepalen van de nominale productie is voor de eenvoud gebruik gemaakt van de netto laad- en losproductie uit de vorige hoofdstukken. In de praktijk zijn het laad- en losproces van elkaar afhankelijk. Dit komt, omdat ze dezelfde bakken gebruiken. Hierdoor kan oponthoud bij het losproces, wachttijden bij het laadproces veroorzaken. Omdat gerekend wordt met bruto tijden (GTH) waar de wachttijden niet in zijn opgenomen, is het verantwoord om het laad- en losproces als twee onafhankelijke gebeurtenissen te beschouwen.

Uit de knelpuntcalculatie is gebleken, dat de nominale productie bepaald wordt door het deelproces met de laagste capaciteit. De productie is reeds (zie vergelijking 3.11) als volgt wiskundig geformuleerd :

$$P_{\text{nominiaal}} = \min (P_{\text{n. laad}}, P_{\text{n. transport}}, P_{\text{n. los}}) \quad \text{Vergelijking 3-11}$$

De verdelingsfunctie van de nominale productie ($F(P_{\text{nominiaal}})$) kan nu wiskundig beschreven worden met behulp van de verdelingsfuncties van de netto laad- en losproductie⁸ :

$$[1 - F_{(P_{\text{nominiaal}})}] = [1 - F_{(P_{\text{n. laad}})}] \cdot [1 - F_{(P_{\text{n. los}})}] \quad \text{Vergelijking 3-13}^8$$

Bij het aannemen van de gemiddelde waarden voor de netto laad- en losproductie is gebruik gemaakt van de verkregen resultaten uit de knelpuntcalculatie (zie hoofdstuk 3.2.2). Hieruit volgt een gemiddelde waarde van 30240 [ton/week] voor de netto laadproductie en 27737 [ton/week] voor de netto losproductie.

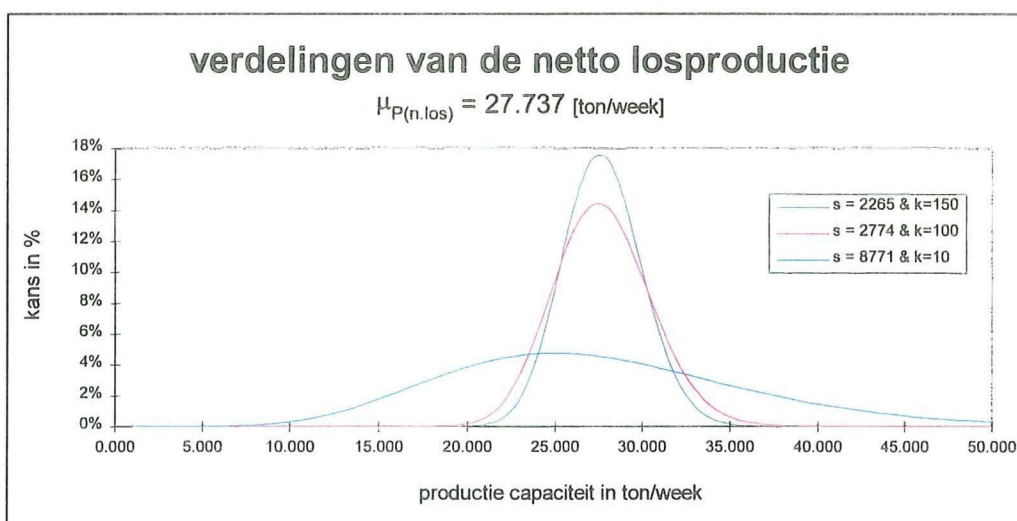
Voor de verdeling van zowel de netto laad- als losproductie is aangenomen dat deze wiskundig beschreven worden door de Erlang-k verdeling (In Bijlage D is de Erlang-k verdeling verder toegelicht).

Voor dit onderzoek zijn 7 berekeningen uitgevoerd, welke zijn opgenomen in bijlage E. In Tabel 3-4 zijn zowel de invoergegevens als de resultaten weergegeven. Tevens zijn in Grafiek 3-1 en Grafiek 3-2 de aangenomen verdelingen voor de netto laad- en losproductie opgenomen.

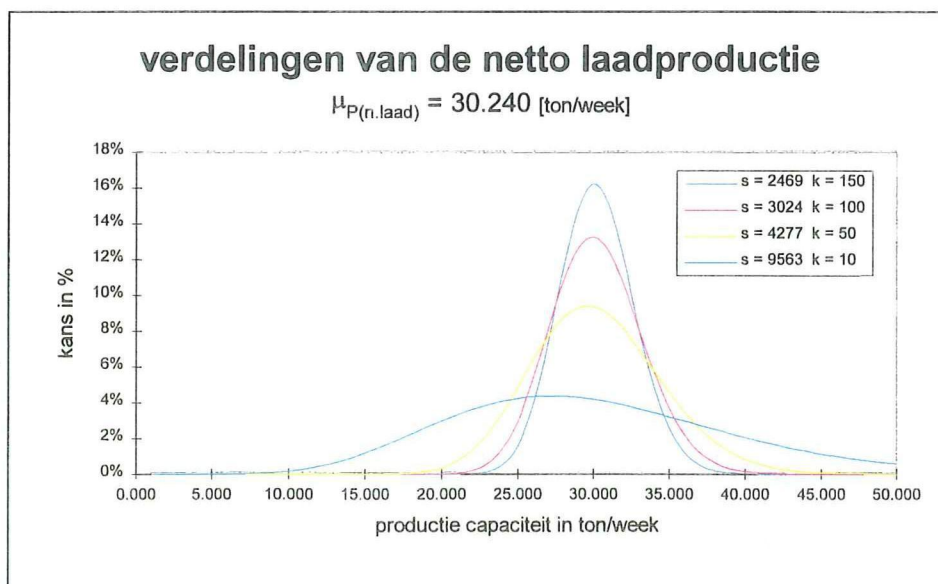
⁸ De netto transport productie is, zoals vermeld in de inleiding van de hoofdstuk, voor de eenvoud buiten beschouwing gelaten.

berek. nr.	INVOERGEGEVENS								RESULTATEN		
	Netto Laadproductie [ton/week]				Netto Losproductie [ton/week]				Nominale Productie [ton/week]		
	μ	σ	V_{laad} $=\sigma/\mu$	k_{laad} $=\mu^2/\sigma^2$	μ	σ	V_{los} $=\sigma/\mu$	k_{los} $=\mu^2/\sigma^2$	μ	σ	V $=\sigma/\mu$
1	30240	3024	0.10	100	27737	2774	0.10	100	26560	2371	0.09
2	30240	2469	0.08	150	27737	2265	0.08	150	26798	1986	0.07
3	30240	9563	0.32	10	27737	8771	0.32	10	23286	6566	0.28
4	30240	4277	0.14	50	27737	8771	0.32	10	24430	5604	0.23
5	27737	2774	0.10	100	27737	2774	0.10	100	25674	2214	0.09
6	27737	8771	0.32	10	27737	8771	0.32	10	22350	6291	0.28
7	27737	3923	0.14	50	27737	8771	0.32	10	23437	4956	0.21

Tabel 3-4 : Tabel met invoergegevens en resultaten van de analytische probabilistische berekeningen.



Grafiek 3-1 : De drie aangenomen verdelingen voor de netto losproductie voor de analytische probabilistische berekeningen.



Grafiek 3-2 : De vier aangenomen verdelingen voor de netto laadproductie voor de analytische probabilistische berekeningen.

3.3.3 Conclusie

Uit dit onderzoek mag het volgende worden geconcludeerd :

1. Als de netto laad- en losproductie dezelfde waarden kunnen aannemen, dan beïnvloeden ze beide de verdeling van de nominale productie, zie Grafiek 3-3. Dit doet zich voor als de dichtheidsverdelingen van de netto laad- en losproductie elkaar overlappen, zie Grafiek 3-4 $(f_{(P_{n,load})} \cap f_{(P_{n,los})})$.

2. Het gemiddelde van de nominale productie is altijd lager of maximaal gelijk aan de laagste gemiddelde netto productie van de deelprocessen. Het gemiddelde van de nominale productie wordt echter pas door beide netto producties beïnvloed, als de gemiddelde waarde van het deelproces met de laagste productie voorkomt in de productie verdeling van het andere deelproces. Is dit niet het geval, dan is het gemiddelde van de nominale productie gelijk aan het gemiddelde van het deelproces met de laagste gemiddelde productie :

$$\mu_{P_{\text{nominaal}}} \leq \min(\mu_{P_{n,load}}, \mu_{P_{n,los}}) \qquad \text{Vergelijking 3-14}$$

3. Naast de gemiddelde waarde speelt de spreiding van de netto laad- en losproductie een belangrijke rol. Als de netto laad- en losproductie door één en dezelfde verdelingsfunctie kunnen worden beschreven, dan verplaatst de verdelingsfunctie van de nominale productie naar links. Deze verplaatsing (productie vermindering) hangt af van de spreiding van de netto laad- en losproductie. Is er geen spreiding (deterministische waarden), dan is de verplaatsing (productie vermindering) nul.

De spreiding van de nominale productie kan niet groter worden dan de grootste spreiding van de twee producties. Hebben beide verdelingen een zekere spreiding maar overlappen ze elkaar niet, dan is de verdeling en dus ook de spreiding van de nominale productie gelijk aan die van het deelproces met de laagste productie.

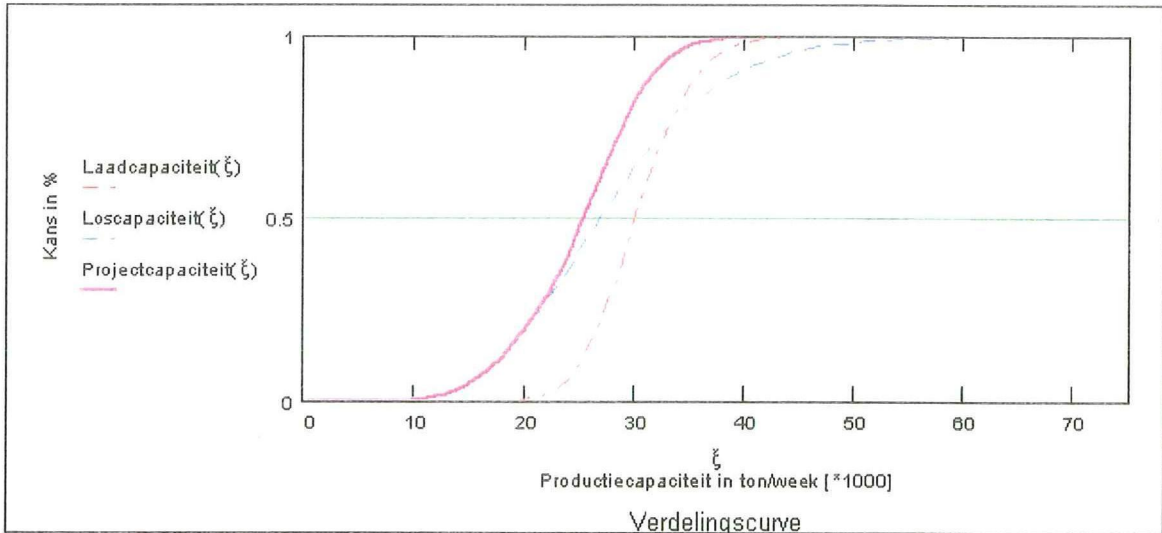
$$\sigma_{P_{\text{nominaal}}} \leq \max(\sigma_{P_{n,load}}, \sigma_{P_{n,los}}) \qquad \text{Vergelijking 3-15}$$

Hieruit volgt, dat de overlapping van de verdelingen van de netto laad- en losproductie een vermindering van de nominale productie veroorzaakt. De grootte van de overlapping wordt bepaald door :

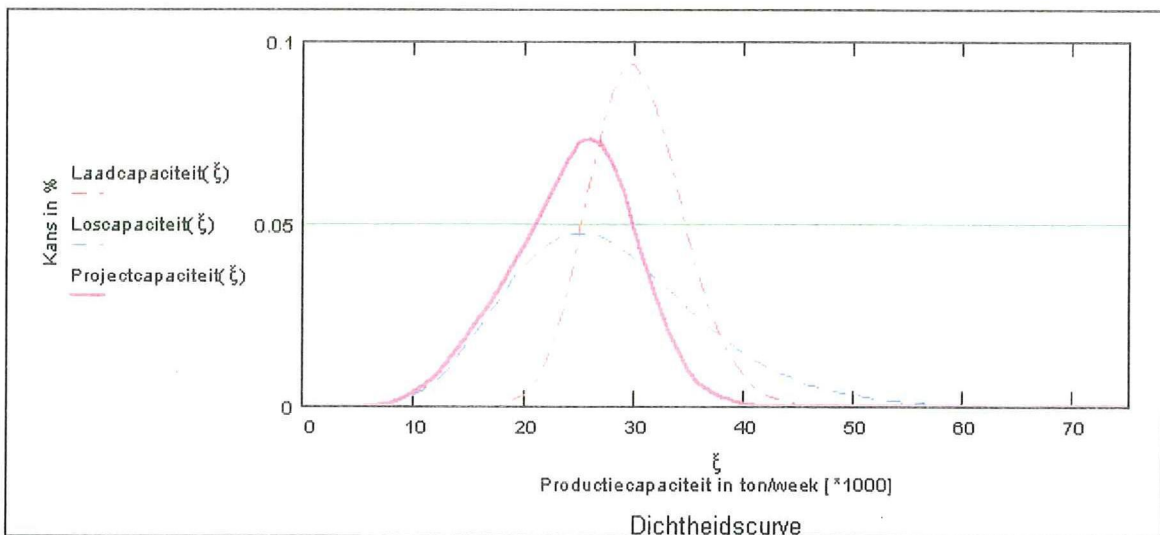
- A. de gemiddelde waarden (geeft locatie van de verdeling),
- B. de spreiding,
- C. het verdelingstype van de netto laad- en losproductie.

Ondanks het productieverlies ten gevolge van de overlapping blijkt, dat voor een economisch verantwoorde situatie de verdelingen van de netto producties bij elkaar in de buurt moeten liggen, zie vergelijking 2-12.

Hieruit volgt, dat *bij het ontwikkelen van een nieuw model voor het bakkentransportproces het stochastische karakter van de variabelen niet mag worden verwaarloosd.*



Grafiek 3-3 : Verdelingscurve van de netto laad- en losproductie behorend bij som 4.



Grafiek 3-4 : Dichtheidscurve van de netto laad- en losproductie behorend bij som 4.

4. Vooronderzoek naar een nieuw model

4.1 INLEIDING

Zoals vermeld, zal een nieuw model worden ontwikkeld, dat het bakkentransportproces nauwkeuriger berekent dan het huidige model. Het belangrijkste doel hierbij is te zorgen, dat het model zo goed mogelijk de werkelijkheid benadert. Uit de probabilistische analyse (hoofdstuk 3.3) is gebleken, dat de deelprocessen afhankelijk van elkaar zijn en dat de statistische onzekerheid van de variabelen niet mag worden verwaarloosd. In de praktijk zijn van de gevolgen (o.a. wachttijden) van die afhankelijkheden geen concrete gegevens bekend, waardoor het niet mogelijk is het proces analytisch te berekenen. Dit is de reden waarom gekozen is om het nieuwe model te baseren op een simulatie techniek. Hierdoor is het mogelijk, om de gevolgen van de afhankelijkheden tussen de deelprocessen in de berekening mee te nemen, zonder dat daar vooraf iets van bekend is.

4.2 VOORWAARDEN

Het model dient te voldoen aan de volgende voorwaarden :

1. het model moet een cyclisch proces kunnen beschrijven;
2. het model moet minimaal bestaan uit drie deelprocessen (laden, transport, lossen);
3. voor elk deelproces moet het volgende kunnen worden ingevoerd :
 - A. aantal productie-middelen,
 - B. capaciteit van elk productie-middel,
 - C. verletten van elk productie-middel,
 - D. kosten van elk productie-middel,
4. het model moet kunnen rekenen met stochastische variabelen;
5. het model moet kunnen rekenen met discrete waarden;
6. het model moet gebaseerd zijn op een simulatie techniek;
7. bestaande modellen moeten naar wens kunnen worden aangepast.

De programmeer-talen moeten aan de volgende voorwaarden voldoen :

1. het moet een simulatie taal zijn;
2. het moet een circulair proces kunnen beschrijven;
3. het moet eenvoudig zijn in het gebruik;
4. het moet kunnen rekenen met verdelingen (ook discreet).

4.3 TOETSEN VAN BESTAANDE SOFTWARE & MODELLEN

Voor het berekenen van het bakkentransportproces zijn verschillende hulpmiddelen beschikbaar. Zoals reeds in de inleiding is vermeld, is voor een simulatie techniek gekozen. Globaal gezien is de simulatie-software te verdelen in de volgende twee hoofdgroepen :

1. **SIMULATIEPAKKETTEN** : Deze vaak grafisch georiënteerde pakketten zijn gemaakt voor deelgebieden, veelal toegepast in de productiesfeer. Als het te modelleren probleem past binnen het pakket levert dit snel bruikbare modellen op. De moeilijkheid is om dit vooraf vast te stellen. Vaak ontstaan in de loop van het project nieuwe ideeën en inzichten die men ook graag in het model zou verwerken en meestal wordt het model daardoor gecompliceerder dan in eerste instantie was aangenomen. Met name het inbouwen van besturingen, die niet in het pakket zijn voorzien, kan moeilijkheden opleveren. (bv. Stella II)

2. ALGEMENE SIMULATIETALEN : Deze bevatten voor simulatie noodzakelijke en nuttige faciliteiten. Het belangrijkste van deze talen zijn de mogelijkheden om parallel in de tijd verlopende processen en interacties daartussen te kunnen modelleren. Deze talen maken doorgaans gebruik van een grondtaal, waarin moet worden geprogrammeerd. Het bouwen van een model wordt daarom arbeidsintensiever, maar is op een zeer breed terrein bruikbaar. Tevens is het relatief eenvoudig om bedrijfsspecifieke zaken aan een model toe te voegen. (bv. Must , Prosim)

Vroeger was het bouwen (programmeren) van simulatiemodellen een tijdrovende bezigheid, en leidde vaak tot moeilijk toegankelijke en niet flexibele modellen. Hierdoor zijn veel bestaande simulatiemodellen niet geschikt om uit te breiden. Daarbij komt dat bestaande rekenmodellen welke een soortgelijk proces beschrijven als het bakkentransportproces moeilijk of niet te vinden zijn.

Met de huidige simulatie-software voor het bouwen van de modellen, is de modelbouwtijd aanzienlijk te verkort. na onderzoek is besloten een nieuw computerprogramma te schrijven.

Voor de keuze van de te gebruiken simulatietaal is advies gevraagd aan diverse personen welke werkzaam zijn aan de TU te Delft en zich bezig houden met modelleren.

Gekozen is het nieuwe model te programmeren in de simulatietaal Must. Deze keuze is gemaakt omdat het een relatief eenvoudige simulatietaal is met veel mogelijkheden (o.a. discreet rekenen).

Naast de (simulatie) berekening is gebruik gemaakt van een animatie. Hiermee is de berekening van het bakkentransportproces snel en eenvoudig, op het beeldscherm, te volgen. Als animatietaal is gekozen voor Max, omdat deze op eenvoudige wijze aan Must is te koppelen. Zowel Must als Max werken onder de programmeertaal Turbo Pascal. Voor het programmeren is gebruik gemaakt van Borland Turbo Pascal 7.0.

Tijdens dit project zal niet verder worden ingegaan op andere bruikbare simulatietaalen, omdat onderzoek naar de beste simulatietaal zeer tijdrovend is. Dit komt omdat de talen ongeveer hetzelfde kunnen, maar alleen op hun eigen manier.

5. Ontwikkeling van het nieuwe model, BakSim

5.1 INLEIDING

Het nieuwe simulatieprogramma is geschreven aan de hand van de procesanalyse. Daarin is het gehele bakkentransportproces uitgebreid beschreven. Voor het modelleren van het proces zijn eerst de beperkingen opgesteld, welke bestaan uit randvoorwaarden, uitgangspunten en het programma van eisen. Na deze beperkingen is het bakkentransportproces gemodelleerd tot een beschrijvend model. Aan de hand van het beschrijvend model is het bakkentransportproces geïmplementeerd.

Het model is ontworpen aan de hand van het werk Kertih in Maleisië (zie hoofdstuk 1), dat beschreven is in het eindrapport van Kertih Marine Works (literatuur 3), Construction of a Breakwater, Groynes & Revetment. Verder zijn diverse gesprekken gevoerd met personen uit de praktijk, en is gebruik gemaakt van de foutenbomen, die opgenomen zijn in bijlage C.

5.2 PROCESANALYSE VAN HET BAKKENTRANSPORTPROCES

Het bakkentransportproces ten behoeve van een steen-werk, zoals reeds beschreven in de probleembeschrijving, bestaat uit een laadlocatie waar de bakken worden geladen met breuksteen en/of betonelementen. De bakken worden met duw- of sleepboten verscheept naar de loslocatie, waar materieel aanwezig is voor het lossen en plaatsen van de breuksteen en/of betonelementen.

In deze analyse zal voor elk deelproces een beschrijving worden gegeven. Het bakkentransportproces is evenals in de voorgaande hoofdstukken onderverdeeld in de drie deelprocessen :

- A. laadproces,
- B. transportproces,
- C. losproces.

5.2.1 Laadproces

Het laadproces speelt zich af op één locatie. Deze locatie wordt aangeduid als *de werkhaven*. In de werkhaven zijn kaden beschikbaar, waar de bakken afgemeerd kunnen worden. Het aantal kaden geeft direct het aantal laadstations. Hierbij wordt ervan uitgegaan, dat bij elke beschikbare kade materieel aanwezig is, die de bakken met de breuksteen en/of betonelementen kunnen laden. Wat voor materieel daarvoor aanwezig is, is globaal gezien niet belangrijk.

De werkzaamheden van een laadstation zijn als volgt te beschrijven :

- lege bak afmeren (kade bezet),
- laden van de bak,
- wachten tot de bak uit kan en mag varen (kade bezet),
- volgeladen bak losgooien (kade bezet) en nieuwe lege bak afroepen,
- wachten op de volgende lege bak.

5.2.2 Transportproces

Onder het transportproces behoren alle werkzaamheden die te maken hebben met het transport van de bakken. Het transport van de bakken is verdeeld in de volgende vier vaartrajecten :

- A. transport van volgeladen bakken van werkhaven naar wachtplaats voor volgeladen bakken,
- B. transport van volgeladen bakken van wachtplaats met volgeladen bakken naar de loslocatie,
- C. transport van lege bakken van loslocatie naar de wachtplaats voor lege bakken,
- D. transport van lege bakken van wachtplaats met lege bakken naar de werkhaven.

Doordat in dit onderzoek er vanuit wordt gegaan, dat de bakken niet zelfvarend zijn, worden duwen/of sleepboten ingezet voor het verschepen van de bakken. Hierdoor zijn er naast de vier vaartrajecten nog andere vaarroutes. Deze vaarroutes worden alleen bevaren door de boten, indien het de productie van het bakcenttransportproces bevordert.

De werkzaamheden van een boot zijn als volgt te beschrijven :

- een lege bak aankoppelen (uit de wachtrij met lege bakken),
- varen naar de werkhaven (laadlocatie),
- haven in manoeuvreren en de bak afmeren aan de kade,
- wachten tot bak geladen is,
- wachten tot uitgevaren mag en kan worden,
- bak losgooien van de kade,
- manoeuvreren en de haven verlaten met de volgeladen bak,
- varen naar wachtlocatie (buffer) voor volgeladen bakken,
- wachten tot een volle bak wordt afgeroepen door een losstation,
- volgeladen bak naar de loslocatie brengen,
- manoeuvreren en bak afmeren bij losstation,
- wachten tot de bak gelost is,
- bak losgooien van losstation, manoeuvreren en wegvaren,
- varen naar wachtlocatie (buffer) voor lege bakken,
- wachten tot een lege bak wordt afgeroepen door een laadstation.

5.2.3 Losproces

Onder het losproces wordt het lossen en het plaatsen van de breuksteen en/of betonelementen verstaan. Dit proces vindt plaats op de loslocatie en wordt uitgevoerd door het aanwezige losmaterieel. Voor dit onderzoek wordt ervan uitgegaan, dat de bakken niet zelf kunnen lossen, maar dat deze gelost worden door kranen, die op pontons zijn gestationeerd.

De werkzaamheden van een losstation zijn als volgt te beschrijven :

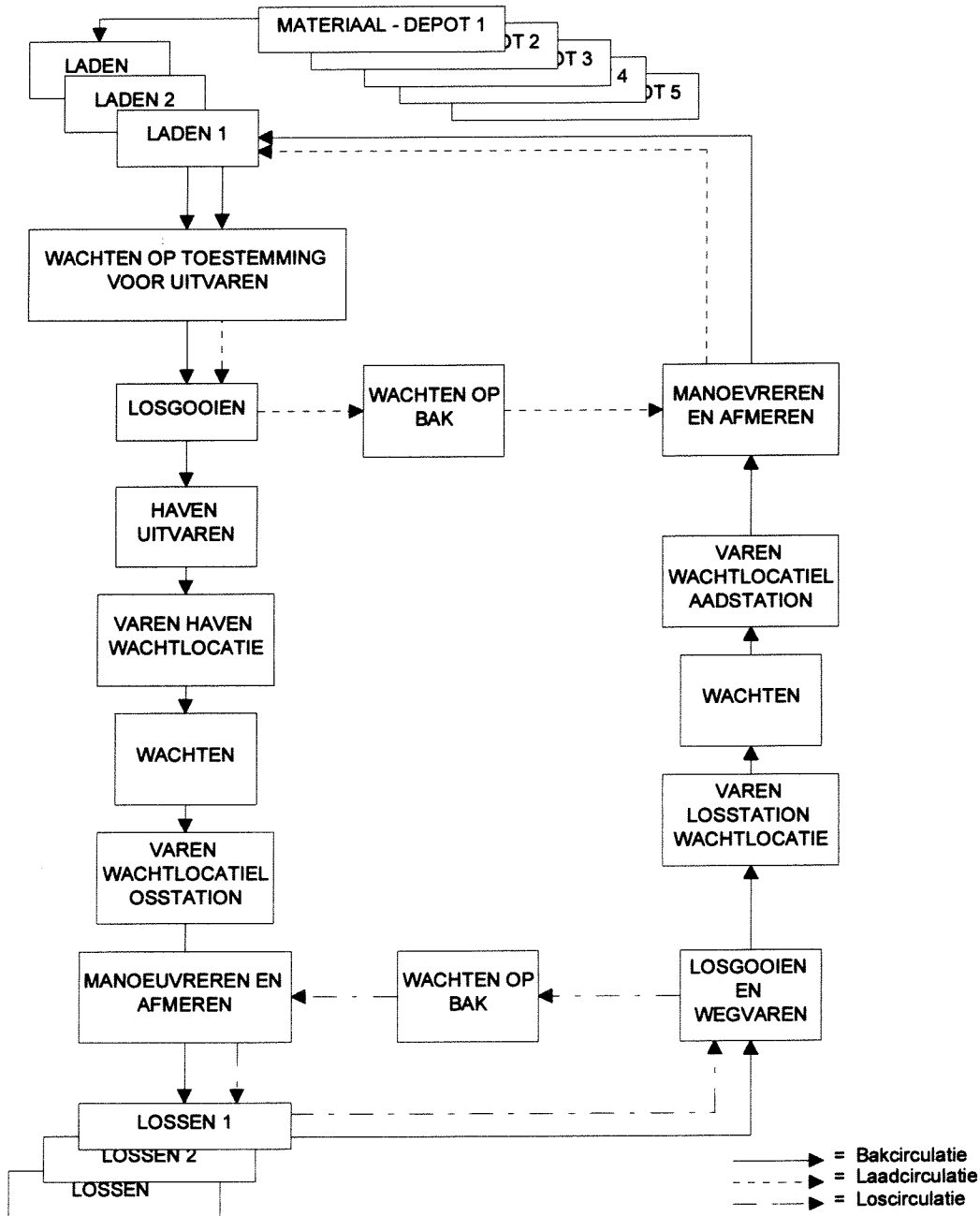
- volle bak afmeren,
- lossen van de bak,
- lege bak losgooien en nieuwe volle bak afroepen,
- wachten op de volgende volle bak.

5.2.4 Proces schematisatie

Voordat het bakcenttransportproces geschematiseerd is, zijn in Tabel 5-1 diverse handelingen van de deelprocessen nader omschreven. Met behulp van de beschrijvingen van de deelprocessen is het gehele bakcenttransportproces geschematiseerd, zie Figuur 5-1 en Figuur 5-3.

Omschrijving van de handeling	Betekenis van de handeling
laden en lossen van de bakken	- De laad- en lostijd wordt bepaald door de baklading en de laad- of losproductie. (laadtijd = baklading / laadproductie)
wachten tot uitgevaren kan en mag worden	- De tijd tussen het klaar staan van wegvaren en het moment van mogen en/of kunnen. (wachten i.v.m. stremming in havenmond, wachten op toestemming, etc.)
losgooien van de trossen en wegvaren	- Hier is tijd gereserveerd voor de werkzaamheden die vallen tussen het stoppen van het laden of lossen en het varen.
haven in- of uitvaren (manoeuvreren)	- Hier is tijd gereserveerd voor het keren, steken etc. voor het in- of uitvaren van de haven.
varen	- De vaartijd wordt bepaald door de vaarafstand en de vaarsnelheid. (vaartijd = afstand / snelheid)

Tabel 5-1 : *Betekenis van de handelingen.*



Figuur 5-1 : Bakkentransport schema

In bijlage B is het bakkentransportproces nog verder uitgewerkt. Daarin is een schema opgenomen met alle handelingen van de deelprocessen. Het bakkentransportproces is nu, voor wat betreft de handelingen, volledig beschreven. Naast de handelingen treden echter verstoringen op, welke het proces nadelig kunnen beïnvloeden. De verstoringen worden verletten genoemd. Omdat de verletten invloed hebben op het proces moeten deze worden meegenomen in de berekening. Om een goed beeld te krijgen van de verletten zijn deze eerst geanalyseerd.

5.2.5 Verletten

Binnen het bakkentransportproces treden verletten op, waardoor het materieel niet 100% van de tijd productief kan zijn. Om de werkelijkheid te benaderen zal voor elk stuk materieel de betreffende verletten in de berekening moeten worden opgenomen. Hierdoor kunnen alle oorzaken van uitval worden meegenomen. De verletten worden in de volgende twee groepen verdeeld :

Intern Zijn alle verletten waarvan de oorzaak binnen het proces ligt.

Extern Zijn alle verletten waarvan de oorzaak buiten het proces ligt, zoals b.v. weerverlet, deining.

Tijdens het proces treden naast verletten ook wachttijden op. Onder wachttijd wordt de tijd verstaan dat het materieel wel productief kan zijn maar dat niet is door een verstoring in de aan- en/of afvoer van goederen of productiemiddelen (materieel).

Voor het analyseren welke verstoringen er optreden zijn van het bakkentransportproces foutenbomen gemaakt (zie bijlage C). Met behulp van de foutenbomen en de groepsindeling zijn de verstoringen per deelproces als volgt te beschrijven :

Verletten en wachttijden van het laadproces (laadstations) :

omschrijving van de verstoring	wachttijd	verlettijd	
		intern	extern
• reparatie/onderhoud laadmaterieel,		x	
• reparatie/onderhoud kade,		x	
• kade ordenen en opschonen,		x	
• volgeladen bak mag de kade niet verlaten,	x		
• weerverlet (laadmaterieel wordt belemmerd),			x
• overig (voorzien en onvoorzien omstandigheden).	x	x	x
• geen bak of boot beschikbaar	x		
• ploegwissel & pauze	x		
• wachten in verband met getij	x		
• geen materiaal aanvoer	x		

Tabel 5-2 : Oorzaken van verletten en wachttijden van het laadproces.

Verletten en wachttijden van het transportproces (duw- / sleepboten) :

omschrijving van de verstoring	wachttijd	verlettijd	
		intern	extern
• de sleepboot is defect (grote reparatie),		x	
• onderhoud/reparatie sleepboot,		x	
• weerverlet (wind,golven,deining, etc.),			x
• getij (b.v. beperkte waterdiepte havenmond),			x
• interferentie (een ander schip ligt in de havenmond),	x		
• overig (voorzien en onvoorzien omstandigheden).	x	x	x
• geen bak beschikbaar voor transport	x		

Tabel 5-3 : Oorzaken van verletten en wachttijden van het transportproces ten gevolge van de duw- en/of sleepboten.

Verletten en wachttijden van het transportproces (platte bakken) :

omschrijving van de verstoring	wachttijd	verlettijd	
		intern	extern
• de bak is dusdanig beschadigd dat deze gerepareerd moet worden,		x	
• overig (alle overige voorziene en onvoorziene verletten).		x	x

Tabel 5-4 : Oorzaken van verletten en wachttijden van het transportproces ten gevolge van de bakken.

Verletten en wachttijden van het losproces (losstations) :

omschrijving van de verstoring	wachttijd	verlettijd	
		intern	extern
• reparatie/onderhoud ponton,		x	
• reparatie/onderhoud kraan,		x	
• reparatie schade t.g.v. weer,		x	
• groot onderhoud/reparatie,		x	
• positioneren,		x	
• lege bak kan of mag de aanlegplaats niet verlaten,	x		
• survey,	x		
• getij,			x
• weer (wind,golven,deining etc.),			x
• interferentie (gehinderd door ander materieel),	x		
• geen toestemming om verder te mogen werken,			x
• overig (voorziene en onvoorziene omstandigheden).	x	x	x

Tabel 5-5 : Oorzaken van de verletten en wachttijden van het losproces.

Uit deze tabellen blijkt dat elk deelproces beïnvloed wordt door zowel verletten als wachttijden. Bij het modelleren moet rekening gehouden worden, dat zowel de tijdsduur als de tussenaankomsttijd van de storingen variabel en stochastisch van aard zijn.

5.3 BEPERKINGEN VAN HET MODEL

Voor het model gelden de reeds opgestelde beperkingen, welke beschreven zijn in de probleemanalyse en in de modelvoorwaarden. Naast deze zijn de volgende beperkingen voor het te ontwikkelen simulatieprogramma (BakSim) opgesteld. Deze zijn onderverdeeld in randvoorwaarden, uitgangspunten en het programma van eisen.

5.3.1 Randvoorwaarden:

Opgelegd door het werk :

1. De werkhaven is altijd toegankelijk voor de bakken en boten.
2. Elk laad- en losstation heeft zijn eigen productiegegevens. Deze bestaan uit capaciteit- en verletgegevens.
3. De plaats van de wachtplaatsen voor volle- en lege bakken is vooraf bekend.
4. Alle boten hebben dezelfde vaartijden. Elke vaarroute heeft een eigen vaartijdverdeling.
5. Elke bak heeft een verdeling van de netto getransporteerde lading (bakvulling).
6. Het proces kan enige tijd stilgelegd worden door externe omstandigheden. Bijvoorbeeld door een storm.

Opgelegd door het materieel :

1. Eén laad- of losstation kan één bak tegelijk verwerken (laden/lossen).
2. Elk stuk materieel maakt zelf het werk af waar deze aan begonnen is. Dit betekent bijvoorbeeld, dat tijdens het laden of lossen de betreffende bak niet verplaatst wordt.

5.3.2 Uitgangspunten

Opgelegd door het type werk :

1. Al het materieel is 100% van de tijd beschikbaar voor het te berekenen proces.
2. De materieel bezetting is voor de gehele simulatie periode gelijk.
3. Elke bak dient op elke aanlegplaats te kunnen worden afgemeerd en geladen.
4. De wachtlocatie voor volgeladen bakken hoeft niet dezelfde plaats te zijn als de wachtlocatie voor lege bakken.
5. Er wordt geen mobilisatie en demobilisatietijd of -kosten in rekening gebracht.

Opgelegd door het materieel :

1. Een laadstation kan laden, wachten of in verlet vallen.
2. Een losstation kan lossen, wachten of in verlet vallen.
3. Bij de start van het simuleren zijn de bakken vol of leeg en liggen op de daarvoor bestemde wachtlocaties. De lege bakken starten in de zogenaamde lege-bak-set en de volle bakken starten in de zogenaamde volle-bak-set
4. De bakken en boten worden gezien als twee losse componenten. Hierdoor is niet altijd een sleepboot of duwboot beschikbaar die de bak direct kan transporteren.
5. Voor al het materieel moeten de verletten zoals voor onderhoud & reparatie, positioneren, survey etc. in rekening kunnen worden gebracht.

Opgelegd door de software :

1. De volgende verdelingen zijn voor het model bruikbaar :
normaal, exponentieel, uniform, constant, erlang-k, tabel en discrete tabel.

5.3.3 Programma van eisen

Opgelegd door het type werk :

1. De aanlegplaatsen welke worden ingevoerd als laadstation worden allen gebruikt voor het laden van de bakken die in de simulatie meedraaien.
2. Er dient een x aantal aanlegplaatsen gereserveerd te zijn voor het laden van de bakken. Deze moet constant zijn gedurende de simulatieperiode.
3. Er dient een y aantal losstations te worden gekozen welke constant blijft gedurende de simulatie periode.
4. In de vaarroutes dient een mogelijkheid aanwezig te zijn, waardoor het passeren van een sluis in rekening kan worden gebracht.
5. Het aantal bakken waarmee gesimuleerd wordt, moet met de hand kunnen worden ingevoerd.
6. Het model dient de kostprijs voor het transport van het materiaal te berekenen.
7. Het model moet de verletten op twee manieren kunnen verrekenen. Bij deze keuze moet aangenomen worden of de verletten tijdens of buiten de productie optreden.

Opgelegd door het materieel :

1. Alle bakken hebben een eigen netto laadvermogen. (Bakvulling)
2. Alle boten hebben dezelfde vaartijdverdelingen.
3. Alle laadstations hebben een eigen laadcapaciteit en verlet gegevens.
4. Alle losstations hebben een eigen loscapaciteit en verlet gegevens.

Algemeen :

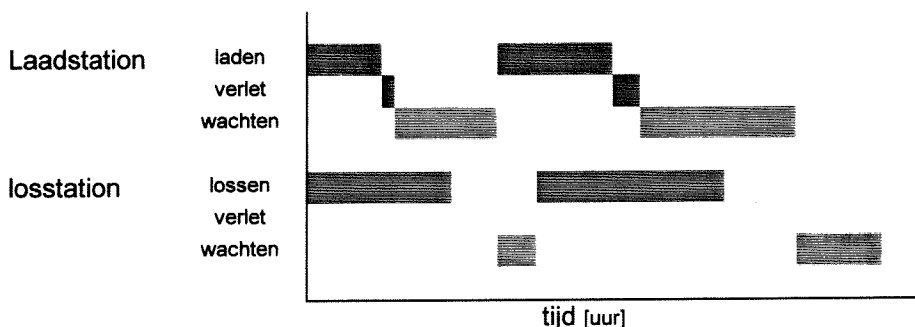
1. De invoer moet opgeslagen kunnen worden in een bestand, welke later kan worden uitgelezen.
2. De uitvoer moet weggeschreven kunnen worden en opgevraagd kunnen worden. De resultaten moeten kunnen worden gepresenteerd in een spreadsheetprogramma zoals bijvoorbeeld Excel.
3. Het aantal simulaties moet kunnen worden ingevoerd.
4. Het model moet rekening kunnen houden met een vertraging ten gevolge van het feit dat de boten te laat vertrekken. (communicatie verlet)
5. Het computerprogramma moet de volgende gegevens berekenen :
 - A. de verdeling van de weekproductie [ton/week]
 - B. de verdeling van de productie welke gehaald wordt tijdens de werkperiode (projectproductie [ton/werk])
 - C. de globale verwerkingskosten [gulden/ton]
 - D. bezettingsgraad van het materieel [%]

5.4 MODELLERING VAN HET BAKKENTRANSPORTPROCES

Bij het modelleren van de drie deelprocessen en de verstoringen (verletten en wachttijden) van het bakkentransportproces is gebruik gemaakt van de probleemanalyse en van gegevens van het werk Kertih in Maleisië, dat beschreven is in het eindrapport van Kertih Marine Works, Construction of a Breakwater, Groynes & Revetment (literatuur 3).

5.4.1 Modelling van het laad- en losproces

Proces technisch zijn het laad- en losproces gelijk aan elkaar. Het laad- en losproces beschrijft de gebeurtenissen op de laad- en loslocatie. In het simulatiemodel doorloopt elk laad- en losstation zijn eigen procescyclus. Deze cyclus is verdeeld in tijden voor het laden of lossen, verlet en wachten. In Figuur 5-2 zijn deze handelingen, met behulp van een balken schema, tegen de tijd uitgezet.



Figuur 5-2 : Balkenschema van de handelingen van de laad- en losstations.

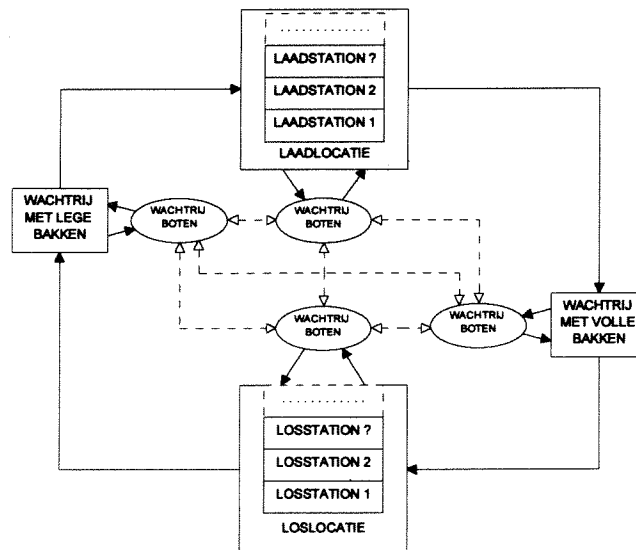
Het laad- en losproces is zo gemodelleerd dat voor elk laad- en losstation een eigen verdeling van de laad- of loscapaciteit moet worden ingevoerd. Hoe de verstoringen (wacht- en verlettijden) berekend en opgenomen moeten worden is beschreven in paragraaf 5.4.3.

5.4.2 Modelling transportproces

Het transportproces beschrijft de werkzaamheden van de duw- of sleepboten, welke zorg dragen voor het transport van de bakken. Hierbij zijn de boten losgekoppeld van de bakken en het transportproces wordt beschreven door 24 mogelijke vaarroutes van de duw- of sleepboten, zie Figuur 5-3.

Gedurende 4 vaarroutes sleept de duw- of sleepboot daadwerkelijk een bak. De overige 20 vaarroutes zijn noodzakelijk voor het regelen van het logistieke systeem. Deze 20 vaarroutes zijn onderverdeeld in twee groepen. De eerste groep bestaat uit 8 vaarroutes welke nodig zijn om de duw- of sleepboten in de zogenaamde wachtrijen te laten aansluiten. In deze wachtrijen liggen ze als het ware stand-by. Vanuit deze wachtplaats kan indien noodzakelijk een duw- of sleepboot onderbroken worden in zijn cyclus. Dit is alleen verantwoord, indien de onderbreking leidt tot een productieverhoging van het gehele proces. Voor deze onderbrekingen zijn 12 vaarroutes opgenomen waarmee de duw- of sleepboten van de ene wachtplaats naar de andere kunnen varen.

Aangenomen is dat de vaartijden voor alle 24 vaarroutes stochastische variabelen zijn, waardoor voor elke vaartijd een verdeling moet worden ingevoerd. Tijdens het modelleren is verder aangenomen dat alle boten met dezelfde vaartijdverdelingen worden beschreven.



Figuur 5-3 : Schematische weergave van het transportproces.

De cyclustijd van de boten wordt gemeten vanaf het moment, dat de betreffende boot de wachtrij van boten bij de lege bakken verlaat. De cyclustijd bestaat uit de som van de vaar- en wachttijden, eventueel vermeerderd met een verlettijd. Deze verlettijd wordt binnen het programma 'bootverlet' genoemd. Hoe de boot verletten zijn gemodelleerd is beschreven in par 5.4.3.

De bakken zijn zo gemodelleerd dat ze niets doen. De bakken worden alleen door een duw- of sleepboot getransporteerd en door de laad- en losstations geladen of gelost. De grootte van de bak is echter bepalend voor de laad- en lostijd. Hierdoor zijn de bakken zo gemodelleerd dat elke bak een eigen verdeling heeft voor de netto getransporteerde lading (=bakvulling). Dit is aangenomen, omdat niet alle bakken die gebruikt worden op een werk dezelfde afmetingen hoeven te bezitten. De cyclustijd van een bak bestaat uit wachttijden, transporttijden en de laad- en lostijd. Verder kunnen ook eventuele verletten van de bakken worden opgenomen (bakverlet), zie par 5.4.3.

5.4.3 Het modelleren van de verlettijden

Bij het modelleren van de verletten van het bakcenttransportproces is als eerste een verlet opgenomen, die het gehele werk stil kan leggen (het extern verlet). Daarna is voor elk deelproces een eigen verlet gemodelleerd. Uit het verdelingsonderzoek (zie hoofdstuk 6) blijkt, dat de productie van de laad- en losstations afhankelijk is van het type laad- of losmaterieel. Hierdoor is voor elk laad- en losstation een eigen verletverdeling (laadverlet en losverlet) noodzakelijk. Voor het verlet van de duw- en sleepboten (bootverlet) wordt aangenomen dat deze voor alle boten gelijk is. Ditzelfde is aangenomen voor de bakken (bakverlet).

Het modelleren van het extern verlet :

Bij het modelleren van het extern verlet is ervan uitgegaan, dat alle deelprocessen daar hinder van ondervinden. Het extern verlet is zo geïmplementeerd, dat alle deelprocessen stil komen te liggen als het zich voordoet. Onder het extern verlet vallen onder andere de volgende gebeurtenissen :

- weersinvloed (o.a. storm, deining),
- geen vergunning verkregen,
- geen toestemming van hogerehand om verder te werken (draaiboek niet in orde of opgeleverde deel is niet goedgekeurd).

Het extern verlet treedt in werkelijkheid volkomen willekeurige op met een willekeurige tijdsduur. Bij het ontwerp van het extern verlet is in verband met geheugenproblemen aangenomen, dat het verlet één keer per week voorkomt. Aan het extern verlet moet bij de invoer een verdeling van de tijdsduur worden toegekend (tussen 0 en 168 uur). Uit deze verdeling wordt elke week een nieuwe waarde getrokken voor het extern verlet. In het model is er wel rekening mee gehouden, dat het extern verlet op een volkomen willekeurig tijdstip (binnen de 168 uur) op kan treden. Dit betekent dat het ook op kan treden als er niet gewerkt wordt (bv. in een weekend of s'avonds). Hierdoor is het mogelijk om meteorologische gegevens in de verdeling op te nemen.

Als laatste moet worden opgemerkt, dat het extern verlet alleen de handelingen stil legt. Dit wil dus zeggen dat verletten niet worden onderbroken door het extern verlet. Voor deze modellering is gekozen omdat beide verletten tegelijk voor kunnen komen.

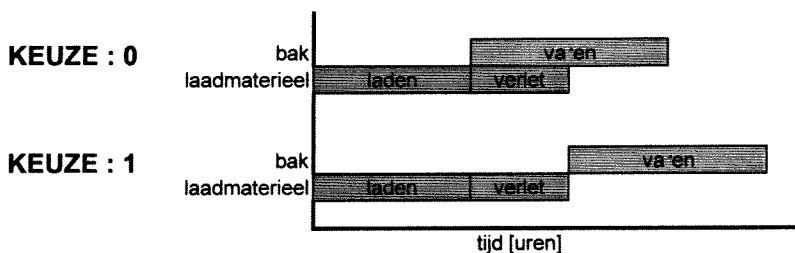
Voorbeeld : Tijdens een reparatie van een losstation kan de deining dusdanig toenemen dat het losstation ten gevolge van die deining niet zou kunnen lossen, terwijl de reparatie werkzaamheden daar geen hinder van hoeven te ondervinden.

Het modelleren van het laadverlet :

Zoals reeds vermeldt moet voor elk laadstation een verdeling van het zogenaamde 'laadverlet' worden ingevoerd. In het laadverlet zijn alle overige verletten, die invloed hebben op het betreffende laadstation, opgenomen. In Tabel 5-6 zijn de meeste hiervan weergegeven.

Omdat de verletten op verschillende manieren worden gerapporteerd, is ervoor gekozen het laadverlet uit te drukken in uur/bak. Dat wil zeggen, dat in het model na het laden van een bak een verlettijd wordt getrokken uit de verdeling van het laadverlet. De nadelen van deze modellering staan vermeld in paragraaf 5.4.3.1.

Bij de invoer moet aangegeven worden of de verletten tijdens of buiten de productietijd optreden. Het verschil tussen de twee mogelijkheden is het vrijgave moment van de bak. Worden de verletten tijdens de productie in rekening gebracht (keuze : 1) dan blijft de bak gedurende de laad- en verlettijd aan de kade liggen. Worden de verletten echter buiten de productie (keuze : 0) verrekend dan blijft de bak alleen gedurende de laadtijd langs de kade liggen.



Aangeraden wordt om de verletten tijdens de productie (keuze=1) in rekening te brengen. Door deze aanname blijft het antwoord conservatief. Worden de verletten echter buiten de productie (keuze=0) verrekend dan is het antwoord optimistisch.

Opbouw van het laadverlet
<ul style="list-style-type: none"> • reparatie/onderhoud laadmaterieel, • reparatie/onderhoud kade, • kade ordenen en opschonen, • bakwissel • volgeladen bak mag de kade niet verlaten, • overig (voorzien en onvoorzien omstandigheden).

Tabel 5-6 : Opbouw van het laadverlet.

Het modelleren van het losverlet :

Het losverlet is op dezelfde manier gemodelleerd als het laadverlet. Alleen wordt het losverlet uit andere verletten opgebouwd. In Tabel 5-7 zijn de meeste van deze weergegeven.

Opbouw van het losverlet
<ul style="list-style-type: none"> • reparatie/onderhoud ponton, • reparatie/onderhoud kraan, • reparatie schade t.g.v. weer, • groot onderhoud/reparatie, • positioneren, • lege bak kan of mag de aanlegplaats niet verlaten, • survey, • interferentie (gehinderd door ander materieel), • overig (voorzien en onvoorzien omstandigheden).

Tabel 5-7 : Opbouw van het losverlet.

Het modelleren van het bakverlet :

Het bakverlet bevat alle verletten van de bak, zoals reparatie en onderhoud. Aangenomen is dat de kansverdeling van het bakverlet voor alle bakken gelijk is. Verder is aangenomen, dat een bak alleen in verlet kan vallen als deze leeg is. Deze voorwaarde is aangenomen omdat een beschadigde bak die geladen is in de praktijk eerst gelost zal worden, voordat deze gerepareerd wordt. Hierdoor is in de cyclus van de bakken één locatie aangewezen waar de bakken in verlet kunnen vallen. Deze plaats is bij de wachtplaats voor de lege bakken.

Het modelleren van het bootverlet :

Het bootverlet bevat alle verletten van de duw en/of sleepboten, zoals reparatie en onderhoud. Voor de eenvoud is ervan uitgegaan dat de boten net als de bakken maar op één locatie binnen de cyclus in verlet kunnen vallen. Dat is in de wachtrij voor boten bij de wachtrij voor lege bakken.

5.4.3.1 Kritische beschouwing

Bij het modelleren van de verletten, bleek dat elk type verlet beschreven zou moeten worden door de volgende twee verdelingen :

- een tussen-aankomsttijd verdeling van het betreffende verlet,
- een verdeling van de tijdsduur van het betreffende verlet.

Elk verlet heeft dus zijn eigen verdeling voor de tussenaankomsttijd en de duur van het verlet. Hierdoor zou voor elk verlet een aparte verlet generator moeten worden geïmplementeerd. Omdat van zowel de tussenaankomsttijden als van de duur van de verletten geen concrete gegevens bekend zijn, neemt de nauwkeurigheid van de berekening in deze fase niet toe. Een andere reden waarom de verletten niet verder zijn uitgewerkt is, dat het simulatiemodel tegen het plafond van het werkgeheugen (640 kb) zit. In de toekomst zou onderzocht moeten worden welke invloed deze vereenvoudiging van de verletten heeft op de uitkomsten.

5.4.3.2 Het opnemen van de wachttijden in het model

Het proces is zo gemodelleerd dat wachttijden ten gevolge van het niet op tijd aanwezig zijn van materieel (b.v. bak of boot), door het programma zelf worden berekend. Deze wachttijden worden weggeschreven in histogrammen, die opgenomen zijn in de uitvoer. De laad- en losstations zijn daarvoor zo ontwikkeld, dat wanneer er geen bak (of boot) voorradig is, het betreffende laad- of losstation aansluit in een wachtrij voor laad- of losstations. Binnen deze wachtrij volgt het materieel de 'first in first out' strategie.

De duur van de wachttijden wordt niet alleen bepaald door de aanwezigheid van het juiste materieel maar ook door het moment waarop het materieel (bak en/of boot) wordt afgeroepen. Om het moment van afroep in het model op te nemen is de zogenaamde 'afroepvertraging' of 'communicatie verlet' ontworpen. Bij de invoer moet aan deze variabele een vaste waarde worden toegekend, liggend tussen 0% en 100%. Bij 100% wordt er pas een nieuwe bak afgeroepen als een laad- of losstation klaar is met het laden of lossen van een bak. Bij 0% wordt een nieuwe bak zo afgeroepen, dat indien er een bak en een boot beschikbaar zijn geen wachttijden ontstaan.

De wachttijden die ontstaan, omdat er niet voldoende materiaal (steen) in de werkhaven voorradig is, mogen worden verwaarloosd. Dit volgt uit het uitgangspunt waarin aangenomen is, dat het materiaal altijd voorradig is in de werkhaven. Alle overige wachttijden zijn opgenomen in de modellering van de verletten.

5.5 BENODIGDE INVOERGEGEVENS

De invoer is onderverdeeld in de volgende 5 categorieën :

1. algemene werkgegevens,
2. materieel bezetting,
3. vaartijden,
4. productiegegevens,
5. kosten.

ad1. In de algemene werkgegevens zijn de onderstaande variabelen opgenomen. Aan elke variabele moet een vaste waarde worden toegekend.

- tijd aspecten :
 - (a) de tijdsduur van het werk in weken,
 - (b) de tijdsduur van een werkdag in uren,
 - (c) de tijdsduur van een werkweek in dagen.
- het aantal simulaties dat moet worden uitgevoerd,
- de keuze of het verlet tijdens of buiten de productie moet worden verrekend,
- de grootte van het z.g. communicatie verlet in %.

ad2. Bij de materieelbezetting moet aan de volgende variabelen een vaste waarde worden toegekend :

- het aantal laadstations op de laadlocatie,
- het aantal losstations op de loslocatie,
- het aantal volle en lege bakken bij de start van de simulatie ,
- het aantal boten en de ligging daarvan bij de start van de simulatie.

ad3. Bij de vaartijden kunnen voor de 24 vaarroutes verdelingen van de vaartijd worden ingevoerd. Deze vaartijden zijn voor alle boten gelijk.

- ad4. Bij de productiegegevens moet, naast de laad- en loscapaciteit, ook de netto getransporteerde lading van de bakken worden ingevoerd (bakvulling). Tevens moeten de verlettijden van het materieel worden ingevoerd. Voor de laad- en losstations moet deze voor elk stuk materieel apart worden ingevoerd. Voor de boten en bakken is het verlet opgenomen in één variabele welke voor alle boten en bakken geldt. Tevens is hier een mogelijkheid ingebouwd om een verlet in te bouwen, welke het gehele werk stil kan leggen; deze wordt binnen het model aangeduid met extern verlet. Dit verlet kan gebruikt worden voor het invoeren van weerverlet en verletten ten gevolge van andere externe oorzaken.
- ad5. Bij het invoeren van de kosten moet voor elk stuk materieel de kosten per week worden ingevoerd.

5.6 UITVOER

De uitvoer bestaat uit de volgende onderdelen :

- a. lijst van invoergegevens,
- b. grafieken en data van de resultaten,
- c. beknopte lijst met uitkomsten van alle variabelen,
- d. resultaten formulier.

In de uitvoer worden van de volgende variabelen met behulp van grafieken gepresenteerd :

- ◇ de cyclustijd van de boten,
- ◇ de cyclustijd van de bakken,
- ◇ de netto laadtijd,
- ◇ de wachttijd van de laadstations,
- ◇ de netto lostijd,
- ◇ de wachttijd van de losstations,
- ◇ de weekproductie,
- ◇ de productie over de werkperiode.

Bij het maken van de grafieken wordt gebruik gemaakt van het bestand Bakhist.dat. Met behulp van dit bestand kan het bereik van elke grafiek worden aangepast. Van elke grafiek kan hierin de startwaarde, de stapgrootte en het aantal stappen worden aangepast.

Op het resultaten formulier staan de belangrijkste uitkomsten, zoals de gegevens van de nominale weekproductie, de productie gedurende de gehele bouwfase, de bezettingsgraad van het materieel en een kosten overzicht. In bijlage H is de uitvoer van een simulatie opgenomen.

5.7 TOETSEN VAN HET MODEL

Tijdens het programmeren van het simulatieprogramma is elk onderdeel individueel getest voordat het is geïmplementeerd. Het uiteindelijke simulatie programma BakSim is als volgt getest (zie ook bijlage G) aan de theorie en praktijk :

1. Algemene test,
2. Deterministische test,
3. Toetsing aan een praktijksituatie.

5.7.1 Algemene test

In deze test zijn de volgende onderdelen van het programma getoetst op het goed functioneren van het betreffende onderdeel.

- A. de waarden worden bij de invoer aan de goede variabelen toegekend (dit is uitgevoerd met behulp van histogrammen),
- B. de histogrammen worden goed aangemaakt vanuit BakHist.dat,
- C. de animatie functioneert,
- D. de zogenaamde 'afroepvertraging' (of communicatie verlet) werkt,
- E. de boten kunnen alle vaarroutes bevaren,
- F. het logistieke systeem functioneert,
- G. de randgeneratoren functioneren (hiervoor zijn 2 probabilistische scenario's gesimuleerd).

Nadat alle onderdelen goed functioneerden is verder gegaan met de deterministische testen.

5.7.2 Deterministische test

Bij deze test worden aan alle invoer variabelen een vaste (deterministische) waarde toegekend. Hiervoor is gekozen, omdat de uitkomsten relatief eenvoudig met behulp van een analytische berekening zijn te controleren. In onderstaande tabel zijn de invoergegevens en resultaten weergegeven van 5 toetsen waarbij gevarieerd is met het aantal bakken.

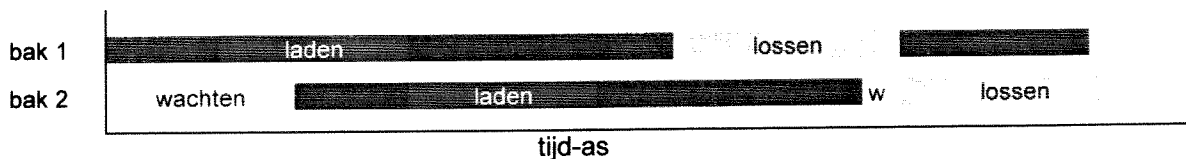
AANNAMEN						RESULTATEN					
laadstation	Materieel-inzet		Capaciteit			Huidige berekeningsmeth.		m.b.v. BakSim			
	boot-bak combinaties	losstations	laden [ton/uur]	transport [ton/bak]	lossen [ton/uur]	weekproductie [ton/week]	totale productie [ton]	weekproductie [ton/week]	totale productie [ton]		
1	1	1	500	1000	400	16800	873600	16800	354	873600	8
1	2	1	500	1000	400	33600	1747200	33593	492	1746850	0
1	3	1	500	1000	400	50400	2620800	50380	592	2619750	0
1	4	1	500	1000	400	67200	3494400	67160	642	3492300	0
1	5	1	500	1000	400	67200	3494400	67160	642	3492300	0

Vaartijden :		Tijden :		Opmerking :
varen met volle bak	3.5 [uur]	duur van een simulatie	52 [weken]	Bij 5 boot-bak combinaties wordt het losstation maatgevend.
varen met lege bak	2 [uur]	aantal simulaties	100	

Tabel 5-8 : Aannamen en resultaten van de deterministische testen.

Uit de resultaten van de huidige berekeningsmethode en de simulaties met BakSim blijkt, dat de antwoorden bij een toenemend aantal bakken uit elkaar lopen. Dit is het gevolg van het z.g. begin-effect. Het begin-effect houdt in, dat niet al het materieel bij het opstarten van het proces direct werkzaam kan zijn.

Met behulp van een eenvoudige berekening kan worden nagegaan hoeveel het verlies is ten gevolge van het opstarten van het proces. Deze berekening is gebaseerd op de wachttijd van de tweede (en eventueel opvolgende) boot-bak combinatie voordat deze aan zijn eigen cyclus kan beginnen. Als eerste moet deze wachten totdat de eerste boot-bak combinatie naar het laadstation is gevaren en geladen is. Daarna moet de vaartijd van de tweede bak er van af worden getrokken.



Voor deze situatie komt dit overeen met een wachttijd van 3.5 [uur] voor de tweede boot-bak combinatie. Dit levert een productieverlies ten gevolge van het opstarten van het proces van :

$$\frac{3.5 \text{ [uur]} \cdot 1000 \text{ [ton / cyclus]}}{10 \text{ [uur / cyclus]}} = 350 \text{ [ton]}$$

De productie gedurende de 6 weken wordt dan gelijk aan $1747200 \text{ [ton]} - 350 \text{ [ton]} = 1746850 \text{ [ton]}$. Dit komt overeen met de uitkomst van de simulaties met BakSim. Deze zelfde berekening kan uitgevoerd worden voor 3 en 4 bakken. Daarbij geldt voor de tweede bak zoals reeds berekend een vertraging van 3.5 [uur] voordat deze aan zijn cyclus kan beginnen voor de derde bak is dat 7 [uur] en voor de vierde bak 10,5 [uur].

Daaruit volgt, dat bij 3 bakken de totale productie gelijk is aan :

$$2620800 \text{ [ton]} - \frac{(3,5 \text{ [uur]} + 7 \text{ [uur]}) \cdot 1000 \text{ [ton / cyclus]}}{10 \text{ [uur / cyclus]}} = 2619750 \text{ [ton]}$$

en bij 4 bakken :

$$3494400 \text{ [ton]} - \frac{(3,5 \text{ [uur]} + 7 \text{ [uur]} + 10,5 \text{ [uur]}) \cdot 1000 \text{ [ton / cyclus]}}{10 \text{ [uur / cyclus]}} = 3492300 \text{ [ton]}$$

Bij een situatie van 5 bakken wordt het een ander geval, want dan wordt het losstation het knelpunt van het proces en heeft het aantal bakken geen invloed meer.

Naast deze toetsen zijn er nog twee uitgevoerd. Bij deze twee is de huidige berekeningsmethode zo aangepast, dat er rekening gehouden is met de gevolgen van het opstart-effect. Hierdoor moeten de antwoorden van de beide berekeningsmethoden overeenkomen.

Uit onderstaande tabel volgt, dat voor beide berekeningsmethoden de totale productie over de 6 weken gelijk zijn. Verder blijkt uit de spreiding (σ) van de totale productie, dat voor elke simulatie dezelfde productie wordt berekend. Dit moet, omdat de invoer bestaat uit deterministische waarden.

Voor wat betreft de weekproductie zit er een nihil verschil tussen de beide berekeningsmethoden. Dit is het gevolg van het feit, dat het simulatiemodel rekening houdt met de spreiding van de weekproductie. Deze spreiding ontstaat, doordat bijvoorbeeld de ene week 2 en de andere week 3 bakken worden geleegd. In de huidige berekeningsmethode wordt daar geen rekening mee gehouden.

AANNAMEN			RESULTATEN								
Materieel-inzet			Capaciteit			Huidige berekeningsmeth.		m.b.v. BakSim			
laadstation	boot-bak	losstations	laden	transport	lossen	weekproductie	totale productie	weekproductie	totale productie		
combinaties			[ton/uur]	[ton/bak]	[ton/uur]	[ton/week]	[ton]	[ton/week]	[ton]		
1	2	1	200	1000	250	14467	85000	14470	691	85000	8
1	4	1	333	1000	500	35333	212000	35350	2438	212000	0
Tijden :		toets 1	toets 2	Vaartijden :		toets 1	toets 2				
duur van een simulatie		6 [weken]	6 [weken]	varen met volle bak		8:15 [uur]	5:45 [uur]				
aantal simulaties		100	100	varen met lege bak		6:15 [uur]	6:15 [uur]				

Tabel 5-9 : Aannamen en resultaten van de deterministische testen.

Conclusie : Het simulatiemodel levert de juiste resultaten bij het invoeren van een deterministisch scenario.

5.7.3 Toetsing aan de praktijk

Bij het toetsen van het model aan praktijksituaties is gebruik gemaakt van de beschikbare gegevens van het werk in Kertih. Hieruit zijn twee scenario's opgesteld en gesimuleerd. Het eerste scenario beschrijft het transport van de tetrapods dat gedurende de periode van 11 juni 1995 t/m 21 juli 1995 in Kertih heeft plaats gevonden. Het tweede scenario beschrijft het steentransport zoals dat in de periode van 21 mei 1995 t/m 19 juni 1995 in Kertih heeft plaatsgevonden. Voor beide scenario's is gebruik gemaakt van de gerapporteerde gegevens uit het 'Final Report' van het werk. Verdere gegevens van deze praktijk-test zijn opgenomen in hoofdstuk 7 (model toetsing aan de praktijk).

6. VERDELINGSONDERZOEK

6.1 ALGEMEEN

Bij het toepassen van het simulatiemodel moet gestreefd worden naar een simulatie, waarmee de werkelijkheid zo goed mogelijk wordt beschreven. Daarom is het van groot belang, dat de invoergegevens de praktijk zo goed mogelijk beschrijven. Daarom moeten er aan diverse invoervariabelen verdelingen worden toegekend.

Welke verdeling aan de betreffende variabelen moet worden toegekend wordt in dit hoofdstuk beschreven.

Als eerste is nagegaan, wat er in de literatuur bekend is van de betreffende variabelen. Daarna is met behulp van de beschikbare data, van het werk Kertih in Maleisië (literatuur 3), onderzocht welke verdelingen het gedrag, tijdens dat werk, van die variabelen het best beschrijft.

6.2 LITERATUURSTUDIE NAAR GEBRUIKELIJKE TYPE KANSVERDELINGEN

Het doel van de literatuurstudie was ten eerste, het nagaan in welke sector verdelingen gebruikt worden, welke relevant zijn voor dit onderzoek en ten tweede, welke verdelingen voor een bepaalde variabele wordt aangenomen.

De literatuurstudie bestond, naast het bestuderen van literatuur, uit gesprekken met personen uit de transport en logistiek sector. Uit deze literatuurstudie volgde, dat alleen bij het ontwerp van havens en scheepvaartwegen verdelingen worden toegepast, welke relevant zijn voor dit onderzoek. Verder is gebleken, dat voor circulaire processen als die van het bakkentransport geen literatuur beschikbaar is.

Bij het ontwerpen van havens en scheepvaartwegen is het gebruikelijk om te rekenen met tussen-aankomsttijd verdelingen, en service-tijd verdelingen van de schepen.

In het simulatiemodel, BakSim, worden de tussen-aankomsttijden van de bakken zelf berekend waardoor alleen de verdelingen van de service tijd relevant zijn voor dit onderzoek.

Uit het rapport 'Port Expansion Shanghai' (literatuur 11) zijn twee voorbeelden gehaald. Het eerste geeft het ontwerp van een kolen- en erts-terminal. Omdat het lossen van de kolen en erts een recht toe recht aan proces is, wordt hiervoor een Erlang-K verdeling met $K=2$ aangenomen. Het tweede voorbeeld beschrijft het proces van een container-terminal. Hierbij is aangenomen dat de verdeling van de service tijd beschreven wordt door een Erlang-K verdeling met $K=5$. In het rapport is niet beschreven op grond van wat deze aannamen van verdelingen zijn gedaan. Echter worden de verdelingen in de praktijk, bij het ontwerp van havens en scheepvaartwegen, wel toegepast.

6.3 VERDELING VAN DE VAARTIJDEN

Uit de literatuur blijkt, dat van de verdeling voor de vaartijden weinig bekend is. Bij het ontwerpen van havens en scheepvaartwegen wordt aangenomen dat vaartijden constant of uniform zijn. Uit een nader onderzoek blijkt, dat de vaartijden over het algemeen normaal verdeeld mogen worden verondersteld. De spreiding van de verdeling wordt hoofdzakelijk bepaald door de vaarafstand en de vaarcondities.

Bij het ontwerp van havens en scheepvaartwegen worden de 'staarten' van de normale verdelingen gezien als onwaarschijnlijke gebeurtenissen waardoor ze hun nut verliezen. Dit is de reden waarom vanuit dat vakgebied aangeraden wordt om voor de vaartijden constante waarden of uniforme verdelingen aan te nemen. Met behulp van een data-onderzoek is onderzocht of

Bij het data-onderzoek voor de verdeling van de vaartijden is gebruik gemaakt van gegevens afkomstig van de werken Kertih. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de daadwerkelijke vaartijden niet in de data staan vermeld.

Om toch een uitspraak te kunnen doen van de verdeling van de vaartijden, zijn de data als volgt verwerkt. Met behulp van de cyclustijden van de bakken en de laad- en lostijden is een schatting gemaakt van de vaartijden. Deze bestaan niet 100% uit vaartijden, omdat de wachttijden van de bakken in de cyclustijden zijn opgenomen. Omdat van de wachttijden geen specifieke gegevens bekend zijn, is gekozen, om uit de dataset de gegevens van de periode met de hoogste weekproductie (bij een gelijk blijvend aantal bakken) te analyseren. In deze periode is te verwachten, dat de wachttijden minimaal zijn, waardoor deze bij het bepalen van de vaartijdverdeling verwaarloosd mogen worden.

Bij het verwerken van vaartijd gegevens moet altijd rekening worden gehouden met het feit, dat een schipper vaart zal minderen als deze in het vooruitzicht heeft, dat hij moet wachten.

Deze keuze van de schipper wordt bepaald door het lagere brandstof verbruik en de vermindering van slijtage. Desondanks komt het schip toch op tijd op de gewenste locatie.

Hierdoor zijn de vaartijden in de data niet altijd 100% te scheiden van de wachttijden.

CONCLUSIE :

Uit de literatuur blijkt, dat voor de vaartijden in de berekeningen over het algemeen uniforme verdelingen of constante waarden worden toegepast.

Uit het hiervoor beschreven data onderzoek blijkt, dat de verdelingen van de vaartijden min of meer normaal verdeeld zijn. Echter moeten deze normale verdelingen begrensd worden, om onwaarschijnlijke vaarsnelheden te voorkomen.

6.4 VERDELING VAN DE BAKVULLINGSGRAAD

Bij het onderzoek naar de verdeling van de netto getransporteerde lading van de bakken (=bakvulling) is gebruik gemaakt van de gegevens van het werk in Kertih en het Ketelmeer (literatuur 2 & 3).

Uit de dataset van het werk in Kertih bleek, dat de bakken regelmatig met meerdere materiaal soorten (steen gradaties) werden geladen. De verschillende materiaal soorten moeten tijdens het transport gescheiden blijven, waardoor verlies aan bakvulling ontstaat. Andere verliezen zijn ontstaan, door bijvoorbeeld 'restladingen' (bv. kapotte tetrapod en kleine stenen zie Foto 3) die niet direct zijn gelost, maar enkele cycli op de bakken zijn blijven liggen.

Verder is uit de data gebleken, dat het materiaalsoort invloed heeft op de verdeling van de bakvulling. Andere zaken waarvan de verdeling van de bakvulling afhankelijk is zijn het type bak, de weersinvloeden, de golven, deining (golfhoogte, golfsteilheid), en de geldende veiligheidseisen (in hoeverre deze worden nageleefd) met betrekking tot het laden (vb. Maximale laadhoogte).

6.4.1.1 verdeling van de bakvullingsgraad bij betonelementen. (TETRAPODS)

De bakvulling van de tetrapods is nauwkeurig gerapporteerd, omdat met de tetrapods zorgvuldig moet worden omgesprongen. De tetrapods werden netjes op de bak geplaatst in nagenoeg vaste rijen, zoals is weergegeven in Foto 2.

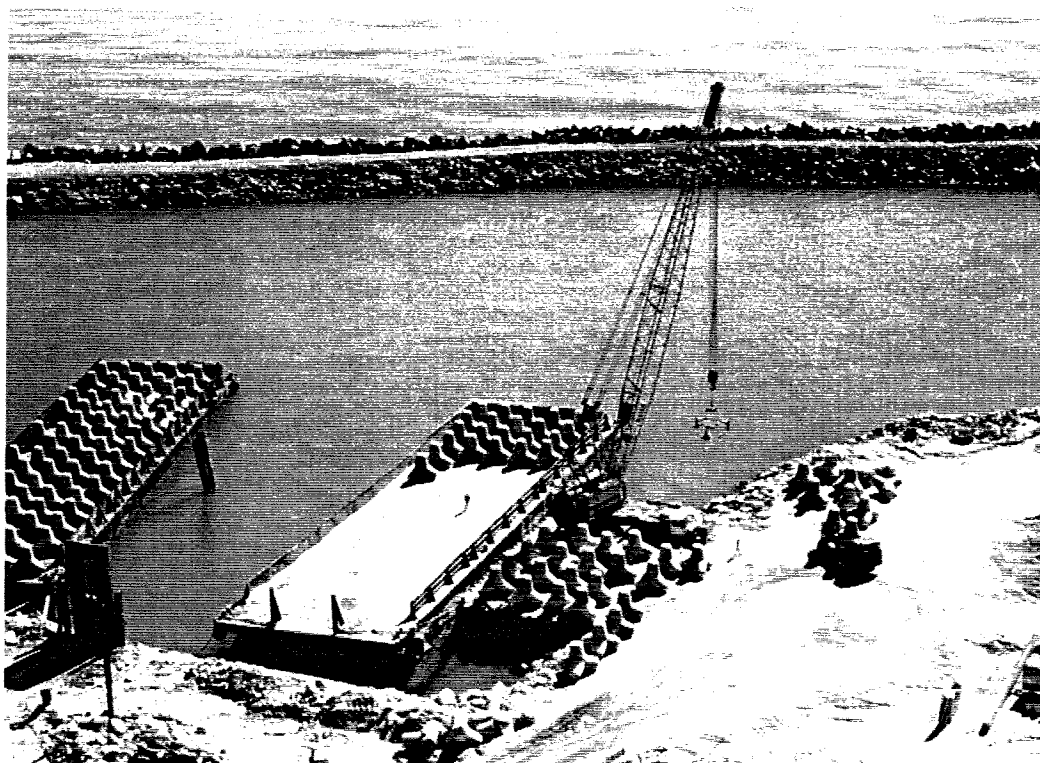
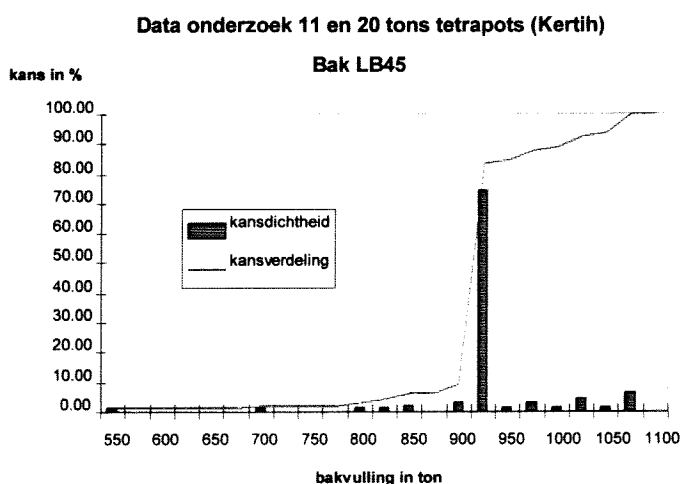


Foto 2 : Het laden van tetrapods op een bak in de werkhaven.

Uit het data onderzoek volgt, dat de bakvulling per bak nagenoeg constant is voor de gehele periode. De verdeling van de bakvulling van de bak LB45 is nadere onderzocht (zie Grafiek 6-1). Hieruit volgt, dat voor bak LB45 74,5% van de ladingen een constante waarde (925 [ton]) heeft. Uit de tabel en de Grafiek 6-1 valt af te lezen dat 16,3% groter en 9,2% kleiner is dan deze constante waarde.

De oorzaken van de grotere bakvulling (16,3%) moeten gezocht worden in het verschil van de geladen tetrapods. In dit geval zijn tetrapods van 11 of 20 ton getransporteerd. Van de vervoerde tetrapods met de bak LB45 bestond 89,5% uit 11 ton en 10,5% uit 20 ton tetrapods. Uit nader onderzoek blijkt, dat bij nagenoeg alle transporten van 20 ton tetrapods, de bakvulling boven de 950 ton lag.

De lagere waarden van de bakvulling zijn onder andere veroorzaakt door beschadigde tetrapods (restladingen).



Lading	aantal	%	cum. %
550	1	1.02	1.02
575	0	0.00	1.02
600	0	0.00	1.02
625	0	0.00	1.02
650	0	0.00	1.02
675	0	0.00	1.02
700	1	1.02	2.04
725	0	0.00	2.04
750	0	0.00	2.04
775	0	0.00	2.04
800	1	1.02	3.06
825	1	1.02	4.08
850	2	2.04	6.12
875	0	0.00	6.12
900	3	3.06	9.18
925	73	74.49	83.67
950	1	1.02	84.69
975	3	3.06	87.76
1000	1	1.02	88.78
1025	4	4.08	92.86
1050	1	1.02	93.88
1075	6	6.12	100.00
1100	0	0.00	100.00
1125	0	0.00	100.00
	98 st.	100 %	

Grafiek 6-1 :Gegevens van het laden van tetrapods.

CONCLUSIE :

Uit dit onderzoek mag geconcludeerd worden, dat bij transport van tetrapods voor de verdeling van de bakvulling een constante waarde moet worden aangehouden. Hebben we echter met meerdere soorten (maten) tetrapods te maken, dan moet nader onderzocht worden, welke gevolgen dat heeft voor de verdeling van de bakvulling.

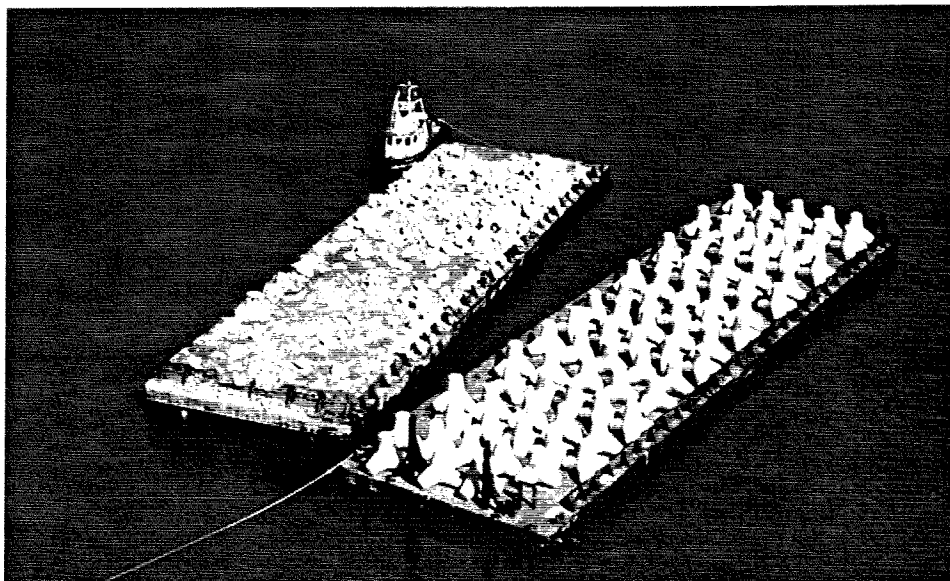


Foto 3 : Geladen bak met tetrapods en een geloste bak met stenen (restlading).

6.4.1.2 verdeling van de bakvullingsgraad bij stenen

Uit de analyse van de dataset van het werk Kertih is gebleken, dat tijdens de transporten de bakken met meerdere steen-gradaties werden geladen. Hierdoor is geen reëel overzicht te verkrijgen in de verdeling voor de bakvulling per steen-gradatie.

Verder is gebleken, dat ten gevolge van het laden van meerdere steen-gradaties op één bak de bakvulling afneemt. Daardoor is te verwachten, dat de kansdichtheidsverdeling een staart naar de linker kant heeft (lagere waarden).

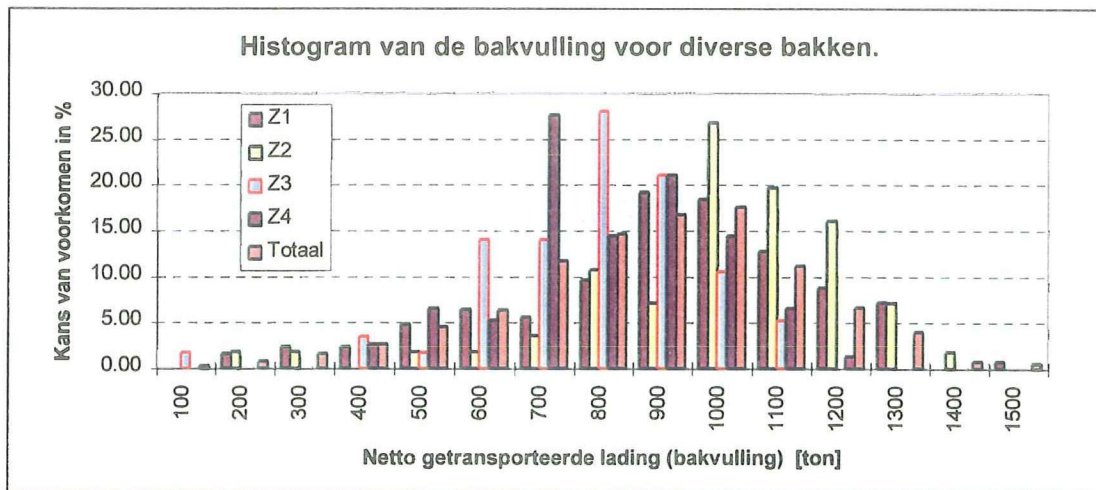
Om een overzicht te verkrijgen is de data gesorteerd per bak (zie Grafiek 6-2). Uit deze grafiek blijkt, dat de verdeling van de bakvulling per bak min of meer overeen komt met een normale verdeling, als we de extra staart naar links (lage waarden) verwaarlozen. Dit is verantwoord omdat deze staart, zoals reeds beschreven, voor een deel het gevolg is van het transporteren van verschillende steen-gradaties met één bak.

Verder is gebleken, dat de spreiding van de verdeling van de bakvulling afhankelijk is van de afmeting van de stenen.

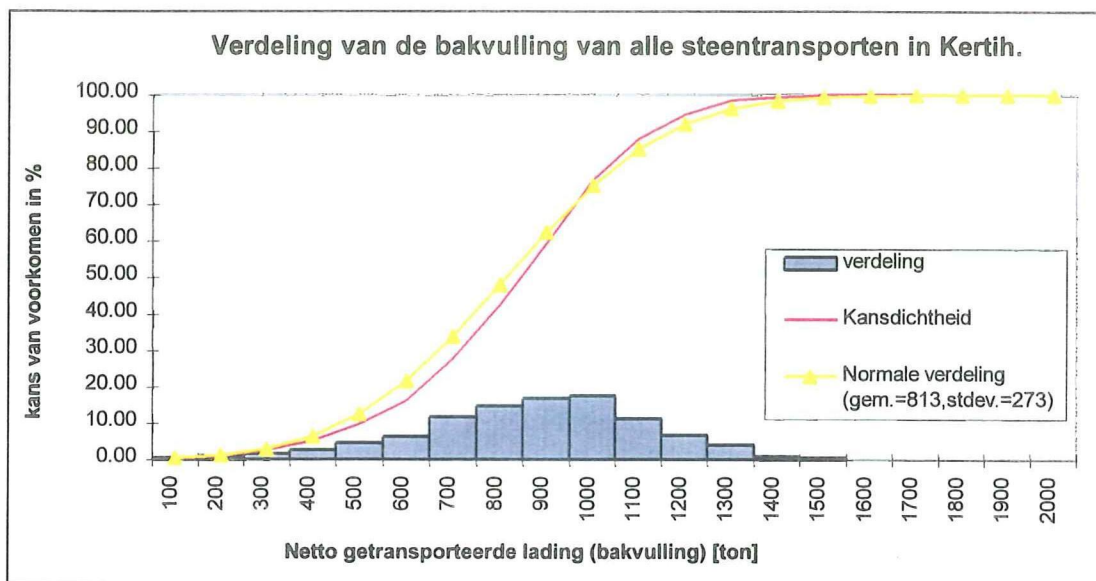
Verwacht mag worden dat de spreiding van de verdeling van de bakvulling afneemt bij grotere stenen, omdat bij grote stenen (> 5 ton) nagenoeg dezelfde situatie ontstaat als bij tetrapods.

Bak nummer	Z1	Z2	Z3	Z4	totaal
gemiddelde [ton]	857	927	723	725	813
standaard afwijking [ton]	258	289	227	271	273
variatie coëfficiënt	0.30	0.31	0.31	0.37	0.34

Tabel 6-1: Statistische gegevens horende bij Grafiek 6-2.



Grafiek 6-2 : Histogram van de netto getransporteerde lading (bakvulling) van diverse bakken.



Grafiek 6-3 : Verdeling van de bakvulling van alle steentransporten in Kertih.

CONCLUSIE :

Worden de bakken met één steen-gradatie geladen dan mag aangenomen worden, dat de verdeling van de bakvulling benaderd kan worden met een normale verdeling.

Verder is gebleken, dat de spreiding van de verdeling van de bakvulling afhankelijk is van de afmetingen van de stenen.

Worden de steen-gradaties door elkaar vervoerd, net als in het geval bij Kertih, dan moet nader onderzocht worden welke verdeling de bakvulling het best beschrijft. Voor het geval in Kertih komt dit overeen met een normale verdeling zie Grafiek 6-3.

6.4.2 Verdeling van de bakvullingsgraad bij klei/veen materiaal

Bij de aanleg van het baggerspecie-depot in het ketelmeer is voor het transport van baggerspecie gebruik gemaakt van verdiepte bakken (zie Figuur 6-1) en duwbotten. De baggerspecie tijdens de bouw van het baggerspecie-depot, bestond uit een klei/veen mengsel. Uit een data analyse bleek, dat bij het Ketelmeer de geschreven bakvullingen veelal gelijk zijn aan de opgegeven beun-m³ van de 'verdiepte' bak. Deze hoeveelheden kunnen als m³ bakvulling worden aangehouden, omdat de bakken gemiddeld zonder kop werden geladen. Dit laatste heeft te maken met de samenhang van het te verwerken materiaal. Bij het omrekenen van volume naar gewicht moet rekening gehouden worden met het soortelijk gewicht (kg/m³), waarmee gerekend wordt. Het geladen gewicht is altijd groter en maximaal gelijk aan het gewicht van het netto materiaal. Dit komt, omdat de poriën gevuld kunnen zijn met water.

Om een conclusie te kunnen trekken, zal eerst de verdeling van de soortelijke massa van het gebaggerde materiaal moeten worden bepaald. In het geval bij het Ketelmeer moet onderscheid gemaakt worden tussen twee baggerwerkzaamheden. Namelijk het 'bulk' baggerwerk en het 'opschonen'.

Het 'bulk' baggerwerk bestond uit het wegbaggeren van enkele meters klei/veen materiaal. Het 'opschonen' bestond uit het wegbaggeren van de achtergebleven baggerspecie en het vlak maken ten behoeve van het opleveren van het gebaggerde vak.

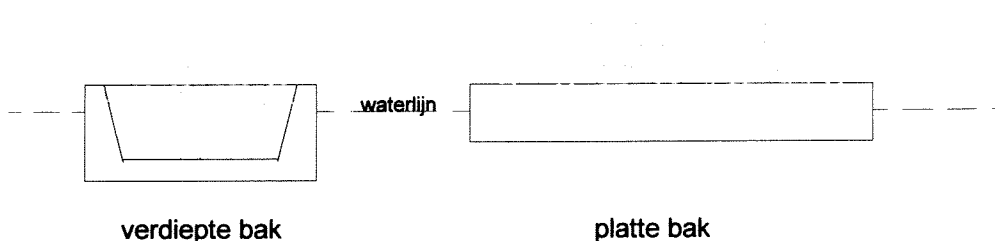
Voor beide situaties mag verwacht worden, dat de verdeling van het soortelijk gewicht normaal verdeeld is. Alleen zal het gemiddelde bij het 'bulk' materiaal hoger zijn dan bij het 'opschoon' materiaal. Verder is te verwachten, dat de spreiding bij het 'opschoon' materiaal groter zal zijn dan bij het 'bulk' materiaal.

CONCLUSIE :

Bij het verwerken van een klei/veen mengsel mag aangenomen worden, dat de verdeling van de bakvulling, net als bij stenen, normaal verdeeld is.

6.4.3 Invloed van het baktype op de bakvullingsgraad

Bij het onderzoek naar de invloed van het baktype is onderscheid gemaakt tussen twee baktypen namelijk : platte- en 'verdiepte' bakken. In onderstaande Figuur 6-1 is van beide typen een dwarsdoorsnede getekend.



Figuur 6-1 : Dwarsdoorsnede van een met stenen geladen platte bak en een 'verdiepte' bak.

Het verschil tussen een platte of een verdiepte bak is, dat een verdiepte bak over het algemeen een relatief constant laadvolume heeft en een platte bak niet. Dit heeft te maken met het feit, dat het te laden beun bij een verdiepte bak een vaste maat heeft. Terwijl bij het laden van een platte bak het visuele aspect een rol mee gaat spelen. (bv. hoe hoog laad ik?).

In dit onderzoek zal niet verder worden ingegaan op de keuze welke bakken wanneer worden toegepast.

Hierdoor mag verwacht worden, dat de spreiding van de bakvulling bij een verdiepte bak relatief kleiner is dan bij een platte bak.

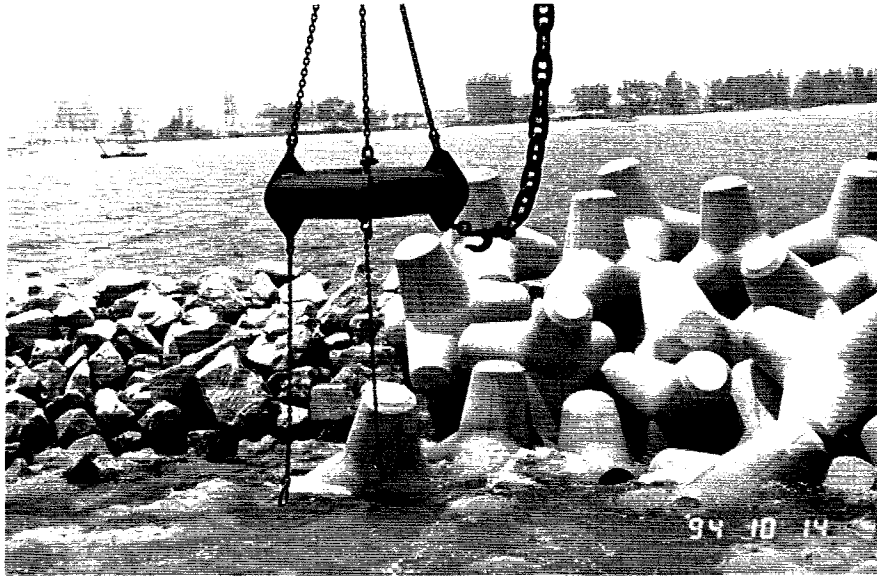


Foto 4 : Het plaatsen van de tetrapods.

6.5 VERDELINGEN T.B.V. DE BRUTO LAADTIJD EN/OF -PRODUCTIE

In de literatuur wordt niet gesproken over de laadtijd maar over de servicetijd, welke overeenkomt met de netto laadtijd. De servicetijd wordt in het simulatiemodel niet specifiek genoemd, maar bestaat uit de som van de laad en verletijden, indien aangenomen wordt, dat de verletten optreden tijdens het laadproces.

Voor het bepalen van de laadtijd-verdeling mag aangenomen worden, dat deze voor stenen gelijk is aan die voor de kolen van het voorbeeld in paragraaf 6.2. Dit mag worden verondersteld, omdat het laden en lossen van stenen, net als bij kolen een recht toe recht aan proces is. Hieruit blijkt, dat bij het verwerken van stenen verwacht mag worden, dat de netto laadtijd overeenkomt met een Erlang-K verdeling met een K-waarde van ca. 2.

Voor het verwerken van tetrapods en stenen > 5 ton geldt net als bij containers, dat ze stuk voor stuk worden geladen en gelost. Hierdoor mag worden aangenomen, dat de verdeling van de servicetijd bij tetrapods en stenen > 5 ton overeenkomt met de verdeling voor de containers uit het voorbeeld in paragraaf 6.2. Verwacht mag worden, dat de netto laadtijd min of meer normaal verdeeld is. Bij het verwerken van de data is onderscheid gemaakt tussen het laden van beton elementen (Tetrapods) en stenen.

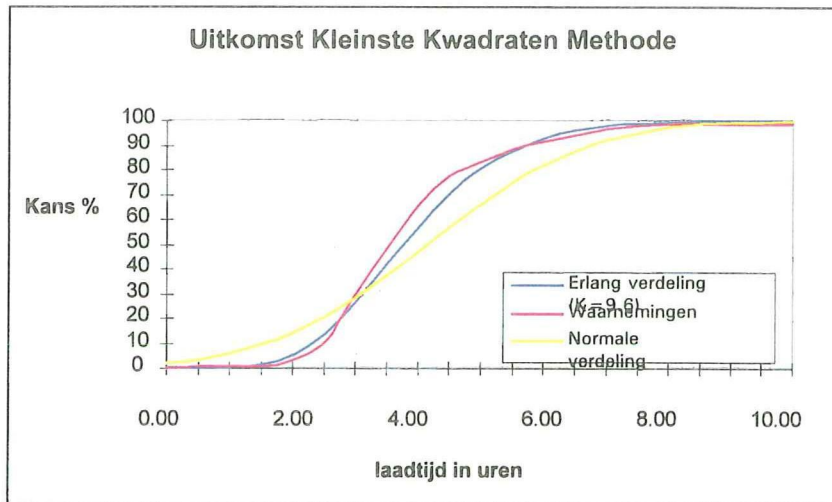
6.5.1.1 Verdeling van de bruto laadtijd van tetrapods

Voor het bepalen van de verdeling voor de netto laadtijd van beton elementen is gebruik gemaakt van een dataset afkomstig van het werk in Kertih.

Deze dataset bevat netto laadtijden van de tetrapods en bestaat uit 254 waarnemingen.

Alle tetrapods zijn stuk voor stuk met een kraan op een bak geplaatst. Bij het verwerken van de data is er geen onderscheid gemaakt tussen 11 en 20 ton tetrapods, omdat de metingen van beide afmetingen overeenkwamen.

Uit een analyse naar verdelingstype (m.b.v. de kleinste kwadraten methode) blijkt, dat een Erlang-K verdeling met een K-waarde van ± 10 en $\mu = 4.16$ [uur] ($\sigma = 1.32$ [uur]) redelijk overeenkomt met de meetgegevens. In onderstaande Grafiek 6-4 zijn de resultaten weergegeven.



Grafiek 6-4 : Resultaat van de fit naar de verdeling van de netto laadtijd.

6.5.1.2 Verdeling van de netto laadproductie van stenen.

Bij het onderzoek naar de verdeling van de netto laadproductie bij stenen is onderscheid gemaakt in de steen-gradatie (bed, core, 0.5-2 ton, 2-5 ton, 5-9 ton). Het bed materiaal bestaat uit stenen van 50 tot 150 mm en het core materiaal bestaat uit stenen van 5 - 500 kg.

De beschikbare dataset bestaat uit 410 waarnemingen van netto laadproducties voor stenen, zie Tabel 6-2.

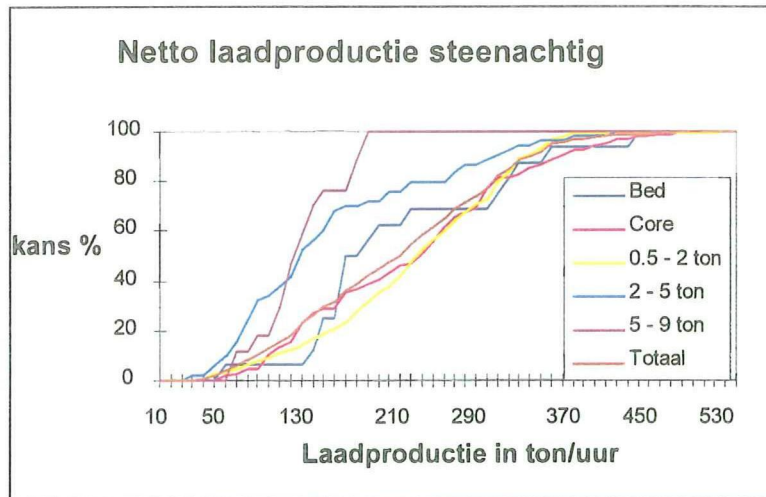
Netto laadproductie van breuksteen in Kertih.

Materiaal	aantal waarnemingen	%	cum.%	Statistische gegevens	
				$\mu_{n,laad}$ (ton/uur)	$\sigma_{n,laad}$ (ton/uur)
Bed	16	3.90	3.90	225	100
Core	104	25.37	29.27	240	100
0.5 - 2 ton	220	53.66	82.93	240	90
2 - 5 ton	53	12.93	95.85	165	95
5 - 9 ton	17	4.15	100.00	135	40
totaal	410	100		225	95

Tabel 6-2 : Verdeling van de waarnemingen van de netto laadproductie per steen gradatie.

Voor het laden van de diverse steen gradaties zijn meerdere laadmethoden toegepast. Bij het laden van stenen tot 2 ton is gebruik gemaakt van vrachtwagens, loaders en hydraulische kranen met poliep grijpers. Wat resulteert in een gemiddelde laadsnelheid van ca. 240 [ton/uur]. Voor het laden van stenen groter dan 5 ton is gebruik gemaakt van draadkranen, wat resulteert in een gemiddelde laadsnelheid van ca. 135 [ton/uur]. Bij stenen van 2 tot 5 ton zijn zowel hydraulische kranen als draadkranen toegepast en bedraagt de gemiddelde laadsnelheid ca. 165 [ton/uur]. Voor het transport van de stenen over het water is gebruik gemaakt van een zij-storter, een onderlosser en 5 platte bakken. Verder is bekend, dat bij het laden van de zijstorter en de onderlosser, de vrachtwagens en loaders niet direct op het schip konden lossen. Bij de platte bakken was dit wel mogelijk.

Voor het bepalen van de verdeling van de netto laadproductie per steen-gradatie is de dataset in onderstaande Grafiek 6-5 uitgezet.



Grafiek 6-5 : Grafische weergave van de data van de netto laadproductie voor stenen.

Zoals uit de dataset blijkt, is van de netto laadproductie van het bedding materiaal weinig bekend, dit blijkt tevens uit het grillige verloop in de grafiek.

Voor de netto laadproductie van zowel stenen van 5 tot 500 kg (core), als stenen van 0.5 tot 2 ton, blijkt een Erlang-K verdeling met een K-waarde van ca. 6 ($\mu \approx 240$ [ton/uur], $\sigma \approx 95$ [ton/uur]) een redelijke aanname. Omdat de verdeling voor de beide gradaties nagenoeg gelijk zijn, mag worden geconcludeerd, dat de steengradatie hier nagenoeg geen invloed heeft op de verdeling van de netto laadproductie.

Bij de analyse naar de verdeling van de netto laadproductie voor stenen van 2-5 ton blijkt, dat deze redelijk overeenkomt met een Erlang-K verdeling met een K-waarde van ca. 2.

Voor stenen groter dan 5 ton blijkt, dat ondanks het geringe aantal metingen, de verdeling zich ongeveer gelijk gedraagt als die voor de stenen van 2-5 ton.

Worden alle gegevens van de dataset bij elkaar genomen, dan ontstaat zoals weergegeven in Grafiek 6-5 een normale verdeling.

CONCLUSIE

Er mag geconcludeerd worden, dat voor de netto laadproductie een Erlang-K verdeling mag worden aangenomen. Dit blijkt voor zowel betonelementen als voor breuksteen een verantwoorde aanname. De waarde van de parameter K is echter afhankelijk van het te laden materiaal en/of het laadmaterieel.

Het laadmaterieel bepaalt naast de laadcapaciteit ook de in rekening te brengen verlettijden. Voor de laadcapaciteit is het verantwoord een normale verdeling aan te nemen met een variatie coëfficiënt van ca. 0,3. Voor de in rekening te brengen verlettijd is de keuze van de verdeling afhankelijk van het type laadmaterieel.

Zoals reeds uit de probabilistische analyse is gebleken, blijkt ook hier dat het onverantwoord is om voor de laadcapaciteit met constante waarden (deterministisch) te rekenen.

6.6 VERDELING TEN BEHOEVE VAN DE BRUTO LOSTIJD EN -PRODUCTIE

Net als bij de netto laadproductie wordt ook de netto losproductie niet direct in de literatuur vermeld. In de literatuur is de lostijd opgenomen in de servicetijd, waarvoor over het algemeen een Erlang-K verdeling wordt aangenomen.

Met behulp van de dataset van het werk in Kertih is onderzocht, welke aanname voor de verdeling van de netto losproductie reëel is. De data van de netto lostijden van de stenen bleken weeggemiddelden te zijn. Hierdoor is een belangrijk deel van de informatie verloren gegaan.

Voor de extreem korte- en lange lostijden zijn niet meer te achterhalen. Deze extremen bepalen echter wel een deel van het karakter van de verdeling. Voor de tetrapods bestaat de data wel uit netto lostijden per bak. Omdat verwacht mag worden dat, net als bij de netto laadproductie, het materiaalsoort weinig invloed heeft op de verdeling van de netto productie, is alleen de data van de tetrapods in dit onderzoek verwerkt.

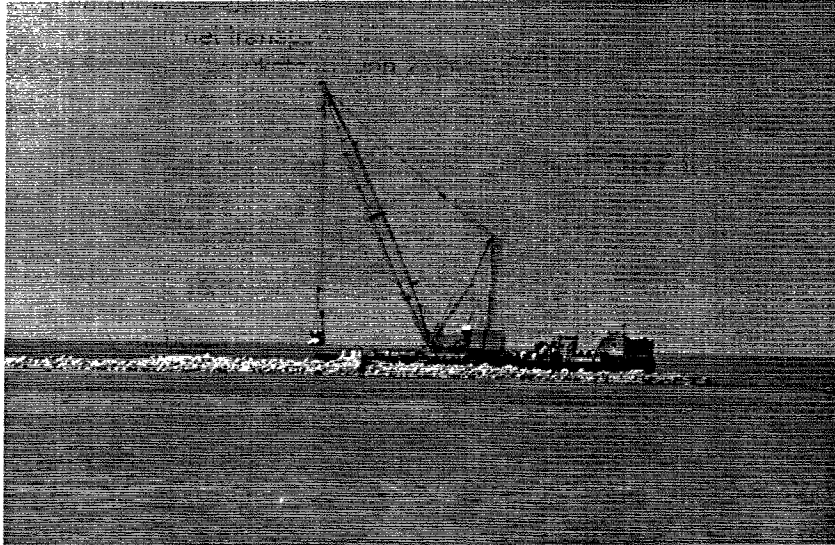
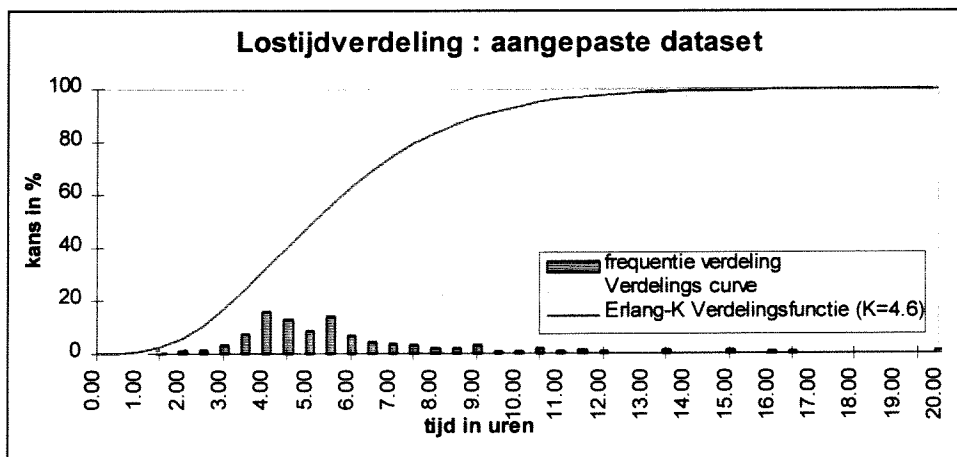


Foto 5 : Het lossen en plaatsen van de tetrapods.

In het Final Report van het werk Kertih zijn (literatuur 3), tabellen weergegeven van de 'tetrapod placing cycle times'. De grafieken van deze cyclustijden hebben allemaal min of meer dezelfde vorm en kunnen benaderd worden met een Erlang-K verdeling.

Na het verwerken van de dataset van de netto lostijd blijkt, dat deze het best beschreven kan worden met een Erlang-K verdeling met een K-waarde van ± 3 en $\mu \approx 7.25$ [uur]. In de dataset zijn enkele zeer extreem lange lostijden opgenomen. Bij het simuleren zullen deze extremen over het algemeen worden verwaarloosd.

Daarom zijn de lostijden > 20 uur uit de dataset verwijderd. Hierdoor ontstaat een curve welke opnieuw het best beschreven kan worden met een Erlang-K verdeling. Alleen heeft de verdeling een hogere K-waarde ($K = \pm 4$ tot 5 en $\mu \approx 5,7$ [uur] ($\sigma \approx 2,7$ [uur])).



Grafiek 6-6 : Resultaat van de fit naar de verdeling van de netto lostijd.

CONCLUSIE :

Er mag geconcludeerd worden, dat de netto losproductie net als voor de netto laadproductie beschreven mag worden door een Erlang-K verdeling.

Uit de analyse blijkt verder, dat de loscapaciteit min of meer normaal verdeeld is, en dat de extreem lange lostijden worden veroorzaakt door verletten, die optreden tijdens het lossen.

De K-waarde van de Erlang-verdeling wordt voor een groot deel bepaald door de verletten van het losstation. Hierdoor wordt de netto losproductie hoofdzakelijk bepaald door het type materieel en de ervaring van de operators.

Hebben we te maken met personeel, die de lading vast en/of los moet maken, dan hangt de losproductie mede af van de werksnelheid van dat personeel. Daarom is het belangrijk om al het personeel gemotiveerd te houden. Als laatste mogen de gestelde veiligheidseisen niet worden verwaarloosd. Deze kunnen soms grote invloed hebben op de loscapaciteit.

6.7 VERDELING VAN DE VERLETTIJDEN

De verletten waarvan een verdeling in het simulatiemodel kunnen worden opgenomen zijn (zie modellering van de verletten) :

- externverlet ($D_{extern} = D_{weer} + D_{hogerhand} + D_{interferentie} + D_{onvoorzien}$).
- laadverlet ($D_{laad} = D_{r\&o} + D_{kade} + D_{onvoorzien}$),
- losverlet ($D_{los} = D_{r\&o} + D_{positioneren} + D_{survey} + D_{onvoorzien}$),
- bakverlet ($D_{bak} = D_{r\&o} + D_{onvoorzien}$),
- bootverlet ($D_{boot} = D_{r\&o} + D_{onvoorzien}$).

Voor elke verlet geldt, dat deze is opgebouwd uit diverse verletten. Voor deze verletten moeten verdelingen worden aangenomen. Vanuit de praktijk zijn er geen specifieke gegevens van de verletten beschikbaar. Om toch een uitspraak van de verletverdelingen te kunnen doen is tijdens dit onderzoek uitgegaan van de volgende veronderstelling.

Veronderstelling : Heeft een proces een regelmatig karakter, oftewel, is de duur van het proces elke keer nagenoeg gelijk, dan mag aangenomen worden dat deze normaal verdeeld is. Heeft een proces een onregelmatig karakter, dan mag aangenomen worden dat deze een extreme waarde-verdeling heeft. Afhankelijk van het karakter, kan deze maximaal uitgroeien tot een negatief exponentieel verloop.

Bij deze veronderstelling is de mogelijkheid van een discrete verdeling buiten beschouwing gelaten. Toch is met behulp van deze veronderstelling onderzoek gedaan naar de invloed van de sommatie op de uiteindelijke verdeling.

Uit dit onderzoek volgt, dat met de aangenomen veronderstelling nagenoeg alle uitkomsten het best beschreven kunnen worden door een Erlang-K verdeling, oftewel een 'Gammaverdeling' met $\alpha > 0$, $\alpha \in N$, zie bijlage D. De verlet-verdelingen variëren hierbij van een exponentiële verdeling (K=1) tot een normale verdeling (K>10). De betreffende K-waarde zal per situatie moeten worden bepaald.



7. Model-toetsing aan de praktijk

Het hoofddoel van een transportberekening is, dat de praktijk zo nauwkeurig mogelijk wordt beschreven. Om dit te toetsen zijn twee fasen van het werk in Kertih berekend met het nieuw ontwikkelde simulatieprogramma BakSim.

Het eerste scenario beschrijft het transport van de tetrapods (van 11 juni 1995 t/m 21 juli 1995) en de tweede het transport van de breuksteen (van 21 mei 1995 t/m 19 juni 1995).

7.1 BESCHRIJVING VAN HET TETRAPOD TRANSPORT IN KERTIH.

De bouwfase beschrijft de periode van 11 juni 1995 tot en met 21 juli 1995 (41 dagen \approx 6 weken). Voor de fase zijn diverse gegevens bekend (zie Tabel 7-1). Gedurende deze periode werd 7 dagen per week en 24 uur per dag gewerkt. Met behulp van de beschikbare data (literatuur 3) zijn de waarden voor de invoervariabelen bepaald. Verder blijkt uit de data, dat voor de simulatieperiode de productie gemiddeld ca. 12.800 [ton/week] bedroeg.

Beschrijving van het proces :

In de werkhaven was 1 laadstation beschikbaar voor het laden van de tetrapods. De tetrapods werden echter alleen overdag geladen (ca. 15uur/dag). Uit de data volgt dat er gemiddeld 2,7 bakken per dag werden geladen. Voor de verdeling van de netto productie van het laadstation wordt verwezen naar het verdelingsonderzoek. De capaciteit wordt benaderd door een Erlang-K verdeling met $\mu = 216$ ton/uur (≈ 900 [ton/bak] / 4.16 [uur]) en $K=10$. Er wordt verder aangenomen dat het laadstation 100% van de werktijd kan laden.

Voor het lossen van de tetrapods was 1 losstation beschikbaar (de Barbeel). Voor het bepalen van de loscapaciteit is gebruik gemaakt van de resultaten van het verdelingsonderzoek en de specifieke gegevens uit Tabel 7-1. Voor de loscapaciteit is een normale verdeling aangenomen met $\mu = 193$ ton/uur (6653 [stuks] * 11.28 [ton/stuk] / 388.5 [operationele uren]) en $\sigma = 60$ ton/uur.

GTH uur	productie [ton/week]	Productietijd uur	efficiëntie	verletten in % tov GTH				
				plan	weer & golf	reparatie	wachttijd	overig
984	12800	388.5	39.5%	16.8%	0.1%	4.6%	34.3%	4.7%

Tabel 7-1 : Data van de Barbeel gedurende de periode van 11 juni t/m 21 juli 1995 in Kertih.

Voor het verlet van het losstation zijn de gegevens uit Tabel 7-1 als volgt omgerekend.
reparatie & overig :

- $(4.6\% + 4.7\%) * 168$ [uur / wk] = 15.6 [uur / week]
- $\frac{1136$ [st / wk]
 80 [st / bak] = 14.2 [bakken / week]
- $\frac{15.6$ [uur / week]
 14.2 [bakken / week] = 1.1 [uur / bak]

Het extern verlet is als volgt berekend :
plan & weer :

- $(16.8\% + 0.1\%) * 168$ [uur / week] = 28.4 [uur / week]

Voor het transport van de tetrapods waren er drie bakken beschikbaar. Het verlet van de bakken was bij het transport van de tetrapods nihil, waardoor deze mogen worden verwaarloosd. Nagenoeg alle bakken werden geladen met 80 tetrapods van 11.28 [ton/stuk] (≈ 900 [ton/bak]). Verder is voor de simulatie aangenomen, dat de boten aan de bakken gekoppeld blijven. Voor de vaartijden zijn de volgende waarden aangenomen (zie Tabel 7-2).

VAARTRAJECT		TIJD
van	naar	verdeling(waarden)
lege bak set	laadstation	uniform (0.5,0.75)
laadstation	wachtrij voor boten bij laadstation	constant (0)
wachtrij voor boten bij lege bak set	laadstation	uniform (0.1,0.25)
wachtrij voor boten bij laadstation	laadstation	constant (0)
laadstation	volle bak set	uniform (1.4,1.9)
volle bak set	wachtrij voor boten bij volle bak set	constant (0)
wachtrij voor boten bij losstation	volle bak set	uniform (0.1,0.25)
wachtrij voor boten bij volle bak set	volle bak set	constant (0)
volle bak set	losstation	uniform (0.5,0.75)
losstation	wachtrij voor boten bij losstation	constant (0)
wachtrij voor boten bij losstation	losstation	constant (0)
wachtrij voor boten bij volle bak set	losstation	uniform (0.1,0.25)
losstation	legebakset	uniform (1,1.5)
lege bak set	wachtrij voor boten bij lege bak set	constant (0)
wachtrij voor boten bij lege bak set	lege bak set	constant (0)
wachtrij voor boten bij laadstation	lege bak set	uniform (0.1,0.25)
wachtrij voor boten bij losstation	wachtrij voor boten bij laadstation	constant (2)
wachtrij voor boten bij volle bak set	wachtrij voor boten bij laadstation	constant (2)
wachtrij voor boten bij laadstation	wachtrij voor boten bij volle bak set	constant (2)
wachtrij voor boten bij laadstation	wachtrij voor boten bij losstation	constant (2)
wachtrij voor boten bij volle bak set	wachtrij voor boten bij lege bak set	constant (2)
wachtrij voor boten bij losstation	wachtrij voor boten bij lege bak set	constant (2)
wachtrij voor boten bij lege bak set	wachtrij voor boten bij volle bak set	constant (2)
wachtrij voor boten bij lege bak set	wachtrij voor boten bij losstation	constant (2)

Tabel 7-2 : Vaartijden van het werk in Kertih.

7.2 BEREKENINGEN VAN HET TETRAPOD TRANSPORT IN KERTIH

7.2.1 Analytische berekening

De analytische berekening is uitgevoerd aan de hand van de huidige berekeningswijze (zie hoofdstuk 3). Hieruit volgen de netto week producties van de deelprocessen. De analytische berekening is opgenomen in bijlage H.

Deelproces	netto weekproductie	
laadproces	22019	[ton/week]
losproces	21770	[ton/week]
transportproces	33650	[ton/week]

Tabel 7-3 : Resultaten van de analytische berekening van tetrapod transport.

Hieruit volgt, dat het losproces het knelpunt is van het bakcentransportproces. De nominale weekproductie is dus gelijk aan de netto weekproductie van het losproces.

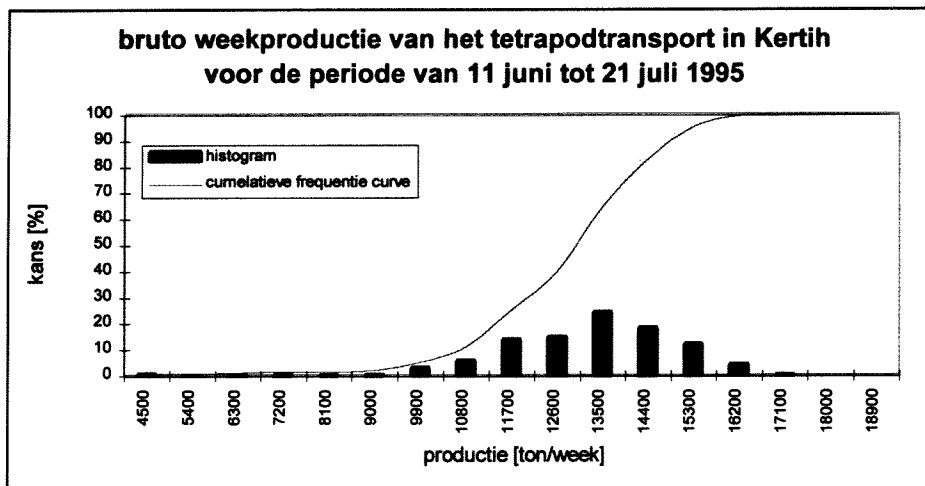
$$P_{\text{nominaal}} = 21770 \text{ [ton / week]}$$

7.2.2 Simulatie berekening

Deze berekening is uitgevoerd met het nieuw ontwikkelde computersimulatieprogramma BakSim (zie hoofdstuk 5). Aan de hand van de beschikbare gegevens zijn de gemiddelde waarden voor de betreffende handelingen aangenomen (zie beschrijving van het scenario). Bij het aannemen van de verdelingstypen voor de stochastische variabelen is gebruik gemaakt van het verdelingsonderzoek (zie hoofdstuk 6).

Bij het simuleren met behulp van BakSim worden de wachttijden in berekening van de weekproductie opgenomen. Daarom noemen we deze productie de bruto weekproductie.

Na het simuleren ziet de verdeling van de bruto weekproductie er als volgt uit, zie Grafiek 7-1 ($\mu = 13188$ [ton/wk], $\sigma = 1910$ [ton/wk]). De uitvoer van de simulaties zijn opgenomen in bijlage H.



Grafiek 7-1 : Berekende bruto weekproductie van het tetrapod transport met behulp van Baksim.

7.3 VERGELIJKING MET DE WERKELIJKHEID

Naast het vergelijken van de resultaten van BakSim met de praktijk, is tevens het verschil met de analytische berekening bepaald. Bij dit vergelijk zijn zowel de weekproductie als de productie over de gehele bouwfase met elkaar vergeleken. Verder zijn de verletten en efficiëntie van het losstation vergeleken.

	Weekproductie			verwerkte hoeveelheid tijdens de periode			extern verlet	losverlet	wachttijd	efficiëntie
	μ [ton/week]	%	σ [ton/week]	μ [ton]	%	σ [ton]				
Werkelijk	12800	100		76876	100		16.9	9.3	34.3	39.5
analytische berekening	21770	170		130620	170		16.9	9.3	0	73.8
resultaten uit simulaties	13188	103	1910	79136	103	4387	16.9	9.3	31.5	42.3

Tabel 7-4 : Resultaten van de berekeningen en de werkelijke gegevens.

Uit Tabel 7-4 volgt, dat met de huidige berekeningsmethode de productie 70% te hoog wordt ingeschat tijdens de begrotingsfase. Uit de antwoorden van de simulaties met BakSim blijkt, dat de productie slechts 3% afwijkt van de werkelijkheid. Deze 3% ligt binnen de marge van de onzekerheid van de aangenomen verdelingen.

Doordat de waarden van het extern verlet en het losverlet voor beide berekeningen ingevoerd moeten worden komen deze exact overeen met de werkelijkheid.

In de huidige berekeningswijze wordt geen rekening gehouden met wachttijden. Uit de simulaties volgt dat het losstation 31.5% van de tijd heeft liggen wachten op een nieuwe bak. In werkelijkheid was dat 34.3% van de tijd. Het verschil (2.8%) valt net als de productie binnen de marges van de aangenomen verdelingen (en de modellering van de verletten). De verschillen in de efficiëntie van het losstation komen overeen met de verschillen in de wachttijden.

Conclusie :

Uit deze vergelijking met een praktijk situatie blijkt dat het simulatiemodel BakSim de werkelijkheid binnen de marges nadert.

7.4 'OPTIMALISATIE' VAN HET TETRAPOD-TRANSPORT

Uit de resultaten van BakSim volgt, dat het laadstation de hoogste bezettingsgraad heeft. Binnen de bezettingsgraad valt ook de periode dat het materieel niet werkzaam is gedurende de nachten. Om de productie te verhogen moet de productie van het laadstation worden verhoogd. Dit kan op de volgende manieren :

- het laadstation langer door laten werken,
- het inzetten van een extra bak waardoor de wachttijd van het losstation af zal nemen.

Beide aanpassingen kosten geld. Met behulp van het simulatiemodel BakSim kan de goedkoopste oplossing worden bepaald als de extra kosten van de aanpassing bekend zijn.

OPLOSSING A : Dit betekent, dat het laadstation 24 uur per dag productief wordt. Stel dat de kosten van het laadmaterieel per uur gelijk blijven, oftewel het laadstation kost :

$$\frac{35000 \text{ gld}}{15 \text{ uur}} \cdot 24 \text{ uur} = 56000 \text{ gld} / \text{week}$$

Resultaat (zie Tabel 7-5) :

Met deze wijziging neemt de bruto weekproductie toe met $(19276-13188=6088 \text{ [ton/week]})$ 46%. Met behulp van de aangenomen kostenverdeling blijkt deze aanpassing economisch verantwoord te zijn. De globale verwerkingsprijs [kosten/ton] neemt af van 12,89 [gld/ton] tot 9,91 [gld/ton]. Uit de resultaten van de simulatie blijkt, dat het losstation nu de hoogste bezettingsgraad heeft. Dat wil zeggen dat het losproces nu het knelpunt-proces is.

OPLOSSING B : Door het inzetten van een extra bak mag aangenomen worden, dat het laadstation 3 bakken per dag laadt in plaats van 2,7 bakken. Hiervoor is de discrete invoer van het laadverlet zo aangepast, dat na 3 bakken het laadstation 9 uur in verlet valt.

Resultaat (zie Tabel 7-5) :

Het gevolg van deze aanpassing is, dat de productie toeneemt met $(15812-13188=2624 \text{ [ton/week]})$ 20%. Met behulp van de aangenomen kosten blijkt dat deze aanpassing economisch verantwoord is. De globale verwerkingsprijs [kosten/ton] neemt af van 12,89 [gld/ton] tot 12,33 [gld/ton]. Ondanks de extra bak en de aanname dat er 3 bakken per dag geladen worden blijft de wachttijd van het losmaterieel hoog $(16.5\% = 27.7 \text{ [uur/week]})$.

	Bruto weekproductie				verwerkingskosten	
	μ [ton/week]	%	σ [ton/week]	var.coëff. $V=\sigma/\mu$	[gld/ton]	%
Start scenario	13188	100	1910	0.14	12.89	100
Oplossing A	19276	146	2273	0.12	9.91	77
Oplossing B	15812	120	2047	0.13	12.33	96

Tabel 7-5 : Resultaten van de optimalisatie van het tetrapod transport in Kertih.

Conclusie :

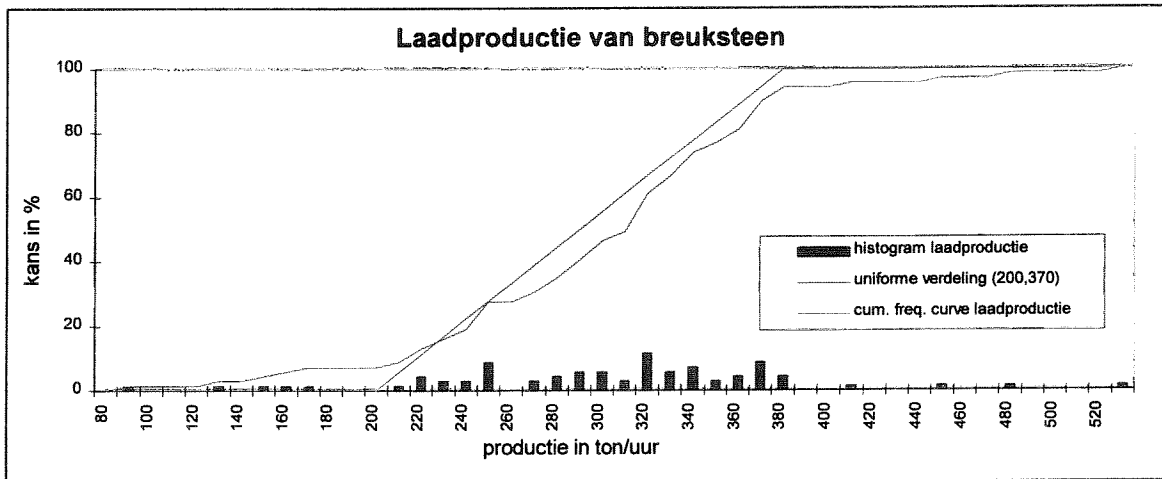
Om de productie van het tetrapod-transport in Kertih te verhogen, had het laadstation 24 uur per dag beschikbaar moeten zijn voor het laden van de tetrapods. Dit is de meest efficiënte oplossing (zie Tabel 7-5), omdat naast een productie toename van 46%, de onzekerheid (variatie coëfficiënt) van de weekproductie met 2% is afgenomen en de verwerkingskosten met 23 % zijn gedaald. Uit de Tabel 7-5 volgt, dat ook oplossing B voor alle drie de punten winst boekt maar dat deze winst lager is dan die van oplossing A.

Welke oplossing gekozen had moeten worden hangt af per situatie, want niet alle mogelijke oplossingen zijn ook altijd uitvoerbaar.

7.5 BESCHRIJVING VAN HET BREUKSTEEN TRANSPORT IN KERTIH

De bouwfase beschrijft de periode van 21 mei 1995 tot en met 19 juni 1995 (30 dagen ≈ 4 weken). Gedurende deze periode werd 7 dagen per week en 24 uur per dag gewerkt. Met behulp van de beschikbare data (literatuur 3) zijn de waarden voor de invoer variabelen bepaald. Verder blijkt uit de data, dat voor de bouwfase de productie gemiddeld ca. 14286 [ton/week] bedroeg.

In de werkhaven was 1 laadstation beschikbaar voor het laden van de bakken. De netto laadproductie is in Grafiek 7-2 weergegeven. Uit de grafiek blijkt, dat de netto laadproductie benaderd kan worden door een uniforme verdeling tussen 200 en 370 [ton/uur]. Verder mag het verlet van het laadmaterieel, op de bakwisseltijd na, worden verwaarloosd. Dit is een verantwoorde aanname, omdat bij storingen van het laadmaterieel direct ander materieel in de werkhaven voorhanden was, waardoor eventuele verstoringen werden opgevangen.



Grafiek 7-2 : Netto laadproductie van breuksteen.

Op de loslocatie waren 2 losstations beschikbaar (Zeepaard en Long Reach) voor het lossen van de breuksteen. Voor het bepalen van de capaciteit van de losstations is gebruik gemaakt van de beschikbare data, zie Tabel 7-6.

Naam	GTH uur	productie ton/week	Productietijd uur	efficiëntie	verletten in % tov GTH				
					plan	weer & golf	reparatie	wachttijd	overig
Zeepaard	720	4769	303.2	42.1%	0.5%	1.3%	42.7%	5.9%	7.5%
Long Reach	1032	9517	751.5	72.8%	5.4%	0%	4.0%	9.1%	8.7%

Tabel 7-6 : Data van de Zeepaard en Long Reach gedurende de periode van 21 mei t/m 19 juni 1995 in Kertih.

Voor de verletten van de losstations zijn de volgende berekeningen uitgevoerd.

Extern verlet : Zoals uit de tabel is af te lezen hebben de losstations voor zowel het plan- als het weerverlet andere waarden. Aangenomen zijn de waarden van de Zeepaard, omdat deze het laagst zijn. Het verschil is voor de Long Reach verwerkt in het 'losverlet'.

plan & weer :

- $(0.5\% + 1.3\%) * 168 \text{ [uur / wk]} = 3.0 \text{ [uur / week]}$

reparatie & overig :

Zeepaard :

- $(42.7\% + 7.5\%) * 168 \text{ [uur / wk]} = 84.3 \text{ [uur / week]}$

- $\frac{4769 \text{ [ton / wk]}}{813 \text{ [ton / bak]}} = 5.9 \text{ [bakken / week]}$

- $\frac{84.3 \text{ [uur / wk]}}{5.9 \text{ [bakken / wk]}} = 14.3 \text{ [uur / bak]}$

Long Reach :

- $(5.4\% - (0.5\% + 1.3\%) + 4.0\% + 8.7\%) * 168 \text{ [uur / wk]} = 27.4 \text{ [uur / week]}$

- $\frac{9517 \text{ [ton / wk]}}{813 \text{ [ton / bak]}} = 11.7 \text{ [bakken / week]}$

- $\frac{27.4 \text{ [uur / wk]}}{11.7 \text{ [bakken / wk]}} = 2.3 \text{ [uur / bak]}$

Gedurende de periode waren vier bakken beschikbaar voor het transport van de breuksteen. Het verlet van de bakken was nihil waardoor deze zijn verwaarloosd. Voor de verdeling van de netto getransporteerde lading (= bakvulling) wordt verwezen naar het verdelingsonderzoek. Hieruit volgt, dat de bakvulling benaderd wordt door een normale verdeling met $\mu = 813 \text{ [ton]}$ en $\sigma = 273 \text{ [ton]}$. Verder is aangenomen, dat de boten aan de bakken gekoppeld blijven en dat de vaartijden overeen komen met die van het vorige scenario (zie Tabel 7-2).

7.6 BEREKENINGEN VAN HET BREUKSTEEN TRANSPORT IN KERTIH

7.6.1 Analytische berekening

De analytische berekening is uitgevoerd aan de hand van de huidige berekeningswijze (zie hoofdstuk 3). Hieruit volgen de volgende netto weekproducties van de deelprocessen. De analytische berekening is opgenomen in bijlage H.

Deelproces	Netto weekproductie	
laadproces	45870	[ton/week]
losproces	15656	[ton/week]
transportproces	27822	[ton/week]

Tabel 7-7 : Resultaten van de analytische berekening van het breuksteen transport.

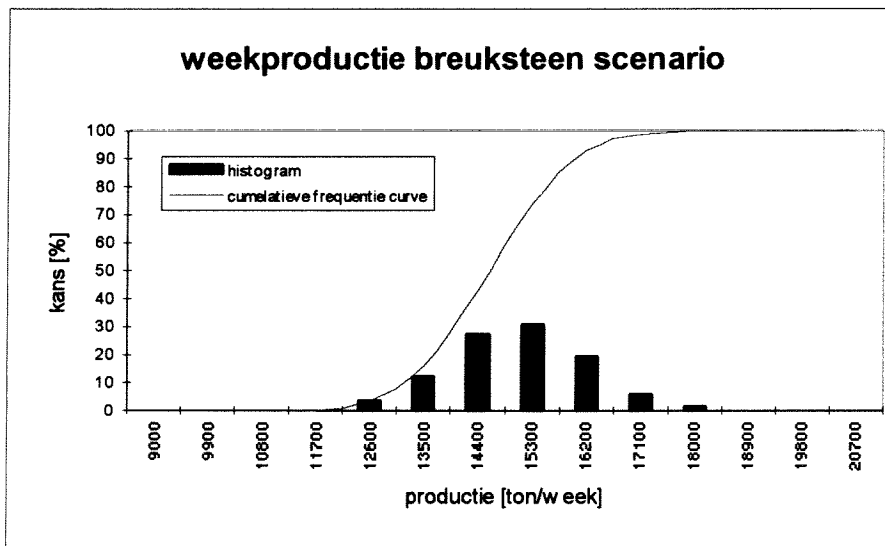
Hieruit volgt, dat het losproces het knelpunt is van het bakcentransportproces. De nominale weekproductie is dus gelijk aan de netto weekproductie van het losproces.

$$P_{\text{nominaal}} = 15656 \text{ [ton / week]}$$

6.9.2 Simulatie berekening

Deze berekening is uitgevoerd met het nieuw ontwikkelde computersimulatieprogramma BakSim (zie hoofdstuk 5). Aan de hand van de beschikbare gegevens zijn de gemiddelde waarden voor de betreffende handelingen aangenomen (zie beschrijving van het scenario). Bij het aannemen van de verdelingstypen voor de stochastische variabelen is gebruik gemaakt van het verdelingsonderzoek (zie hoofdstuk 6).

Na het simuleren ziet de verdeling van de bruto weekproductie er als volgt uit (zie Grafiek 7-3). ($\mu = 14591$ [ton/wk], $\sigma = 1096$ [ton/wk]). De resultaten van de simulaties zijn opgenomen in bijlage H.



Grafiek 7-3 : Berekende weekproductie van het breuksteen transport met behulp van BakSim.

6.10 VERGELIJKING MET DE WERKELIJKHEID

Naast het vergelijken van de resultaten van BakSim met de praktijk, is tevens het verschil met de analytische berekening bepaald. Bij dit vergelijk zijn zowel de weekproductie als de productie over de 'bouwfase' met elkaar vergeleken. Verder zijn de verletten en de efficiëntie van de losstations vergeleken.

	Weekproductie			verwerkte hoeveelheid tijdens de periode			extern verlet	losverlet	wachttijd	efficiëntie
	μ [ton/week]	%	σ [ton/week]	μ [ton]	%	σ [ton]				
Werkelijk	14286	100		57144	100		1.8	31.45	7.5	59.25
analytische berekening	15656	110		62624	110		1.8	31.45	0	66.75
resultaten uit simulaties	14591	102	1096	58174	102	1601	1.8	31.45	10.5	56.25

Tabel 7-8 : Resultaten van de berekeningen en de werkelijke gegevens.

Uit Tabel 7-8 volgt, dat met de huidige berekeningsmethode de productie 10% te hoog wordt ingeschat tijdens de begrotingsfase. Uit de antwoorden van de simulaties met BakSim blijkt, dat de productie slechts 2% afwijkt van de werkelijkheid. Deze 2% ligt binnen de marge van de onzekerheid van de aangenomen verdelingen.

Doordat de waarden van het extern verlet en het losverlet voor beide berekeningen ingevoerd moeten worden komen deze exact overeen met de werkelijkheid.

In de huidige berekeningswijze wordt geen rekening gehouden met wachttijden. Uit de simulaties volgt dat het losstation 10.5% van de tijd heeft liggen wachten op een nieuwe bak. In werkelijkheid was dat 7.5% van de tijd. Het verschil (3%) is toe te schrijven aan de aangenomen verlet verdelingen en de modellering van de verletten. De verschillen in de efficiëntie van het losstation komen overeen met de verschillen in de wachttijden.

Conclusie :

Uit deze vergelijking met een praktijk situatie blijkt dat het simulatiemodel BakSim de werkelijkheid binnen de marges benadert.

6.11 'OPTIMALISATIE' VAN HET BREUKSTEEN-TRANSPORT :

Uit de resultaten van de simulaties met BakSim volgt, dat het losproces de hoogste bezettingsgraad heeft. Om de productie van het proces te verhogen, moet de bezettingsgraad van de losstations nog verder toenemen. Dit is mogelijk, omdat het losmaterieel nog 10,5% van de tijd ligt te wachten op een bak. De volgende aanpassingen zijn mogelijk :

- a) laadcapaciteit verhogen,
- b) het inzetten van extra boot-bak combinaties.

Oplossing A : Deze oplossing valt af, omdat het laadproces al 64% van de tijd ligt te wachten. Extra laadcapaciteit levert in deze situatie alleen op dat de wachttijd van het laadstation toeneemt.

Oplossing B : Door het inzetten van extra boot-bak combinaties zal de lengte van de wachtrij met volgeladen bakken toenemen, waardoor de losstations ten alle tijden voorzien kunnen worden van een nieuwe bak. Ervan uitgaande dat een nieuwe bak even groot en even duur is als de andere bakken volgt uit de simulatie dat de weekproductie is toegenomen met (16093-14591= 1502 (ton/week) 10%. Met behulp van de globale verwerkingskosten blijkt, dat het werken met 4 bakken slechts (16,46-16,45=) 0,01[gld/ton] duurder is dan met 3 bakken.

	Bruto weekproductie				verwerkingskosten	
	μ [ton/week]	%	σ [ton/week]	var. coëff. $V=\sigma/\mu$	[gld/ton]	%
3 boot-bak combinaties	14591	100	1096	0.08	16.45	100
4 boot-bak combinaties	16096	110	1256	0.08	16.46	100
5 boot-bak combinaties	16136	111	1087	0.07	17.97	109

Tabel 7-9 : Resultaten van de optimalisatie van het steen transport in Kertih.

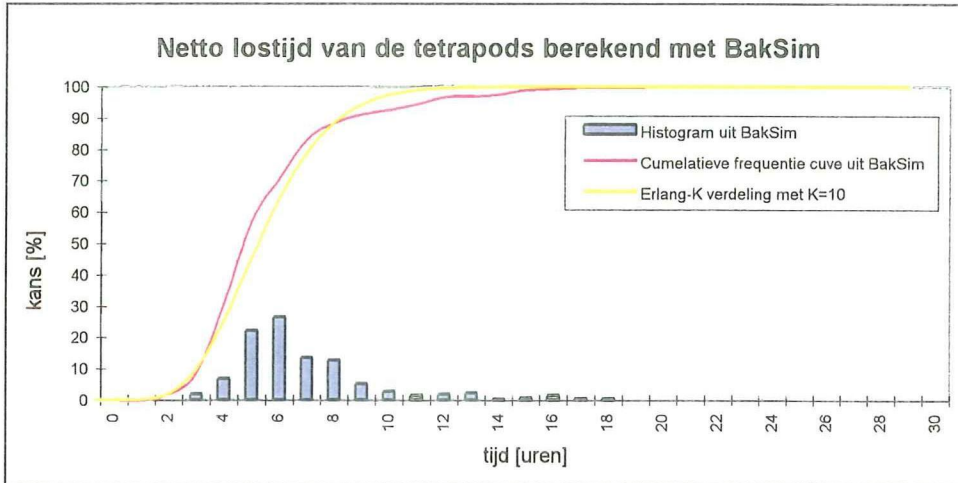
Conclusie :

Om de productie van het breuksteen transport te verhogen, hadden meer boot-bak combinaties moeten worden ingezet. Hierdoor neemt naast de productie ook de zekerheid van de productie toe. Het aantal in te zetten boot-bak combinaties moet bepaald worden aan de hand van de verhoging van productie, zekerheid en de verwerkingskosten. Is het echter niet noodzakelijk om de productie en zekerheid te verhogen, dan blijft de vraag of de aanpassing economisch gezien verantwoord is, ja / nee? Voor het beantwoorden van deze vraag spelen zaken als rente een belangrijke rol.

In dit geval moet de vraag beantwoord worden of het investeren van fl 1,50 per ton voor een lager risico (1%) verantwoord is.

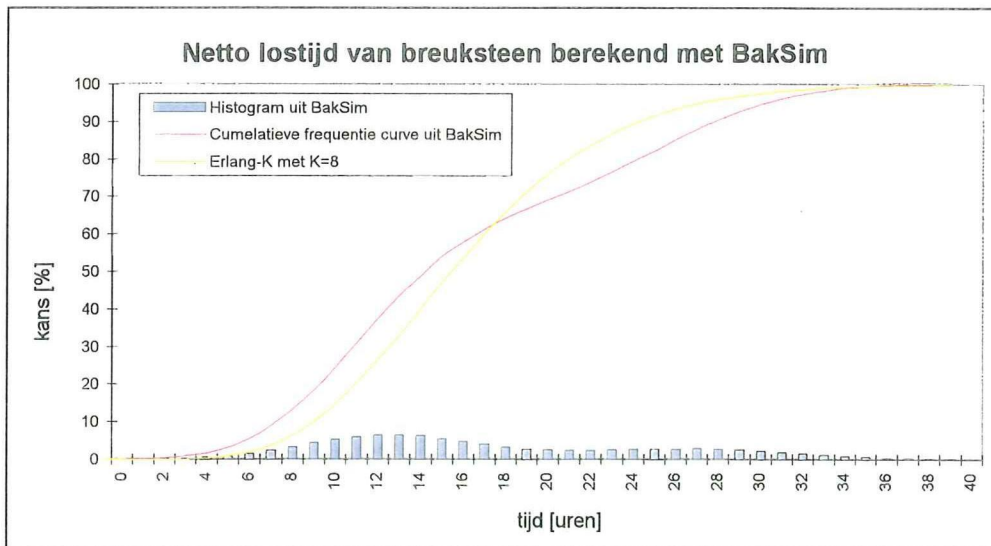
7.9 VERGELIJKING VAN DE BEREKENDE NETTO LOSTIJDEN

De verdeling van de netto lostijd van de tetrapods, uit de resultaten van BakSim, kan beschreven worden door een Erlang-K verdeling met $K=10$, zie Grafiek 7-4. Dit komt redelijk overeen met de resultaten van het verdelingsonderzoek. Alleen is de K-waarde hoger. Dit heeft te maken met de aangenomen verdelingen van de verletten en de modellering daarvan. Hierdoor is de spreiding van de netto lostijd bij de simulaties kleiner dan in werkelijkheid het geval is.



Grafiek 7-4 : Berekende netto lostijd-verdeling van de tetrapods met het simulatiemodel BakSim.

Voor de netto lostijd van de breuksteen geldt hetzelfde als bij de tetrapods. Verder is in Grafiek 7-5 goed te zien dat we te maken hebben met 2 losstations. Dit blijkt uit het twee toppige histogram.



Grafiek 7-5 : Berekende netto lostijd-verdeling van de breuksteen met het simulatiemodel BakSim.

Conclusie :

Bij het vergelijken van de verkregen netto lostijdverdeling uit het simulatiemodel BakSim met de verdeling van de praktijk (zie verdelingsonderzoek) blijkt, dat beide verdelingen door een Erlang-K verdeling kunnen worden benaderd. Alleen zijn de K-waarden uit BakSim hoger dan dat ze in werkelijkheid waren. Dit is het gevolg van de aangenomen verdelingen van de verletten en de modellering daarvan.

7.10 CONCLUSIE

Uit deze toets mag geconcludeerd worden, dat het simulatieprogramma BakSim voor wat betreft de productie de werkelijkheid benadert. Het verschil tussen de berekende en de werkelijke producties zijn dusdanig klein (1 tot 3%), dat deze binnen de marges van de aannamen vallen, en dus verwaarloosd mogen worden.

Doordat de verletten zijn opgenomen in de invoer blijven deze nagenoeg gelijk. Voor wat betreft de wachttijden ligt dat anders. De verkregen wachttijden van de losstations uit BakSim wijken in dit onderzoek ca. 3 % af van de werkelijke wachttijd. Hierbij geldt net als bij de producties, dat de verschillen binnen de marge van de aannamen van de verdelingen en de modellering van de verletten vallen.

Ook de verkregen netto lostijd-verdelingen komen redelijk overeen met de werkelijkheid (zie verdelingsonderzoek). De verkregen verdelingen met BakSim hebben alleen een iets hogere K-waarden, wat tot gevolg heeft dat de spreiding van de verdelingen kleiner is dan in werkelijkheid. Dit is het gevolg van de aangenomen verlet verdelingen en de modellering daarvan.

8. Simulatie onderzoek met behulp van BakSim

8.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek beschreven, dat is uitgevoerd met het ontwikkelde computerprogramma BakSim. Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de resultaten van de probabilistische analyse (zie hoofdstuk 3.3).

Het doel van dit onderzoek is :

- A. Het nagaan of het bakkentransportproces, zoals dat gemodelleerd is in het programma BakSim, overeenkomt met de verwachtingen van de probabilistische analyse. (zie hoofdstuk 3.3)
- B. Het verkrijgen van inzicht in het gedrag van de componenten binnen het bakkentransport- proces.
- C. Het bepalen hoe en in welke mate een bepaalde parameter, binnen het bakkentransport- proces, de gemiddelde weekproductie beïnvloedt.

Bij dit onderzoek is uitgegaan van een basis-scenario, welke beschreven is in paragraaf 8.2. Als eerste is dit scenario met behulp van de huidige berekeningswijze analytisch berekend (zie paragraaf 8.3). Daarna is het scenario met behulp van het computer programma BakSim gesimuleerd (zie paragraaf 8.4). Met behulp van het programma BakSim zijn de volgende onderzoeken uitgevoerd :

- 1. proces optimalisatie (productie & kosten) voor het gegeven basis-scenario,
- 2. Invloed van de spreiding van de verdelingen op de productie,
- 3. Risicoanalyse van de duur van het project.

8.2 BASIS-SCENARIO

Als basis-scenario is gekozen voor de bouw van een offshore golfbreker. Het scenario beschrijft een werk van 52 weken waarin 500.000 ton steen moet worden verwerkt. Tijdens de bouw wordt 24 uur per dag en 7 dagen per week gewerkt. Met behulp van platte bakken en sleepboten worden de stenen van een werkhaven naar de locatie bij de golfbreker getransporteerd. Voor de eenvoud is het verlet van de bakken en van de boten in het basis-scenario verwaarloosd.

In de werkhaven is één kade beschikbaar en is voldoende materieel aanwezig voor het laden van de bakken. Hierdoor mogen de verletten ten gevolge van reparatie en onderhoud van het laadmaterieel worden verwaarloosd. Verder wordt ervan uitgegaan, dat er voldoende voorraad in de werkhaven aanwezig is, waardoor de aanvoer van stenen geen oponthoud veroorzaakt. De enige vertraging, welke optreed bij het laadstation, is de tijd die nodig is om van bak te wisselen.

Op de loslocatie worden de bakken gelost door één losstation. Dit losstation bestaat uit een vaste kraan op een ponton. Het ponton kan zich zelf over kleine afstanden voortbewegen. Het losstation moet regelmatig worden onderhouden. Hiervoor moet rekening worden gehouden met een reparatiefactor van 13 [%]. Verder is er gemiddeld 1,0 [hr/bak] nodig voor de survey en het positioneren en 0,5 [uur/bak] voor het wisselen van bak.

Naast de genoemde verletten bij het betreffende materieel wordt het werk, ten gevolge van externe omstandigheden, gemiddeld 15 uur per week stilgelegd. Verdere specifieke gegevens voor het basis-scenario zijn in Tabel 8-1 weergegeven.

Basis-scenario				
Algemene invoer gegevens :				
File naam		basis.inp		
werkweek	[dagen]	7		
werkdag	[uren]	24		
simulatieduur	[weken]	52		
aantal simulaties		1000		
afroepvertraging	[uren]	0		
verletverwerking		1 (tijdens de productie)		
Materieel bezetting :				
		aantal	kosten per wk	
aantal laadstations		1	35.000	
aantal losstations		1	60.000	
aantal boten		2	17.000	
aantal bakken		2	8.000	
Productie gegevens :				
Laadprod.	[ton/noh]	normaal	$\mu = 60$ min = 40	$\sigma = 6$ max = 80
losproductie	[ton/noh]	normaal	$\mu = 80$ min = 30	$\sigma = 8$ max = 150
bakvulling	[ton/bak]	uniform	$\mu = 1200$ min = 1000	max = 1400
Verletten :				
laadverlet	[uur/bak]	constant	0.5	
losverlet	[uur/bak]	exp.	$\mu = 3.45$ min = 0	$\sigma = 3.45$ max = 48
bootverlet	[uur/bak]	constant	0	
bakverlet	[uur/bak]	constant	0	
externverlet	[uur/wk]	constant	16.8	
Vaartijd gegevens :				
	van	naar	verdeling	
	lege bak set	lege bak laad	uniform (0.25,0.75)	
	lege bak laad	wachtrij vol laad	constant (0)	
	wachtrij leeg laad	volle bak laad	constant (0.5)	
	wachtrij vol laad	volle bak laad	constant (0)	
	volle bak laad	volle bak set	uniform (1,1.5)	
	volle bak set	wachtrij vol los	constant (0)	
	wachtrij leeg los	volle bak set	constant (0.5)	
	wachtrij vol los	volle bak set	constant (0)	
	volle bak set	volle bak los	uniform (0.25,0.75)	
	volle bak los	wachtrij leeg los	constant (0)	
	wachtrij leeg los	lege bak los	constant (0)	
	wachtrij vol los	lege bak los	constant (0.5)	
	lege bak los	lege bak set	uniform (0.75,1.25)	
	lege bak set	wachtrij leeg laad	constant (0)	
	wachtrij leeglaad	lege bak set	constant (0)	
	wachtrij vol laad	lege bak set	constant (0.5)	
	wachtrij leeg los	wachtrij vol laad	uniform (0.5,1)	
	wachtrij vol los	wachtrij vol laad	uniform (0.5,1)	
	wachtrij vol laad	wachtrij vol los	uniform (0.5,1)	
	wachtrij vol laad	wachtrij leeg los	uniform (0.5,1)	
	wachtrij vol los	wachtrij leeg laad	uniform (0.5,1)	
	wachtrij leeg los	wachtrij leeg laad	uniform (0.5,1)	
	wachtrij leeglaad	wachtrij vol los	uniform (0.5,1)	
	wachtrij leeg laad	wachtrij leeg los	uniform (0.5,1)	

Tabel 8-1 : Beschrijving van het basis-scenario.

8.3 ANALYTISCHE BEREKENING

Aan de hand van de huidige berekeningswijze, zie hoofdstuk 3, is het basis-scenario analytisch berekend. De gehele berekening is opgenomen in bijlage K. Uit deze berekening volgt de nominale weekproductie, welke bepaald wordt door het knelpunt van het proces.

Berekening productie losstation :

$$GTH = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$GSH = GTH \cdot \left(\frac{100 - D_{plan}}{100} \right) = 168 \cdot \left(\frac{100 - 10}{100} \right) = 151.2 \text{ [uur / week]}$$

$$NSH = GSH \cdot \left(\frac{100 - D_{weer}}{100} \right) = 151.2 \cdot \left(\frac{100 - 0}{100} \right) = 151.2 \text{ [uur / week]}$$

$$NOH = \frac{NSH}{\left(\frac{100 + D_{rep\&ond} + D_{operationeel}}{100} \right)} = \frac{151.2}{\left(\frac{100 + 13 + 10}{100} \right)} = 122.9 \text{ [noh / week]}$$

$$P_{losstation} = NOH \cdot P_{capa.los} = 122.9 \cdot 80 = 9834 \text{ [ton / week]} = P_{n.los}$$

$$eff = \left(\frac{NOH}{GTH} \cdot 100 \right) = \left(\frac{122.9}{168} \cdot 100 \right) = 73.17 \text{ [%]}$$

Berekening productie laadstation :

$$GTH = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$GSH = GTH \cdot \left(\frac{100 - D_{plan}}{100} \right) = 168 \cdot \left(\frac{100 - 0}{100} \right) = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$NSH = GSH \cdot \left(\frac{100 - D_{weer}}{100} \right) = 168 \cdot \left(\frac{100 - 0}{100} \right) = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$NOH = \frac{NSH}{\left(\frac{100 + D_{rep\&ond} + D_{operationeel}}{100} \right)} = \frac{168}{\left(\frac{100 + 0 + 2.5}{100} \right)} = 163.9 \text{ [noh / week]}$$

$$P_{laadstation} = NOH \cdot P_{capa.laad} = 163.9 \cdot 60 = 9834 \text{ [ton / week]} = P_{n.laad}$$

$$eff = \left(\frac{NOH}{GTH} \cdot 100 \right) = \left(\frac{163.9}{168} \cdot 100 \right) = 97.56 \text{ [%]}$$

Berekening benodigde aantal bakken :

$$GTH = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$GSH = GTH \cdot \left(\frac{100 - D_{plan}}{100} \right) = 168 \cdot \left(\frac{100 - 0}{100} \right) = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$NSH = GSH \cdot \left(\frac{100 - D_{weer}}{100} \right) = 168 \cdot \left(\frac{100 - 0}{100} \right) = 168 \text{ [uur / week]}$$

$$NOH = \frac{NSH}{\left(\frac{100 + D_{rep\&ond} + D_{operationeel}}{100} \right)} = \frac{168}{\left(\frac{100 + 0 + 0}{100} \right)} = 168 \text{ [noh / week]}$$

$$T_{laad} = T_{afmeren} + \frac{Q_{bak}}{P_{capa.laad}} + T_{losgooien} = 0.25 + \frac{1200 \text{ [ton / bak]}}{60 \text{ [ton / noh]}} + 0.25 = 20.50 \text{ [uur / cyclus]}$$

$$T_{vaar} = \sum \text{vaartijden} = 0.50 + 1.75 + 0.50 + 1.50 = 4.25 \text{ [uur / cyclus]}$$

$$T_{los} = T_{afmeren} + \frac{Q_{bak}}{P_{capa.los}} + T_{losgooien} = 0.25 + \frac{1200 \text{ [ton / bak]}}{80 \text{ [ton / noh]}} + 0.25 = 15.50 \text{ [uur / cyclus]}$$

$$T_{cyclus\ bak} = T_{laad} + T_{vaar} + T_{los} = 4.25 + 20.5 + 15.50 = 40.25 \text{ [uur]}$$

$$P_{n.bak} = \frac{NOH}{T_{cyclus\ bak}} \cdot Q_{bak} = \frac{168}{40.25} \cdot 1200 = 5009 \text{ [ton / week]}$$

$$\text{Aantal bakken} = \frac{P_{n.los}}{P_{n.bak}} = \left\lfloor \frac{9834}{5009} \right\rfloor = 2 \text{ [bakken]}$$

Uit de analytische berekening blijkt, dat zowel het laad- als losstation het knelpunt van het proces kunnen zijn. Dit volgt uit het feit, dat de weekproducties (9834 [ton/wk]) gelijk zijn. Deze waarde wordt voor de rest van dit onderzoek de *nominale weekproductie* genoemd. Verder volgt uit de analytische berekening, dat er 2 bakken nodig zijn om de nominale weekproductie te kunnen halen.

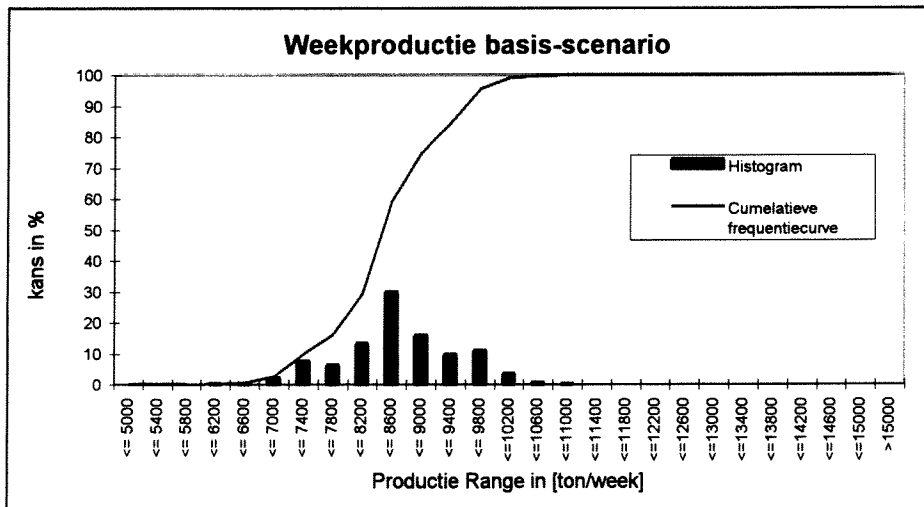
8.4 SIMULATIES VAN HET BASISSCENARIO.

Als eerste is het basis-scenario gesimuleerd. Doordat de netto laad- en losproductie nagenoeg gelijk zijn, is te verwachten dat de gemiddelde weekproductie lager is dan de nominale weekproductie. Deze verwachting is gebaseerd op de resultaten van de probabilistische analyse.

Uit de simulatie volgt, dat met de aangenomen materieel-inzet de benodigde productie niet kan worden gehaald. In Grafiek 8-1 zijn de berekende weekproducties van het basis-scenario grafisch weergegeven. De grafiek is opgebouwd uit 52000 waarnemingen (1000 simulaties van 52 weken). Uit deze grafiek blijkt dat de gemiddelde weekproductie 8538 [ton/wk] bedraagt (= 86,8% van $P_{\text{nominiaal}}$). Verder blijkt, dat tijdens de bouwfase van 52 weken, met de huidige materieel-inzet, gemiddeld 443997 [ton] steen zal worden verzet.

Uit de data van Grafiek 8-1 is af te lezen, dat de berekende nominale weekproductie (9834 [ton/wk]) door ca. 5% van de waarnemingen wordt overschreden en door ca. 95% van de waarnemingen wordt onderschreden.

Uit deze resultaten moet geconcludeerd worden, dat de materieel-inzet aangepast dient te worden, waardoor de benodigde productie, voor een zo laag mogelijke prijs, kan worden gehaald.



Grafiek 8-1 : Grafische weergave van de berekende weekproducties van het basis-scenario.

8.5 PROCES 'OPTIMALISATIE'.

Het doel van de proces 'optimalisatie' is de productie van het proces op een zo economisch mogelijke (minimale kosten) manier te verhogen.

Zoals uit de knelpuntcalculatie is gebleken moet hiervoor de bezettingsgraad van het knelpuntproces worden verhoogd. Dit kan door de capaciteit van de andere deelprocessen te verhogen. Voor het beschreven scenario is het losproces het duurste productiemiddel. Daarom moet gestreefd worden naar een situatie waarbij het losproces het knelpuntproces is.

De proces 'optimalisatie' bestaat uit de volgende onderdelen :

- I. productie 'optimalisatie',
 - A. het toevoegen van extra laadcapaciteit,
 - B. het toevoegen van extra transportcapaciteit,
 - toevoegen van extra transport middelen,
 - toepassen van grotere bakken,
- II. kosten 'optimalisatie'.

8.5.1 Productie 'optimalisatie'

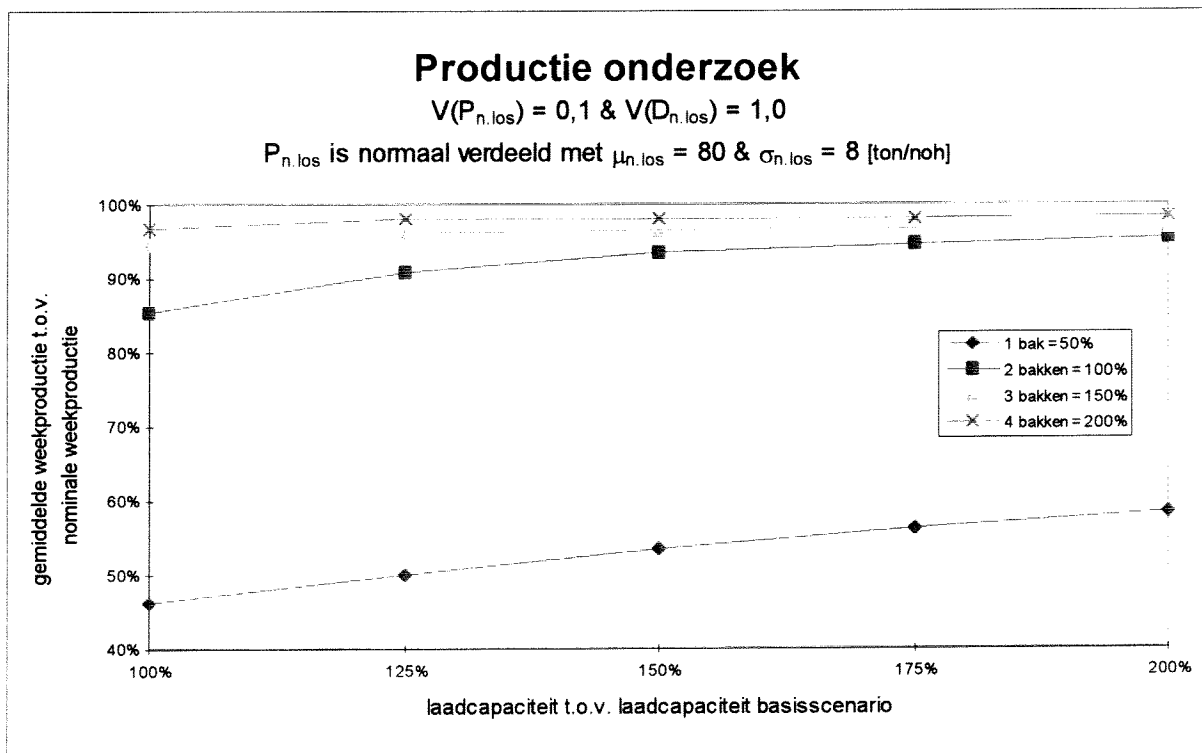
8.5.1.1 Het toevoegen van extra laadcapaciteit

Tijdens dit onderzoek is het gemiddelde van de laadcapaciteit verhoogd met 25% tot 100%. Hierdoor lopen de netto laad- en losproductie van elkaar weg, en zal de invloed van het laadproces op de weekproductie afnemen en de gemiddelde weekproductie toenemen. Dit mag worden verwacht aan de hand van de resultaten van de probabilistische analyse. Tevens zal de productie toename afnemen naarmate de invloed van het laadproces kleiner wordt. Dit betekent, dat de curve van de weekproductie asymptotisch een maximaal haalbare weekproductie zal naderen.

In Grafiek 8-2 zijn de resultaten van de simulaties weergegeven. Hieruit blijkt, dat de resultaten overeenkomen met de verwachtingen.

Dit blijkt uit de volgende beschrijvingen van de curven uit Grafiek 8-2 :

- A. de gemiddelde weekproductie neemt toe door het verhogen van de laadcapaciteit,
- B. de productie toename neemt af, naarmate de laadcapaciteit verder toeneemt en
- C. de gemiddelde weekproductie nadert asymptotisch de maximaal haalbare weekproductie.



Grafiek 8-2 : Productie onderzoek

8.5.1.2 Het toevoegen van extra transportcapaciteit

Het toevoegen van extra transportcapaciteit kan onder andere uitgevoerd worden door extra boot-bak combinaties in te zetten of door grotere bakken toe te passen.

Het toevoegen van extra boot-bak combinaties :

Om een totaal beeld te verkrijgen zijn de simulaties van het voorgaande onderzoek ('toevoegen van extra laadcapaciteit') herhaald met een toenemend aantal bakken (1 t/m 4 stuks). Verwacht mag worden, dat door de toename van de transportcapaciteit de invloed van het transport op de weekproductie zal afnemen. Hierbij zal de weekproductie toenemen tot de maximaal haalbare waarde. Deze maximaal haalbare productie wordt bepaald door de netto laad- en loscapaciteit.

In Grafiek 8-2 zijn de resultaten van de simulaties weergegeven. Hieruit blijkt dat de resultaten overeenkomen met de verwachtingen.

Dit blijkt uit de volgende beschrijvingen van de curven uit Grafiek 8-2 :

- a. de gemiddelde weekproductie neemt toe door het toevoegen van transportmiddelen,
- b. de productie toename neemt af, naarmate de transportcapaciteit verder toeneemt en
- c. de gemiddelde weekproductie nadert asymptotisch de maximaal haalbare weekproductie.

Uit data onderzoek is verder gebleken, dat indien de maximaal haalbare weekproductie is gehaald het risico afneemt bij verder toenemende transportcapaciteit.

Inzetten van grotere bakken :

Voor dit deelonderzoek zijn simulaties uitgevoerd waarbij gevarieerd is in de gemiddelde waarde van de bakvulling (75-125%) ten opzichte van de bakvulling uit het basisscenario (1200 [ton]). De spreiding van de bakvulling is voor alle simulaties gelijk aan $\pm 25\%$ gehouden.

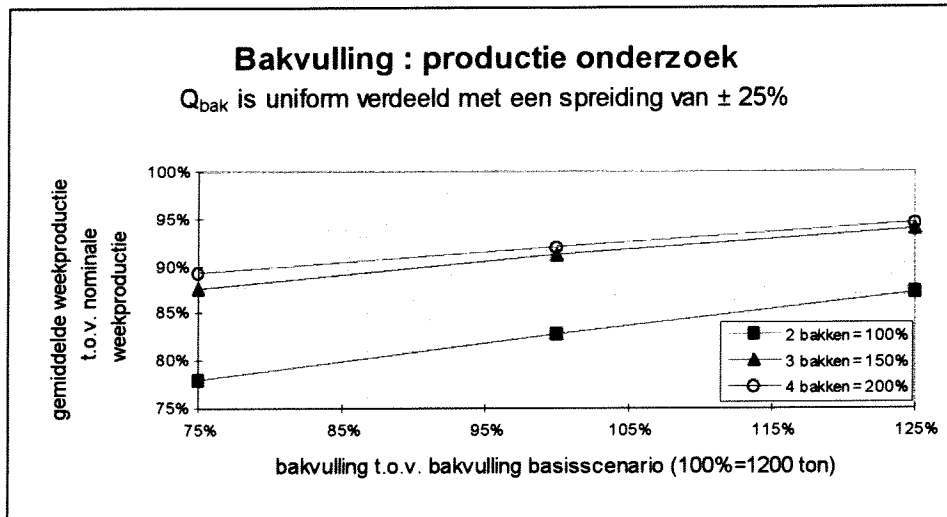
Verwacht mag worden dat de productie toeneemt door een toename van de bakvulling. Bij een toenemend aantal bakken zal de invloed van de grootte van de bakvulling op de gemiddelde weekproductie afnemen. Dit is het gevolg van het feit dat het transport op een gegeven moment geen invloed meer heeft op de weekproductie.

In Grafiek 8-3 zijn de resultaten van de simulaties weergegeven. Hieruit blijkt dat de resultaten overeenkomen met de verwachtingen.

Dit blijkt uit de volgende beschrijvingen van de curven uit Grafiek 8-3 :

- a. de gemiddelde weekproductie neemt toe door de toename van de bakvulling,
- b. de productie toename neemt af, naarmate de grootte van de bakvulling verder toeneemt,
- c. bij een toename van het aantal bakken heeft de grootte van de bakvulling minder invloed op de gemiddelde weekproductie.

Een inschattingfout in de grootte van de bakvulling kan dus grote gevolgen hebben voor de behaalde productie.



Grafiek 8-3 : Productie-onderzoek met toenemende bakvulling.

8.5.2 Kosten optimalisatie

In deze optimalisatie zal met behulp van een 3D grafiek de verwerkingskosten uit worden gezet tegen de laad- en transportcapaciteit. Hieruit volgt de materieel-inzet waarmee de laagste verwerkingsprijs wordt verkregen.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de resultaten van de simulaties van paragraaf 8.5.1. Bij het opstellen van de grafiek is gebruik gemaakt van formule 3.1 welke is toegelicht in de knelpuntanalyse, hoofdstuk 3.2.2. Hieruit blijkt, dat de materieelkeuze afhankelijk is van de verhouding tussen investering en productie.

Bij de toename van de laadcapaciteit is aangenomen, dat het inzetten van zwaarder materieel voldoende is. Dit betekent, dat voor alle situaties gerekend wordt met één kade. In Grafiek 8-4 zijn de resultaten weergegeven waarbij aangenomen is, dat de kosten voor extra laadcapaciteit overeenkomen met de waarden in Tabel 8-2.

Netto Laadcapaciteit		kosten/week
[%]	[ton/noh]	[gulden/week]
100	60	35000
125	75	37500
150	90	40000
175	105	42500
200	120	45000

Tabel 8-2 : Kosten voor de extra laadcapaciteit.

Bij de toename van de transportcapaciteit is aangenomen, dat elke extra boot-bak combinatie evenveel kosten met zich meebrengt als elke reeds aanwezige boot-bak combinatie.

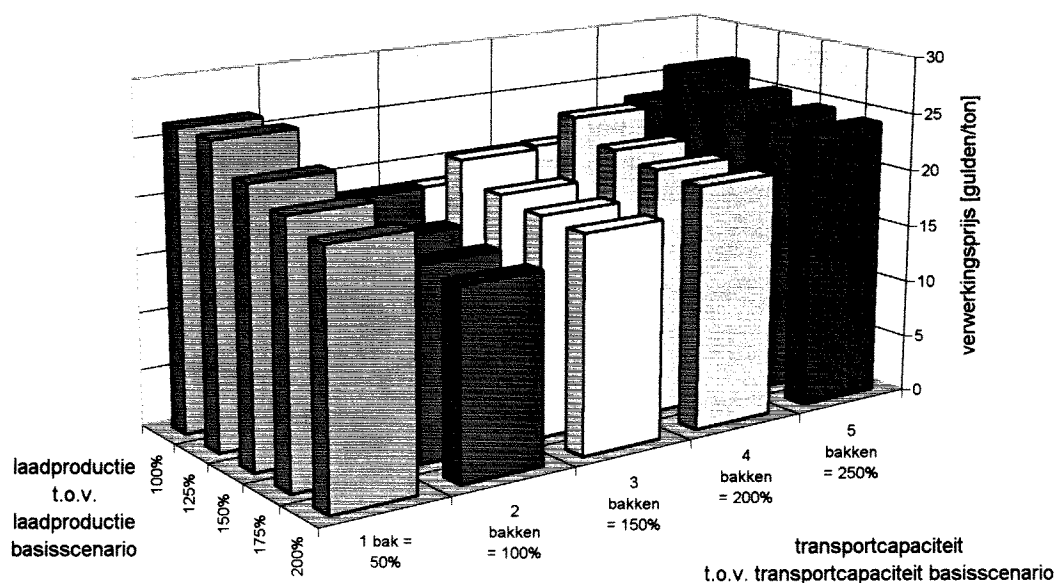
Het simulatieprogramma berekent aan het einde van de totale simulatie de gemiddelde verwerkingskosten. Van de simulaties van paragraaf 8.5.1 zijn deze verwerkingskosten in onderstaande Grafiek 8-4 uitgezet.

Uit deze grafiek is af te lezen dat de verwerkingskosten bij het toepassen van 1 bak nagenoeg gelijk is aan die van 5 bakken. Het inzetten van 2 bakken levert de laagste verwerkingsprijs. Door 1 of 2 bakken extra in te zetten nemen de verwerkingskosten wel iets toe, maar neemt het risico dat de productie niet gehaald wordt af.

Voor het verhogen van de laadcapaciteit zijn de investeringen relatief laag (in dit voorbeeld althans). Verder geldt bij een toenemende laadcapaciteit hetzelfde als voor de bakken, oftewel eerst neemt de verwerkingsprijs af, waarna deze weer toeneemt. Ook hier geldt, dat door het investeren in extra laadcapaciteit het risico, dat de productie niet wordt gehaald, afneemt.

De vraag blijft altijd of de extra investering opweegt tegen het verminderde risico.

Kosten optimalisatie



Grafiek 8-4 : Kosten-optimalisatie.

8.5.3 Conclusie

Uit dit onderzoek volgt hetzelfde als reeds uit de probabilistische analyse is gebleken. De verdeling van de productie wordt beïnvloed door het knelpuntproces en de deelprocessen die dezelfde waarden voor de netto productie kunnen aannemen als die van het knelpuntproces.

Verder mag geconcludeerd worden, dat :

- de gemiddelde weekproductie, bij een toename van productiemiddelen, asymptotisch een maximaal haalbare weekproductie nadert,
- in de curve van de kosten een minimum aanwezig is,
- met behulp van de curven van de gemiddelde weekproductie en de kosten een verantwoorde aanname van de benodigde materieel-inzet kan worden gedaan,
- een inschattingfout in de grootte en spreiding van de netto producties heeft invloed op de behaalde productie.

Voor het gegeven scenario uit dit onderzoek volgt, dat de benodigde productie gemiddeld 'optimaal' gehaald kan worden door de laadcapaciteit met 50% en de transportcapaciteit met 100% (2 bakken extra) te verhogen. Met deze materieel-inzet wordt gemiddeld, volgens de simulaties, 9660 [ton/week] verwerkt en 502304 [ton] gedurende de werkperiode van 52 weken voor een globale verwerkingsprijs van 20.19 [gulden/ton]. Tevens is de spreiding van de productie over de periode van 52 weken afgenomen en daarmee ook de onzekerheid (risico).

Echter moet ook bij deze optimalisatie nagegaan worden of de gemaakte investeringen economisch verantwoord zijn. Het kan bijvoorbeeld voorkomen, dat een werk een maand uit mag lopen zonder dat dat kosten (schade vergoedingen) met zich meebrengt. Dan kan bijvoorbeeld gekozen worden de laad- en/of transportcapaciteit zo te verlagen, dat een lagere verwerkingsprijs wordt verkregen bij een acceptabel geacht risico.

aantal bakken	laadcapaciteit	weekproductie [ton/week]		project productie [ton]		verwerkingskosten [gulden/ton]
		μ	σ	μ	σ	
2 = 100%	150%	9187	1160	477728	4976	15.7830
3 = 150%	150%	9498	1121	493914	4156	17.8978
4 = 200%	150%	9660	1180	502304	3185	20.1870

Tabel 8-3 : Resultaten van de 'optimalisatie'.

8.6 INVLOED VAN DE SPREIDING VAN DE VERDELINGEN.

Voor het bepalen van de invloed van de spreiding van de verdelingen op de productie van het bakkentransportproces is gekozen voor de verdelingen van de loscapaciteit en het losverlet. Voor deze twee invoer-variabelen is gekozen, omdat voor dit scenario het losmaterieel het knelpunt dient te zijn. Verder zijn proces-technisch gezien het laad- en losproces gelijk. Dit betekent, dat de resultaten voor het losproces ook gelden voor het laadproces, indien deze maatgevend zijn.

Voor dit onderzoek is gesimuleerd met verschillende waarden voor de spreiding van de loscapaciteit en het losverlet. Voor de verdeling van de loscapaciteit is een normale verdeling aangehouden en voor het losverlet is een Erlang-k verdeling⁹ aangehouden. In onderstaande tabel zijn de afwijkende gegevens ten opzichte van het basisscenario weergegeven. De aangenomen verdelingen voor de loscapaciteit en het losverlet zijn grafisch weergegeven in bijlage L.

	Loscapaciteit [ton/noh]			Losverlet [uur/bak]				σ^2 regel $\sigma_{n,los}^2 = \sigma_{P_{capa,los}}^2 + \sigma_{D_{los}}^2$
	$\mu_{P_{capa,los}}$	$\sigma_{P_{capa,los}}$	$V(P_{capa,los})$	$\mu_{D_{los}}$	$\sigma_{D_{los}}$	$V(D_{los})$	k	
1	80	4	0.05	3.45	3.45	1	1	5.3
2	80	8	0.10	3.45	3.45	1	1	8.7
3	80	12	0.15	3.45	3.45	1	1	12.5
4	80	16	0.20	3.45	3.45	1	1	16.4
5	80	20	0.25	3.45	3.45	1	1	20.3
6	80	8	0.10	3.45	2.44	0.71	2	8.4
7	80	8	0.10	3.45	1.99	0.58	3	8.2
8	80	8	0.10	3.45	1.54	0.45	5	8.1

Tabel 8-4 : Aannamen voor het spreidingsonderzoek.

Aan de hand van de probabilistische analyse mag verwacht worden, dat een toename in de spreiding van de netto losproductie leidt tot productieverlies. Deze netto losproductie bestaat uit de verlettijd (D_{los}) en de lostijd ($= Q_{bak}/P_{capa,los}$). Aannemende dat dit twee onafhankelijke variabelen zijn, dan kan de spreiding van de netto losproductie berekend worden met de σ^2 regel ($\sigma(c)^2 = \sigma(a)^2 + \sigma(b)^2$).

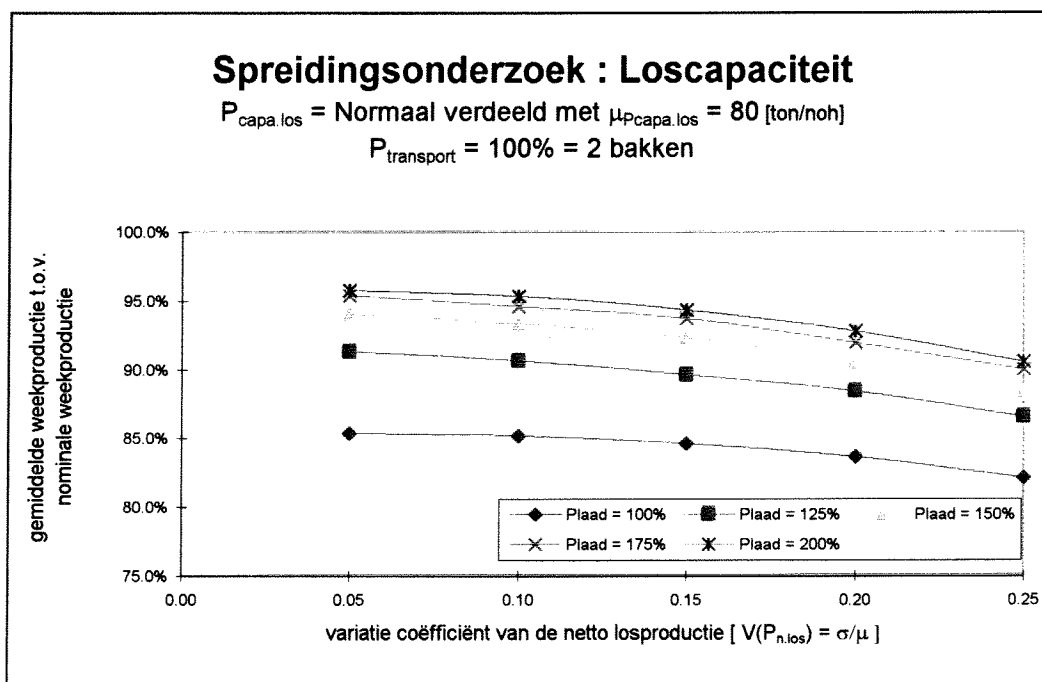
Deze is opgenomen in de laatste kolom van Tabel 8-4. Hieruit volgt, dat het variëren van de spreiding van de loscapaciteit meer invloed heeft dan het variëren van de spreiding van het losverlet.

⁹ Bij het veranderen van de spreiding van een Erlang-K verdeling verandert tevens de vorm van de verdeling, zie bijlage D.

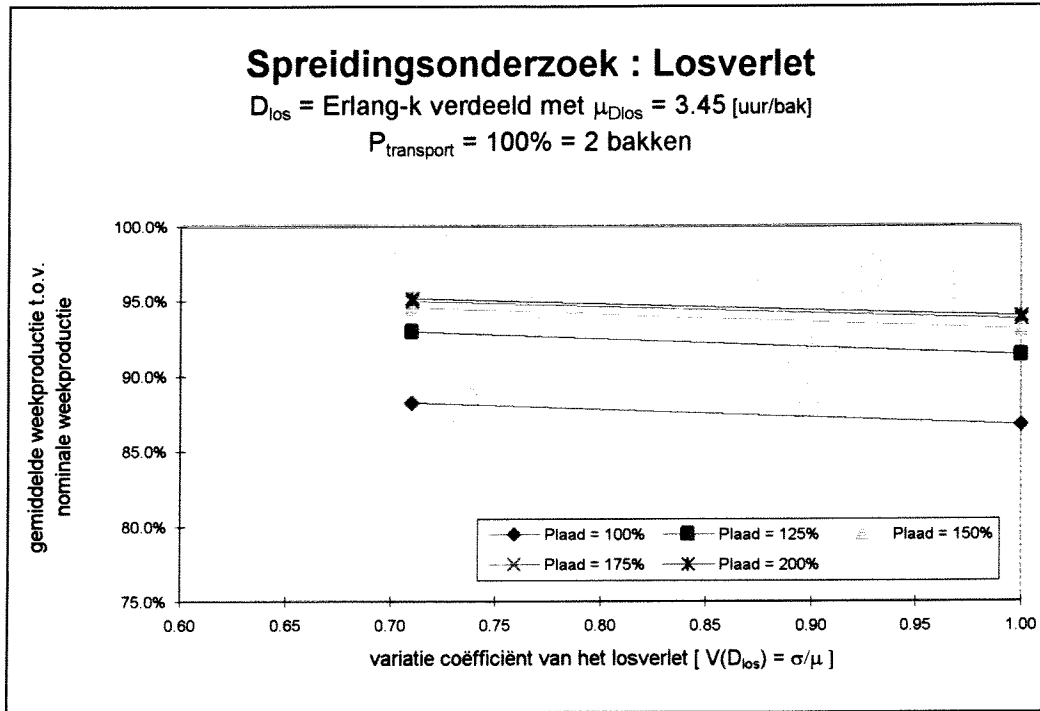
De resultaten van de simulaties voldoen aan de boven beschreven verwachtingen. Dit blijkt onder andere uit Grafiek 8-5 & Grafiek 8-6, waarin de resultaten van de simulaties grafisch zijn weergegeven. In bijlage M zijn de overige resultaten opgenomen.

De curven uit Grafiek 8-5 & Grafiek 8-6 kunnen als volgt worden beschreven :

- a. de gemiddelde weekproductie neemt af bij een toenemende spreiding van de netto losproductie,
- b. de productie afname neemt toe, naarmate de spreiding van de netto losproductie toeneemt,
- c. de afname van de productie is afhankelijk van de invloed van de netto laadproductie en de transportproductie. Hierbij geldt, dat hoe minder invloed deze twee deelprocessen hebben op het uiteindelijke proces, hoe groter de invloed van de spreiding van de netto losproductie is op de uiteindelijke productie verdeling,
- d. de invloed van de spreiding van het losverlet is kleiner dan die van de loscapaciteit, omdat de verdeling van de loscapaciteit in dit voorbeeld een groter aandeel in de netto losproductie heeft (zie Tabel 8-4).



Grafiek 8-5 : Spreidingsonderzoek van de loscapaciteit met 100% transportcapaciteit.



Grafiek 8-6 : Spreidingsonderzoek van het losverlet met 100% transportcapaciteit.

8.6.1 Conclusie

De spreiding van de netto losproductie beïnvloedt de productie. Hoe groter de spreiding van de netto losproductie, hoe groter het productieverlies. Daarom is het noodzakelijk om in de praktijk goede beslissingen te nemen op de juiste momenten. Hierdoor neemt de spreiding (vooral extremen) van de netto producties van de deelprocessen niet onnodig toe.

8.7 RISICOANALYSE VAN DE DUUR VAN HET PROJECT.

Voor dit onderzoek is het basisscenario 6 maal gesimuleerd. Tijdens de simulaties is gevarieerd in de projectduur van 1 week tot 52 weken. (1, 2, 5, 10, 25 & 52 weken) In Grafiek 8-7 zijn de resultaten weergegeven, zie ook bijlage M.

Zoals verwacht blijkt uit dit onderzoek, dat de spreiding van de productie nagenoeg gelijk verloopt (zie grafiek 8) aan de theoretische lijn. De theoretische lijn wordt wiskundig beschreven door :

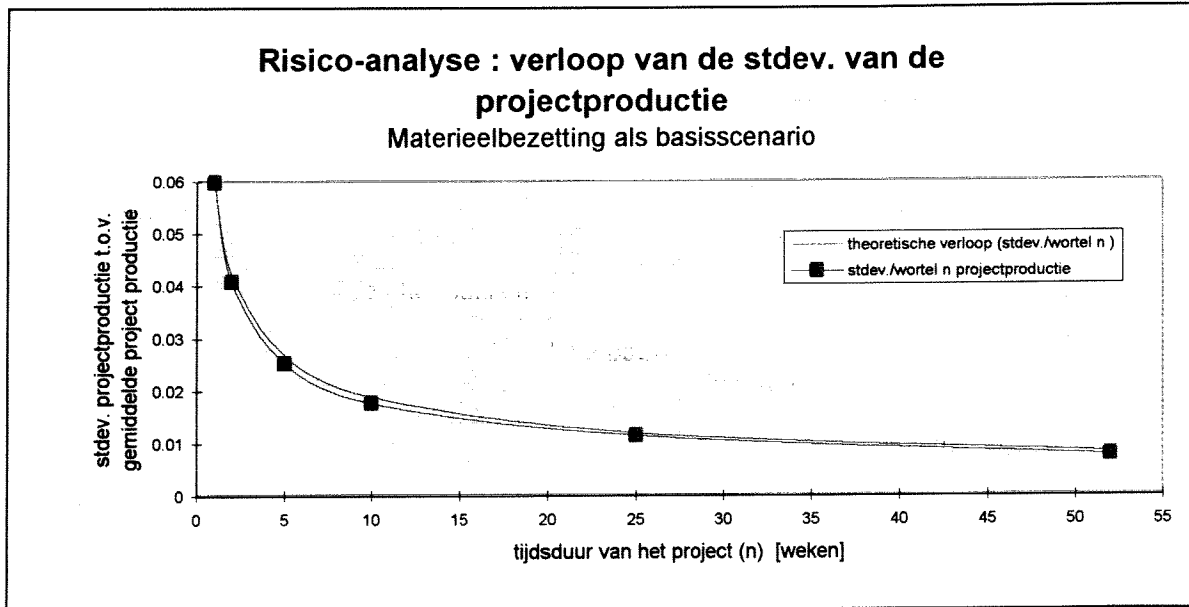
$$\sigma_n = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Waarin :

σ = standaardafwijking van het project met een duur van 1 week

σ_n = standaardafwijking van het project met een duur van n weken

n = de tijdsduur van het project in weken



Grafiek 8-7 : Risikoanalyse , verloop van σ_n

Hieruit mag geconcludeerd worden, dat de zekerheid van de gehaalde productie van het proces toeneemt met de duur van het project. Verder blijkt, zie bijlage M, dat het basis-scenario ca. 8 tot 10 weken nodig heeft voor het opstarten van het proces.

9. Conclusies en aanbevelingen

Met de huidige berekeningsmethode (zie hoofdstuk 3) is het niet mogelijk om de productie van het bakkentransportproces vooraf goed te voorspellen. Dit komt, omdat gerekend wordt met vaste waarden (deterministisch) voor variabelen die in de praktijk variabel en stochastisch van aard zijn. Hieruit volgt, dat een nauwkeurige berekening van het bakkentransportproces rekening moet houden met de probabilistische aspecten (statistische onzekerheden) van deze variabelen.

Het bakkentransportproces is opgesplitst in drie deelprocessen, te weten : laden, lossen en transport. De productie van het bakkentransportproces wordt bepaald door de netto productie en de bezettingsgraad van elk deelproces. Onder de netto productie wordt de tijd verstaan, dat een productiemiddel effectief aan het werk is inclusief de verlettijden.

Naast de gemiddelde waarde heeft ook de spreiding van de netto producties van de deelprocessen grote invloed op de uiteindelijke verdeling van de productie. De productie is vast gelegd binnen de volgende grenzen :

$$\mu_{P_{\text{nominaal}}} \leq \min (\mu_{P_{\text{n.laad}}}, \mu_{P_{\text{n.transport}}}, \mu_{P_{\text{n.loss}}})$$

$$\sigma_{P_{\text{nominaal}}} \leq \max (\sigma_{P_{\text{n.laad}}}, \sigma_{P_{\text{n.transport}}}, \sigma_{P_{\text{n.loss}}})$$

Om de invloeden van de statistische onzekerheid van de netto producties in de berekening van het bakkentransportproces op te nemen, is een nieuw simulatiemodel ontwikkeld. In het simulatiemodel worden tevens de onbekende wachttijden voor elk stuk materieel uitgerekend en meegenomen in de productieberekening.

Uit de testresultaten blijkt, dat met het nieuwe simulatieprogramma *BakSim* het mogelijk is om vooraf een reële voorspelling te doen van de productie. Hierbij is het mogelijk om in de begrotingsfase een 'optimalisatie' analyse voor het werk uit te voeren.

Bij het optimaliseren van het bakkentransportproces moet eerst het deelproces worden bepaald, dat het knelpunt moet zijn (het knelpuntproces). Uit economisch oogpunt moet van elk productieproces het duurste deelproces het knelpunt van het proces zijn. In het bakkentransportproces is dat over het algemeen het losproces. Om de bezettingsgraad van het losmaterieel te verhogen kunnen diverse maatregelen worden getroffen. Enkele maatregelen kunnen zijn :

1. Laadcapaciteit verhogen :
 - a) ander laadmaterieel inzetten met een hogere bruto laadcapaciteit,
 - b) een extra laadstation inrichten (kade + materieel).
2. Transportcapaciteit verhogen :
 - a) extra bakken inzetten,
 - b) grotere bakken toepassen,
 - c) sneller varende boten inzetten.

Tijdens het optimaliseren van het proces moet er naar gestreefd worden dat het knelpuntproces zo intensief mogelijk wordt ingezet. Uit het onderzoek is gebleken, dat de netto productie van de overige deelprocessen hoger moet zijn dan de netto productie van het knelpuntproces. Hierdoor ontstaat een wachtrij van bakken voor het knelpuntproces. Deze wachtrij dient als buffer, die storingen in de aanvoer van de stenen opvangt.

Het intensiveren van het knelpuntproces veroorzaakt, dat de bezettingsgraad van de deelprocessen, waarvan de netto productie is verhoogd, afneemt. Daarom moet altijd met behulp van een 'kosten-baten' analyse worden onderzocht of de veranderingen economisch verantwoord zijn. Hierbij worden met behulp van de extra investeringen en de nieuwe productie de nieuwe verwerkingskosten berekend. De 'kosten-baten' analyse is gebaseerd op de doelfunctie uit de knelpuntcalculatie :

$$\text{Doel functie} \Rightarrow \left(\min_{n-n_{opt}} \frac{\sum_{i=1}^{n_{laad}} K_{laad,i} + \sum_{j=1}^{n_{boot+bak}} K_{boot+bak,j} + \sum_{h=1}^{n_{los}} K_{los,h}}{P_{nominaal}(P_{n,laad}, n_{laad}; P_{n,transport}, n_{boot+bak}; P_{n,los}, n_{los})} \right) [\text{gld / ton}]$$

Waarbij: $P_{nominaal}(P_{n,laad}, n_{laad}; P_{n,transport}, n_{boot+bak}; P_{n,los}, n_{los}) \geq P_{benodigd}$ (totale hoeveelheid, tijd)

Voor het 'optimaliseren' van het bakkentransportproces moeten diverse scenario's worden opgesteld en gesimuleerd (berekend). In de uitvoer zijn onder andere de verdelingen van de weekproductie en de productie van de gehele bouwphase opgenomen. Daarnaast worden de gemiddelde globale verwerkingskosten gepresenteerd in [gulden/ton].

In de praktijk moet men de productie en de procestijden bewaken. Hierbij moet gestreefd worden naar een situatie, waarbij de gemiddelde weekproductie van elk deelproces zo hoog mogelijk is, zonder dat de spreiding van de verdeling toeneemt. Er moet dus voorkomen worden, dat materieel geforceerd moet werken. Forceren veroorzaakt over het algemeen extra verletijd, waardoor de netto productie over de periode eerder afneemt dan toeneemt. In bepaalde situaties kan het noodzakelijk zijn om toch geforceerd de productie van een productiemiddel (materieel) te verhogen. Dit is alleen verantwoord, indien het de continuïteit van de aanvoer voor het knelpuntproces waarborgt. Dit kan zich voordoen als bijvoorbeeld 1 van de 2 laadstations is uitgevallen.

Bij het nemen van dit soort beslissingen moet altijd in het achterhoofd gehouden worden, dat het knelpuntproces de productie bepaalt. Eventuele wachttijden van het knelpuntproces veroorzaken productieverlies. Dit verlies is niet terug te verdienen.

Aanbevolen wordt in de berekeningen de verletten te verrekenen in de productiefase (d.w.z. tijdens het laden, varen en lossen). Doet men dat niet, dan zullen de antwoorden te (m.b.t. onder andere de productie en bezettingsgraad) optimistisch zijn. Dit is het gevolg van het feit, dat de verletten zowel tijdens als buiten de productiefase optreden. Worden de verletten echter tijdens de productiefase verrekend, dan zijn de antwoorden aan de conservatieve kant.

Aanbevolen wordt de verwerking van de dagrapporten aan te passen, waardoor meer gegevens beschikbaar zijn voor statistische bewerkingen. Over het algemeen worden van de dagrapporten weekoverzichten gemaakt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van codes voor de werkzaamheden. In de weekoverzichten worden de tijden per code van die week opgeteld. Door deze sommatie is geen inzicht meer te verkrijgen in het gedrag van de betreffende activiteit achter de code.

Voor het berekenen van het bakkentransportproces is juist het gedrag van die variabele van groot belang. Door alle gemeten waarden per code grafisch uit te zetten ontstaan de verdelingen, welke de voortgang van het proces bepalen. Deze grafieken kunnen gebruikt worden in de werkvoorbereidingsfase van een volgend werk, en door de logistiek manager tijdens het lopende werk voor het nemen van beslissingen. Voor de rapportage van de voortgang van het werk en de nacalculatie zijn de gesommeerde waarden echter wel bruikbaar.

De wijziging in de verwerking van de dagrapporten kan bestaan uit het opzetten van een database, waar elke gebeurtenis voor ieder stuk materieel in wordt opgenomen. Uit deze database kunnen de weekoverzichten worden verkregen, maar kunnen ook de verdelingen van elke code worden verkregen. In de database mogen de werkomstandigheden nooit worden vergeten. Voor de werkomstandigheden is het aan te raden een codering te ontwikkelen, welke gegevens bevat van bijvoorbeeld het seizoen, de plaats op aarde en de bemanning.

10. Praktische vuistregels

Vuistregels voor het analyseren van het proces :

1. Bepaal het knelpunt van het proces.
Dit is het deelproces met de kortste wachttijd, oftewel met de hoogste bezettingsgraad. Dit kunnen ook meerdere deelprocessen zijn die elkaar afwisselen.
2. Bereken de kosten van elk deelproces en bepaal welk deelproces het knelpunt zou moeten zijn. Uit economisch oogpunt behoort het duurste deelproces het knelpunt van het proces te zijn.
3. Bepaal of de bezettingsgraad van het deelproces, dat het knelpunt moet zijn, kan worden verhoogd zonder extra kosten.
Of dit mogelijk is volgt uit de wachttijden van het knelpuntproces, want wachten van dit proces geeft onomkeerbaar productieverlies en moet dus tot een minimum worden beperkt.
4. Als de bezettingsgraad van het knelpuntproces kan worden verhoogd, dan kan dit worden uitgevoerd door de capaciteit van één of beide andere deelprocessen te verhogen. Hierdoor zal een wachtrij ontstaan, die ervoor zorgt dat het knelpuntproces continu door kan werken. Nagegaan moet worden of de capaciteitsverhoging economisch verantwoord is, oftewel of de kosten opwegen tegen de productie verhoging.

Vuistregels voor een vereenvoudigde analytische berekening van het proces :

1. Begin de berekening altijd bij het knelpunt.
Neem een hoge netto productie aan voor het knelpunt en bereken daarmee een snelle cyclustijd (*optimistisch*). Vermenigvuldig deze cyclustijd met het aantal bakken vermindert met 1. Zet deze tijd uit op een tijd-as, zie Figuur 10-1.
2. Neem voor de overige deelprocessen een lage netto productie aan en bereken daarmee de cyclustijd. Deze cyclustijd is dus langer dan de gemiddelde cyclustijd (*pessimistisch*). Zet deze tijden van de deelprocessen achter elkaar uit op een tijd-as, zie Figuur 10-1.
3. Bepaal met behulp van de uitgezette tijden hoe het proces geoptimaliseerd kan worden. Zie Figuur 10-1.

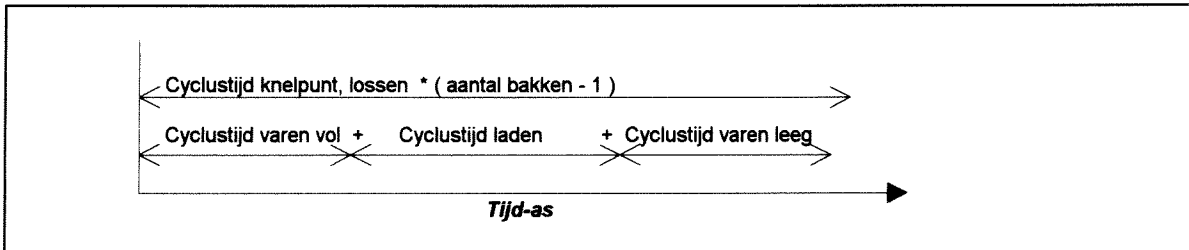
Bij het optimaliseren moet gestreefd worden naar een situatie waarvoor geldt :

$$\text{Cyclustijd knelpuntproces} \cdot (\text{aantal bakken} - 1) \geq \sum \text{cyclustijd overige deelprocessen}$$

Om dit te bereiken kunnen bijvoorbeeld de volgende aanpassingen worden gedaan :

- a. Laadcapaciteit verhogen ; hierdoor neemt de laadtijd af.
- a. Transport capaciteit verhogen door extra boten en bakken in te zetten of de vaartijd te verkorten.

De keuze hoe het proces moet worden aangepast, hangt onder andere af van de beschikbaarheid van extra materieel en de kosten / baten verhouding.



Figuur 10-1 : Uitgezette tijden ten behoeven van de vereenvoudigde analytische berekening.

11. Literatuurlijst

1. E.A.van Kleef :
Het passeren van een schip door een sluis.
tetrapport.(Deel X,verslag onderzoek augustus 1990),
Waterloopkundig laboratorium.
2. W.P. Huijssoon :
Transportanalyse Holoceen.
maart 1997,
Boskalis & Combinatie Ketelmeer.
3. C.J.Dykstra :
Final report Kertih Marine Works, Construction of Breakwater, Groynes &
Revetment.
December 1996,
Boskalis, Hydronamic bv.
4. R.Elling, B.Anderweg, J. de Jong, C. Swankhuisen :
Rapportage-techniek.
Wolters-Noordhoff Groningen,1994,
ISBN 90 01 29131 7.
5. Prof. Dr. H.J. van der Schroef :
Kosten en Kostprijs.
Zesde, herziene en bijgewerkte druk 1965,
N.V. Uitgeversmaatschappij Kosmos Amsterdam - Antwerpen.
6. Dr. J.H.J. Almering e.a
Analyse.
6e druk 1993 (geheel herzien Dr. H. Bavinck en Dr. Ir. R.W. Goldbach),
Delftse Uitgevers Maatschappij b.v. (VVSD),
ISBN 90 6562 078 8 geb.
7. Derrit Bruijnes :
Basiscursus Excel 7 voor windows 95.
1e druk 6e oplage mei 1997,
Academic Service, ISBN 90 395 0342 7
8. W.Findlay , D.A. Watt :
Pascal inleiding tot gestructureerd programmeren.
Kluwer technische boeken b.v. - Deventer - Antwerpen, 3e herziene editie 1989,
ISBN 90 201 2030 1
9. J.A. Ottjes :
Must Handleiding.
dictaat Wb3407B mei 1997, TU Delft.
- 10.Written and published in the USA :
Cristal Ball User Manual, Forecasting & Risk Analysis For spreadsheet Users,
Decisioneering Inc.

Gebruikte dictaten :

- E1 **Systematisch ontwerpen**
Prof. dr. ir. H.A.J. de Ridder , dr. ir. M.R. Beheshti, oktober 1994
Uitgegeven : Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft
Vakgroep : Infrastructuur
Sectie : Civiele Bedrijfskunde
Dictaat nummer 395
- F12/F13 **Service Systems in Ports and Inland Waterways**
ir.R. Groenveld, maart 1996
Uitgegeven : Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft
Vakgroep : Hydrolic and Geotechnical Engineering Division
Sectie : Hydraulic Engineering Group
Dictaat nummer 251
- B3 **Probabilistisch ontwerpen**
ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder , ir. J.K. Vrijling Dictaat
Uitgegeven : Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft
Vakgroep : Mechanica en Constructies & Waterbouwkunde
Sectie : Toegepaste Mechanica & Waterbouwkunde
Dictaat nummer 51
- F30 **Probabilistisch ontwerpen in de waterbouwkunde**
Prof. drs. Ir. J.K. Vrijling, voorlopige uitgave november 1996
Uitgegeven : Faculteit der Civiele Techniek, TU Delft
Vakgroep : waterbouwkunde
Sectie : waterbouwkunde.
- wb3407C **Modelvorming en simulatie van logistieke systemen,**
toepassingen in transport en productie
dr. ir. J.A. Ottjes, januari 1992
Uitgegeven : Faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek, TU
Delft
Vakgroep : Transporttechnologie
Sectie : Logistieke Technologie

Gebruikte software :

- Word 7.0 voor windows 95,
- Excel 7.0 voor windows 95,
- ABC Flowchart,
- Borland PASCAL 7.0,
- Must,
- Max,
- Cristall Ball 4.0,
- Visual Basic 4.0.

Gebruikte literatuur voor onderzoek naar bestaande modellen :

- Golden, Bruce L. :
Vehicle routing : methods and studies,
1626041 Centrale Bibliotheek TU Delft 1677810.
- Thomson, Norman :
Simulation in manufacturing,
2179327 Centrale Bibliotheek TU Delft 2179330.
- Hall, Randolph W. :
Queueing methods for services and manufacturing,
1849391 Centrale Bibliotheek TU Delft 1849395.
- Eibl, Peter :
Computerised vehicle routing and scheduling in roa.,
2206533 Centrale Bibliotheek TU Delft 2206535.
- Jaiswal, N.K.:
Scientific management of transport systems,
1418644 Centrale Bibliotheek TU Delft 521220.
- Koster, Gillis Johannes Pieter :
Modelling industrial systems; theory and application,
2063967 Centrale Bibliotheek Delft 2077067.

BIJLAGEN

Problemen binnen het Bakkentransportproces in de Natte Waterbouw

augustus 1998

W.P. Huijssoon



Onderzoek naar de inzet van materieel voor het transport van stenen over water, ten behoeve van de bouw van een golfbreker.

TU Delft

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek
Sectie : Waterbouwkunde.

Bijlagen

Problemen binnen het Bakcentransportproces in de Natte Waterbouw

W.P. Huijssoon

augustus 1998



**Onderzoek naar de inzet van materieel voor het
transport van stenen over water, ten behoeve van de
bouw van een golfbreker.**

Afstudeer scriptie

Problemen binnen het bakkentransportproces in de Natte Waterbouw

Onderzoek naar de inzet van materieel voor het
transport van stenen over water, ten behoeve van de
bouw van een golfbreker.

Door :

Willem Peter Huijssoon

Plaats en Datum :

Papendrecht & Delft
augustus 1998

Studie :

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Sectie : Waterbouwkunde
Stevinweg 1, Delft

Opdrachtgever :

Baggermaatschappij Boskalis bv.
afdeling : Hydronamic
Rosmolenweg 20, Papendrecht

Afstudeercommissie :

prof. drs. ir. J.K. Vrijling
ir. W. Tutuarima
ir. T.H.W. Horstmeier
ir. C.J. Dykstra (Boskalis)

Inhoudsopgave

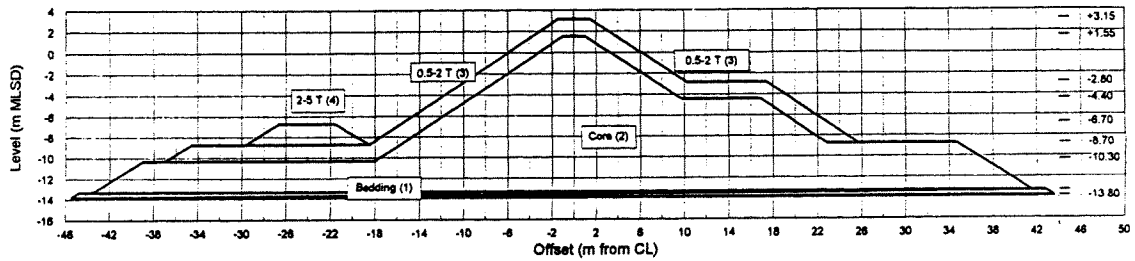
- A. Dwarsprofiel van de offshore golfbreker in Kertih, inclusief een lijst met het toegepaste materieel.
- B. Schematisatie van het bakkentransportproces.
- C. Foutenbomen van het gedrag van het bakkentransportproces.
- D. Toelichting van de Erlang-K functie, inclusief de afleiding uit de Gamma verdeling.
- E. Berekeningen van de probabilistische analyse.
- F. De uitvoer van het simulatieprogramma BakSim van het aangenomen basisscenario.
- G. Beschrijving van de testprocedure van het ontwikkelde simulatieprogramma BakSim.
- H. Testresultaten praktijkvergelijk
- I. Handleiding van het computer programma BakSim.
- J. Toelichting op de Kolmogorov Smirnov test.
- K. Analytische berekening van het opgestelde basisscenario.
- L. Aangenomen verdelingen bij simulatieonderzoek
- M. Resultaten van het gevoeligheidsonderzoek met het simulatieprogramma BakSim.

Bakkentransport Natte Waterbouw

Bijlage A

Dwarsprofiel van een offshore golfbreker,
inclusief een lijst met het gebruikte materieel.

Dwarsprofiel van de offshore golfbreker in Kertih, inclusief een lijst met het toegepaste materieel.



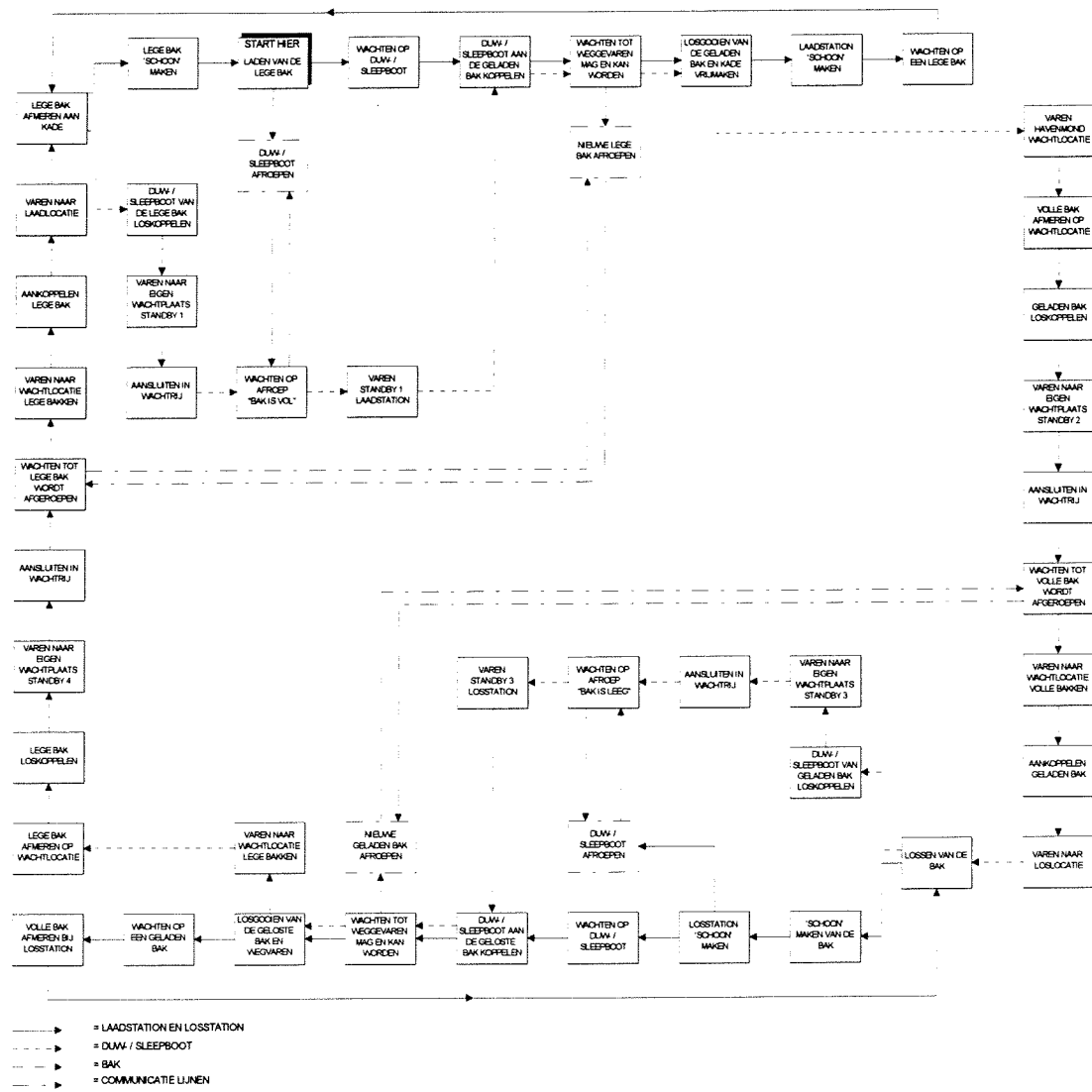
<u>ZONE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>LEVEL</u>	<u>EQUIPMENT</u>	<u>CONDITIONS</u>
1	Bedding	-13.8 to -13.3	Side-Cast Hopper	-
2A.i	Bulk Lower Core	-13.8 to -4.5	Split-Barge Hopper (& side-cast)	-
2A.ii	Edges Lower Core	-13.3 to -4.5	Side-Cast Hopper	-
2B	Upper Core	-4 to 0	Side-Cast Hopper (& split-barge)	High Water
2C	Core Crest	-4 to +1.55	Crane	-
3A	0.5-2 T sea-side berm	-8.7 to -6.7	Side-Cast Hopper	-
3B	0.5-2 T sea-side slope	-6.7 to -2	Side-Cast Hopper	High Water
3C	0.5-2 T crest & upper land-side slope	-2 to +3.55 to -2.8	Crane	-
3D	0.5-2 T land-side berm	-4.4 to -2.8	Crane & Side-Cast Hopper	High Water
3E	0.5-2 T lower land-side slope	-8.7 to -4.4	Side-Cast Hopper	-
4	2-5 T Toe Berm	-8.7 to -6.7	Crane & Side-Cast Hopper	-

Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage B

Schematisatie van het bakcentransportproces.

Schematisatie van het bakkentransportproces.

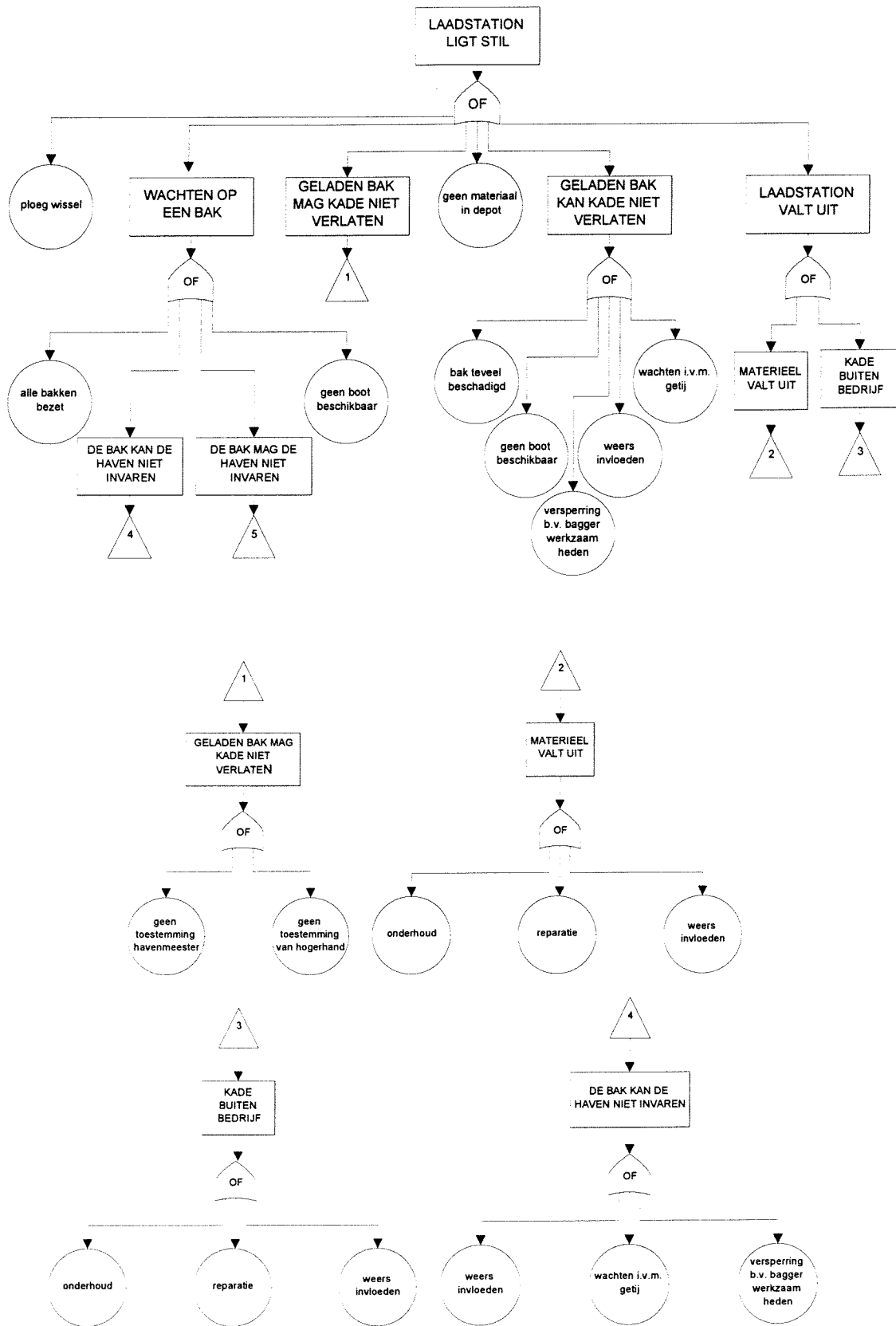


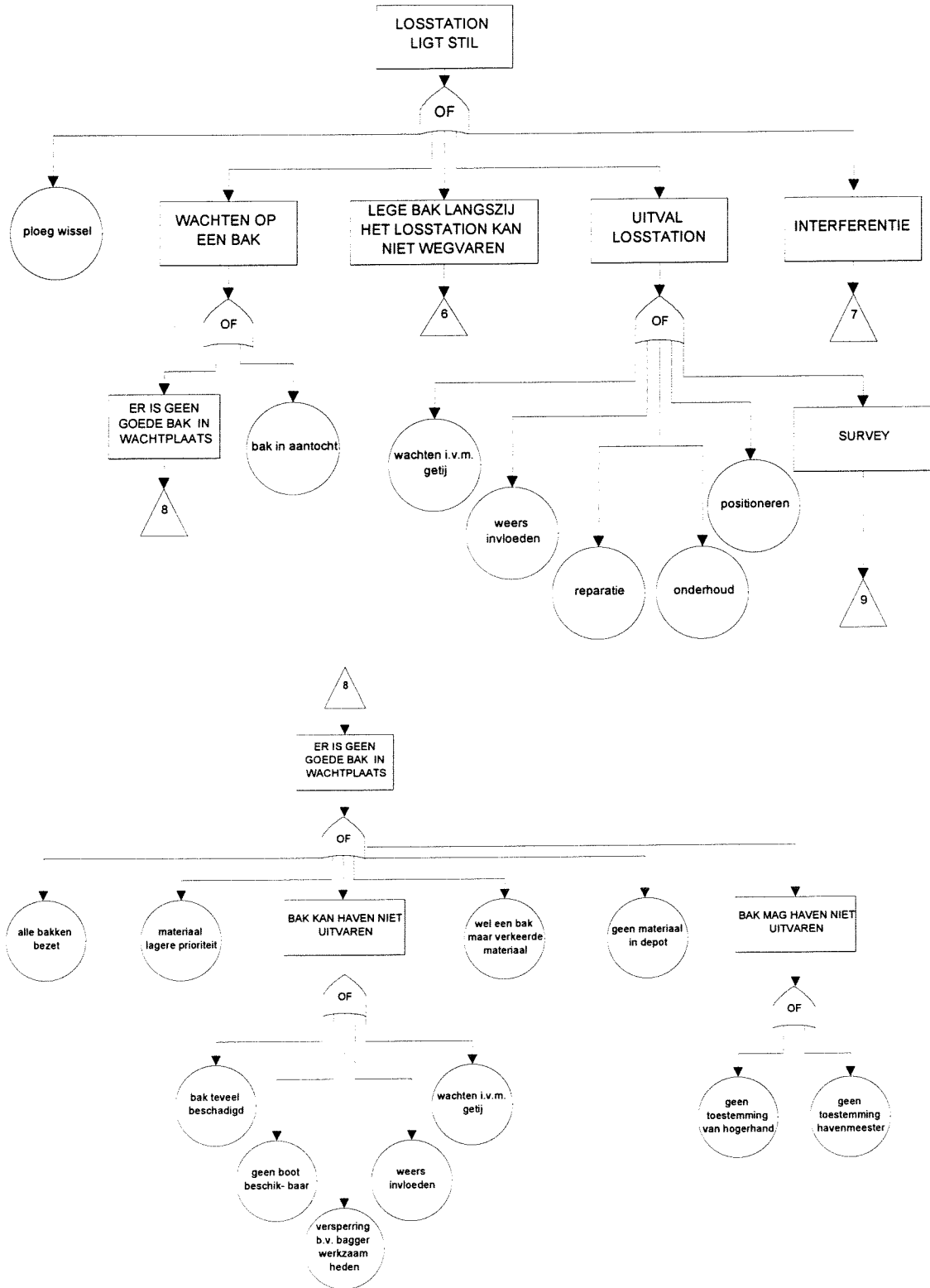
Bakcentransport Natte Waterbouw

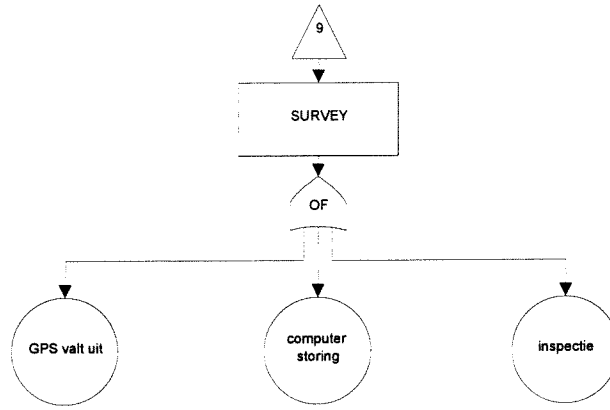
Bijlage C

Foutenbomen van het gedrag van het
bakcentransportproces.

Foutenbomen van het gedrag van het bakkentransportproces.







Bakkentransport Natte Waterbouw

Bijlage D

Toelichting van de Erlang-K functie, inclusief de afleiding uit de gamma verdeling.

Toelichting van de Erlang-K functie, inclusief de afleiding uit de Gamma verdeling.

Van Gamma verdeling naar Erlang verdeling.

Gamma verdeling is gedefinieerd door:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}$$

waarin :

$$\mu(x) = \beta \cdot \alpha$$

$$\sigma(x) = \beta \sqrt{\alpha}$$

De erlang-k verdelings is afgeleid van de gamma verdeling. Indien α een element is van de natuurlijke getallen en groter dan nul dan is de Gamma verdeling gelijk aan de Erlang-k verdeling.

$$f(x; k, \beta) = \frac{1}{\beta^k \cdot \Gamma(k)} \cdot x^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}$$

Door dat : $k = \alpha$ en dus $k > 0 \cap k \in \mathbb{N}$ geldt : $\Gamma(k) = (k-1)!$

$$f(x; k, \beta) = \frac{1}{\beta^k \cdot (k-1)!} \cdot x^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)}$$

Verder geldt dat $\beta = \frac{\mu}{k}$ waardoor de wiskundige beschrijving van de Erlang-k verdeling ontstaat.

$$f(x; k, \mu) = \frac{(\mu \cdot k)^k \cdot x^{(k-1)} \cdot e^{-\mu k x}}{(k-1)!}$$

In de Erlang-k verdeling zijn μ en k parameters van de verdeling $f(x)$. Deze parameters hebben de volgende betekenis :

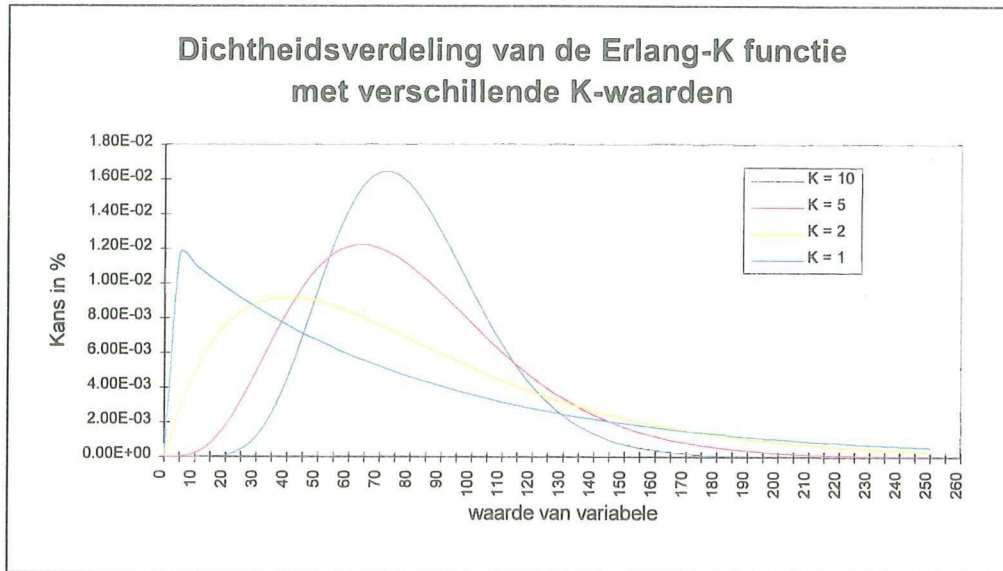
μ = Gemiddelde van de verdeling.

$$\mu(x) = E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \xi \cdot f_x(\xi) \, d\xi$$

σ = Standaardafwijking van de verdeling.

$$\sigma^2(x) = E\left\{(x - \mu(x))^2\right\} = \int_{-\infty}^{+\infty} (\xi - \mu(x))^2 \cdot f_x(\xi) \, d\xi$$

k = $\frac{\mu^2}{\sigma^2}$



Bakkentransport Natte Waterbouw

Bijlage E

Berekeningen van de probabilistische analyse.

BEREKENING – 1 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

Laadcapaciteit $\left(\frac{\text{ton}}{\text{week}}\right)$ $\mu_{\text{laad}} := 30.240$ $k_{\text{laad}} := 100$	Loscapaciteit $\left(\frac{\text{ton}}{\text{week}}\right)$ $\mu_{\text{los}} := 27.737$ $k_{\text{los}} := 100$
--	---

Geeft

$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}}$ $\sigma_{\text{laad}} = 3.024$	$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}}$ $\sigma_{\text{los}} = 2.774$
--	--

$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}}$ $V_{\text{laad}} = 0.1$	$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}}$ $V_{\text{los}} = 0.1$
--	--

Berekening

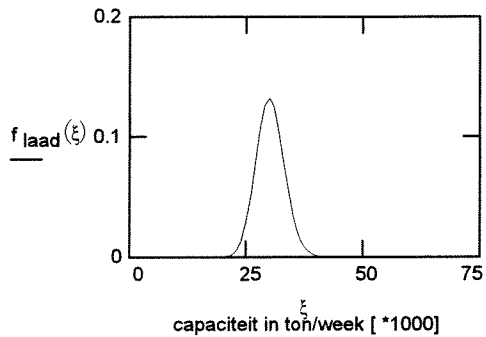
$\xi := 0..75$ $\zeta := 0..75$

Laadcapaciteit

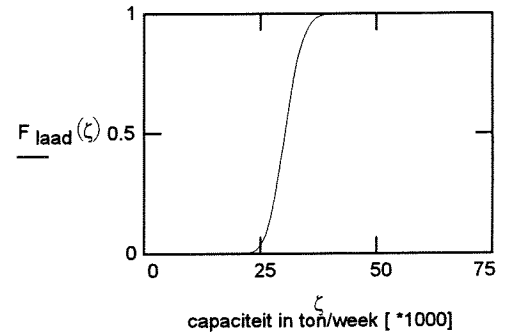
$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}}^{k_{\text{laad}}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Laadcapaciteit



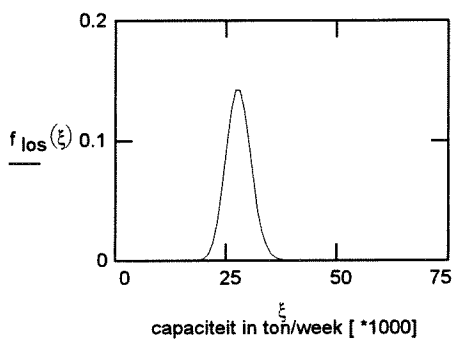
Verdelingscurve Laadcapaciteit

Loscapaciteit

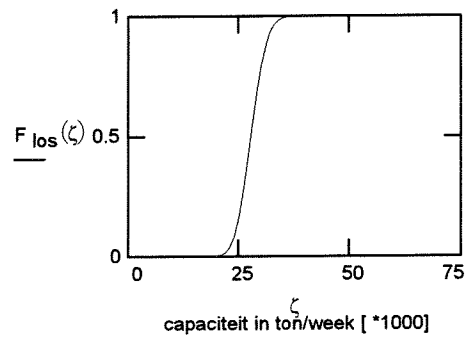
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

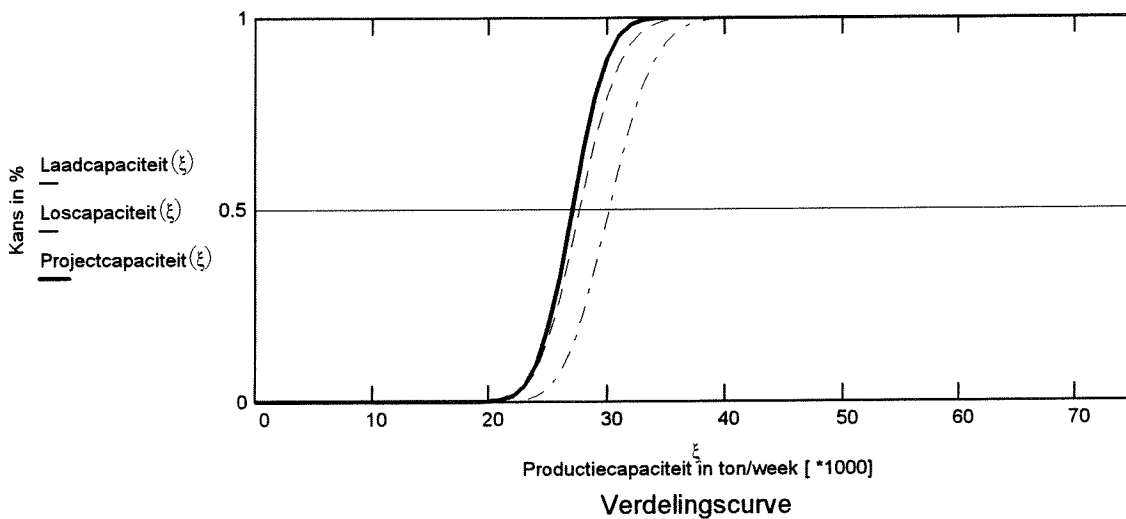


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right] \cdot -1$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



Verdelingscurve

met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentiëren

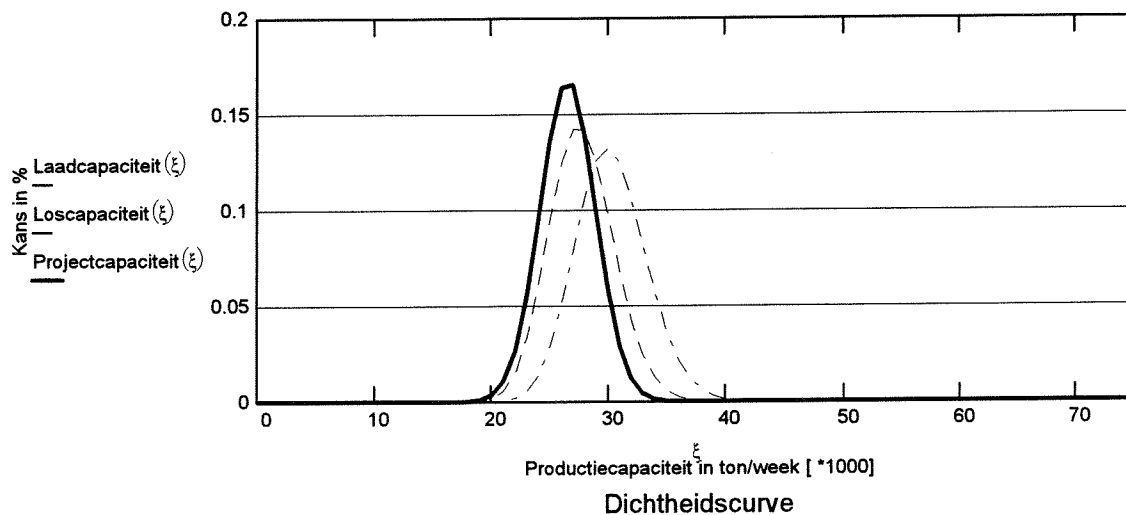
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING - 1 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 26.560 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 2.371 \text{ ton per week}$$

BEREKENING - 2 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

$$\text{Laadcapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{laad}} := 30.240$$

$$k_{\text{laad}} := 150$$

$$\text{Loscapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{los}} := 27.737$$

$$k_{\text{los}} := 150$$

Geeft

$$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}} \quad \sigma_{\text{laad}} = 2.469$$

$$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}} \quad \sigma_{\text{los}} = 2.265$$

$$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}} \quad V_{\text{laad}} = 0.082$$

$$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}} \quad V_{\text{los}} = 0.082$$

Berekening

$$\xi := 0..75$$

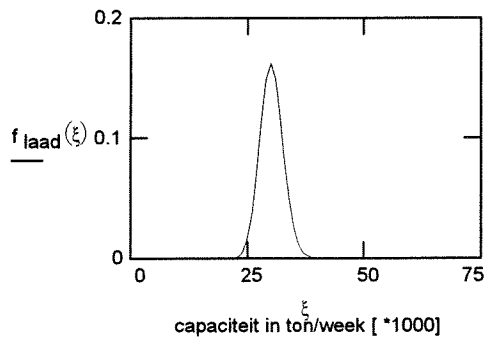
$$\zeta := 0..75$$

Laadcapaciteit

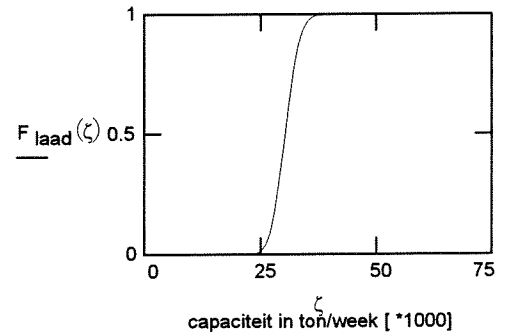
$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}}^{k_{\text{laad}}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Laadcapaciteit



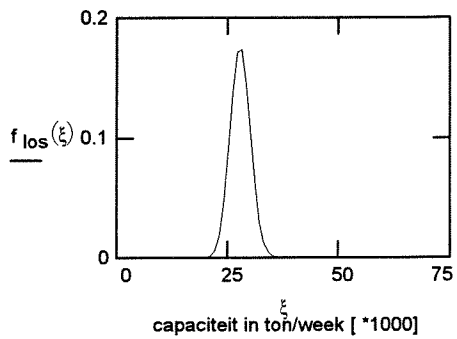
Verdelingscurve Laadcapaciteit

Loscapaciteit

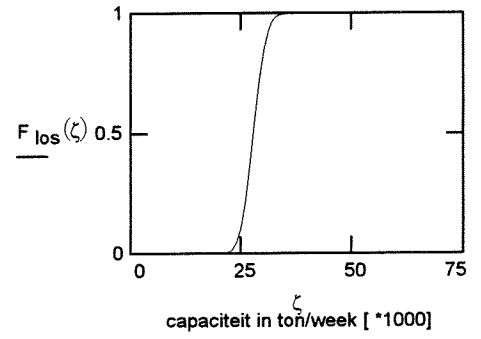
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}} - 1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

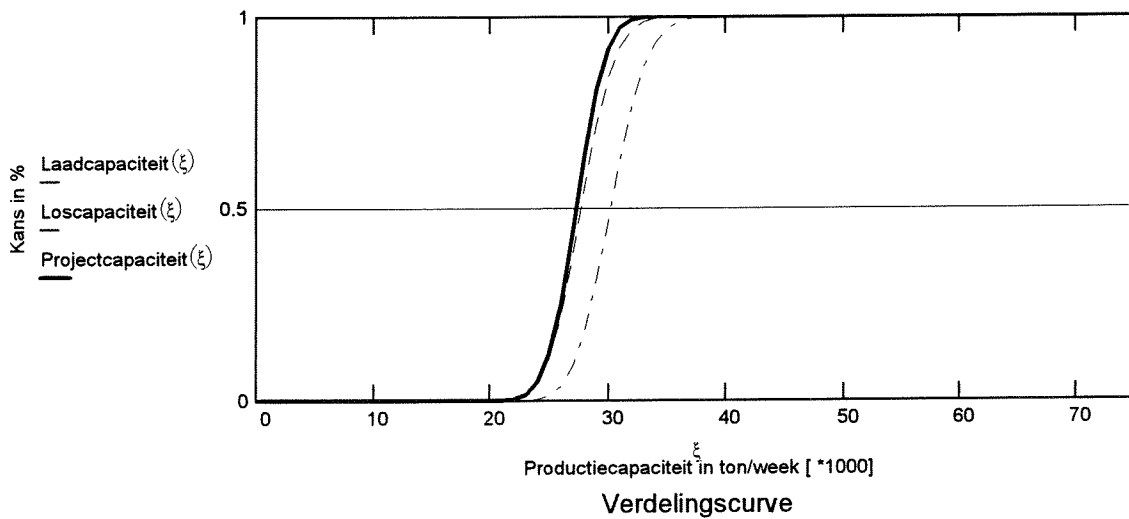


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right] \cdot -1$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



Verdelingscurve

met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentiëren

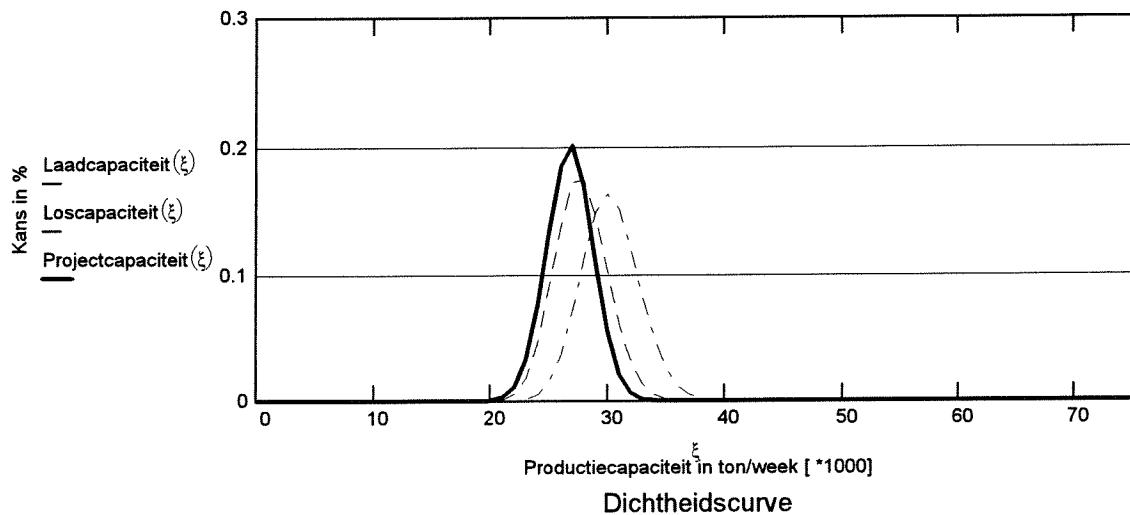
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING – 2 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 26.798 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 1.986 \text{ ton per week}$$

BEREKENING – 3 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

Laadcapaciteit $\left(\frac{\text{ton}}{\text{week}}\right)$	Loscapaciteit $\left(\frac{\text{ton}}{\text{week}}\right)$
$\mu_{\text{laad}} := 30.240$	$\mu_{\text{los}} := 27.737$
$k_{\text{laad}} := 10$	$k_{\text{los}} := 10$

Geeft

$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}}$	$\sigma_{\text{laad}} = 9.563$	$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}}$	$\sigma_{\text{los}} = 8.771$
$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}}$	$V_{\text{laad}} = 0.316$	$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}}$	$V_{\text{los}} = 0.316$

Berekening

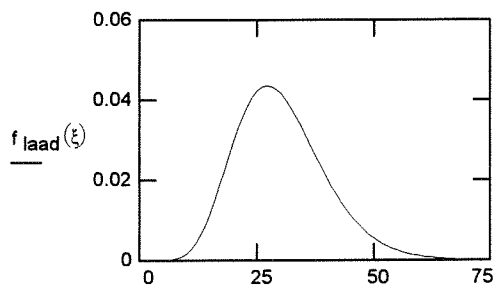
$\xi := 0..75$ $\zeta := 0..75$

Laadcapaciteit

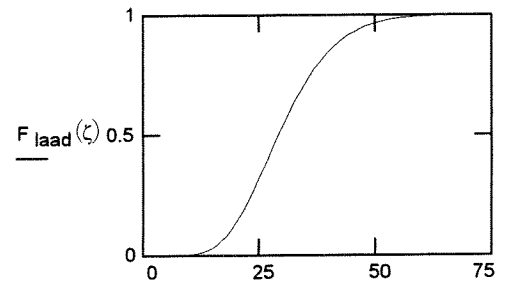
$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}}^{k_{\text{laad}}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}} - 1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) \, d\xi$$



Dichtheidscurve Laadcapaciteit



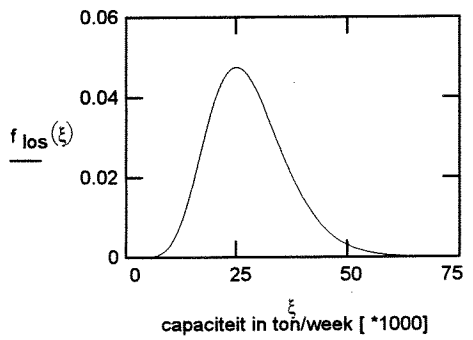
Verdelingscurve Laadcapaciteit

Loscapaciteit

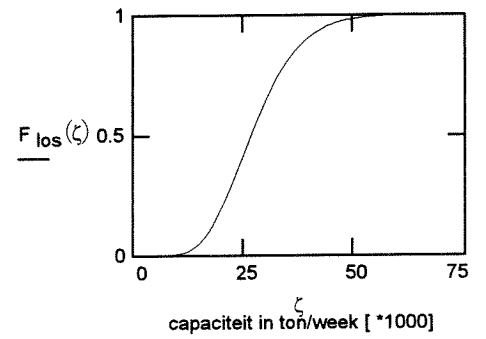
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

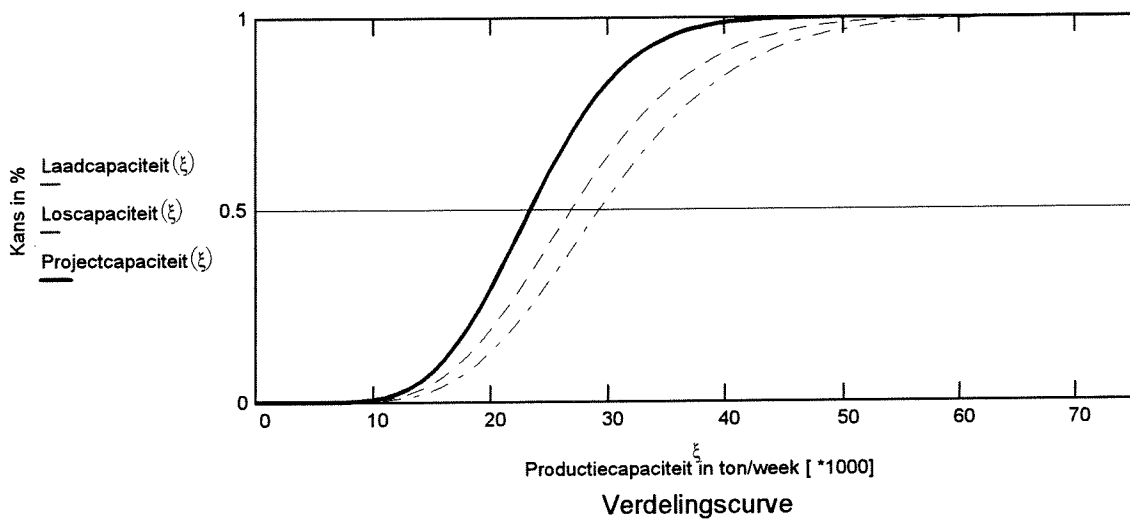


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right] \cdot -1$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



Verdelingscurve

met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentieren

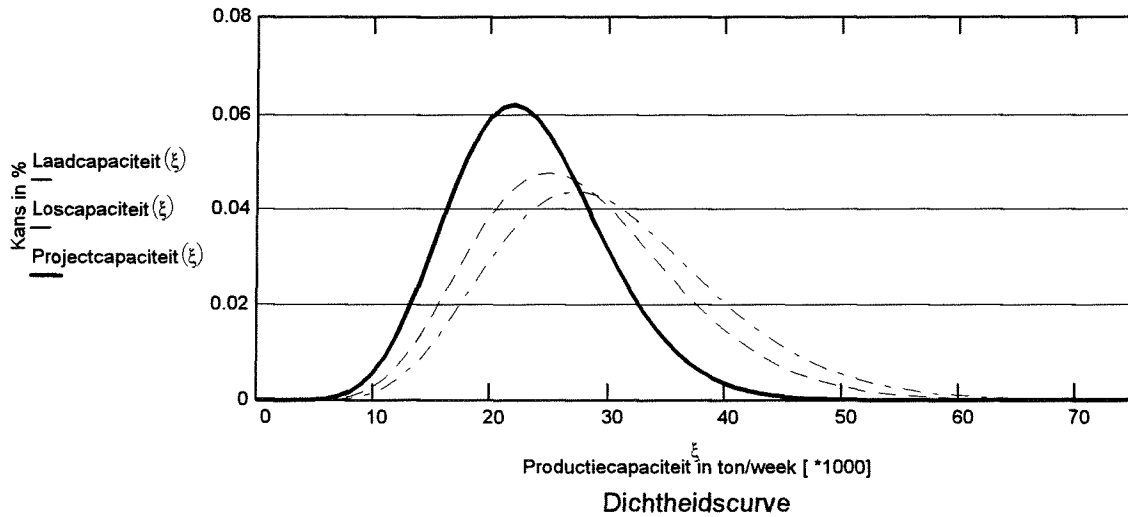
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING – 3 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 23.286 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 6.566 \text{ ton per week}$$

BEREKENING – 4 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

$$\text{Laadcapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{laad}} := 30.240$$

$$k_{\text{laad}} := 50$$

$$\text{Loscapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{los}} := 27.737$$

$$k_{\text{los}} := 10$$

Geeft

$$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}} \quad \sigma_{\text{laad}} = 4.277$$

$$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}} \quad \sigma_{\text{los}} = 8.771$$

$$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}} \quad V_{\text{laad}} = 0.141$$

$$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}} \quad V_{\text{los}} = 0.316$$

Berekening

$$\xi := 0..75$$

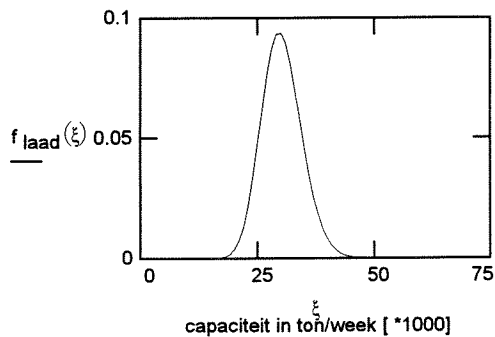
$$\zeta := 0..75$$

Laadcapaciteit

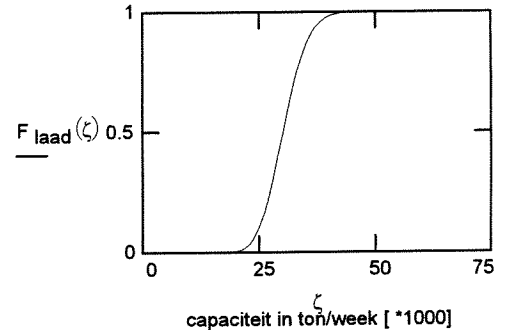
$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Laadcapaciteit



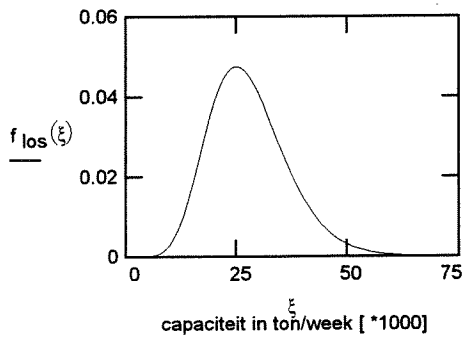
Verdelingscurve Laadcapaciteit

Loscapaciteit

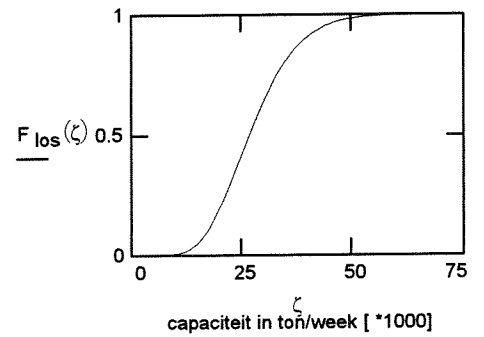
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

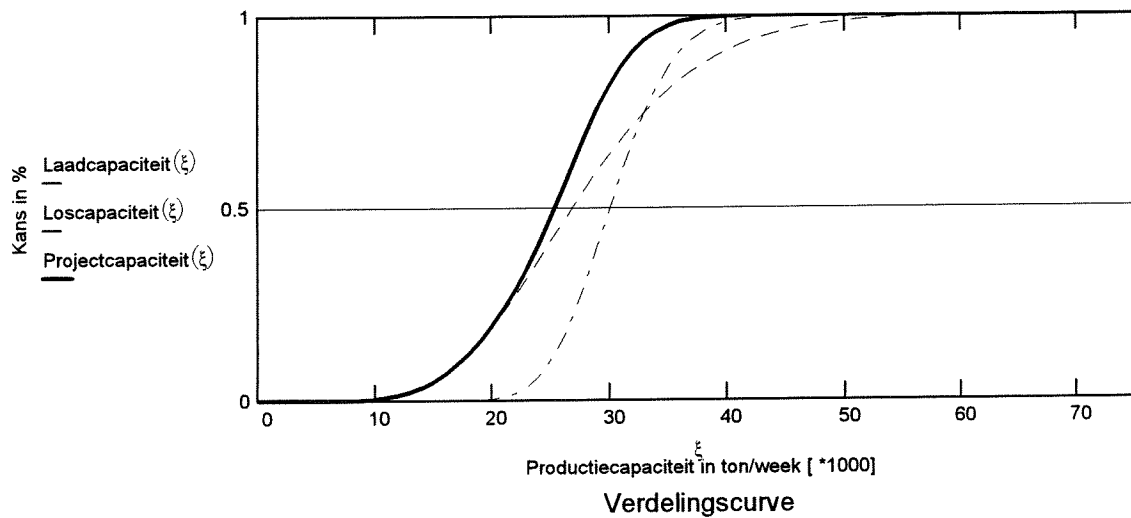


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right] \cdot -1$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



Verdelingscurve

met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentiëren

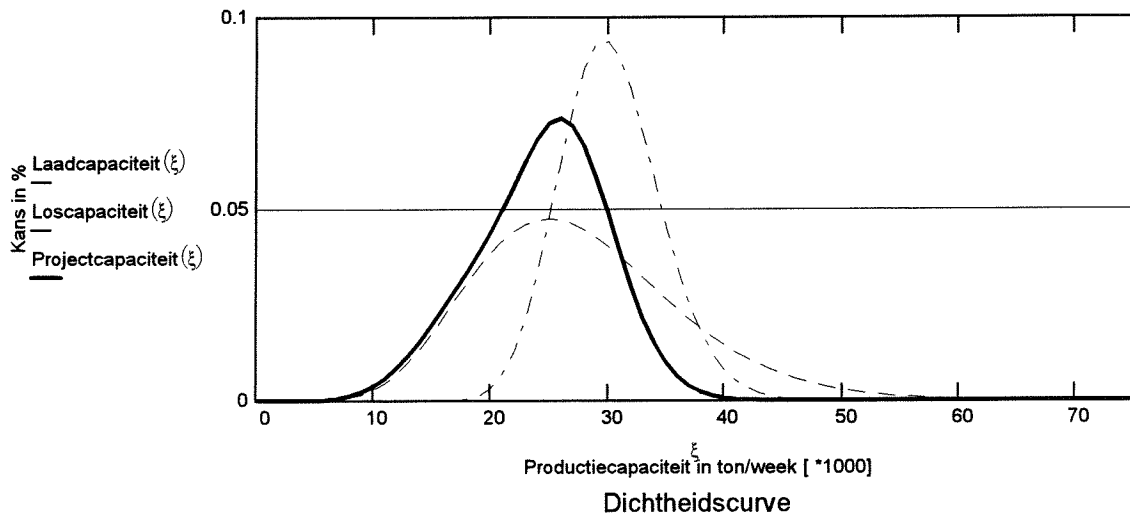
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING – 4 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 24.430 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) \, d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 5.604 \text{ ton per week}$$

BEREKENING - 5 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

$$\text{Laadcapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{laad}} := 27.737$$

$$k_{\text{laad}} := 100$$

$$\text{Loscapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{los}} := 27.737$$

$$k_{\text{los}} := 100$$

Geeft

$$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}} \quad \sigma_{\text{laad}} = 2.774$$

$$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}} \quad \sigma_{\text{los}} = 2.774$$

$$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}} \quad V_{\text{laad}} = 0.1$$

$$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}} \quad V_{\text{los}} = 0.1$$

Berekening

$$\xi := 0..75$$

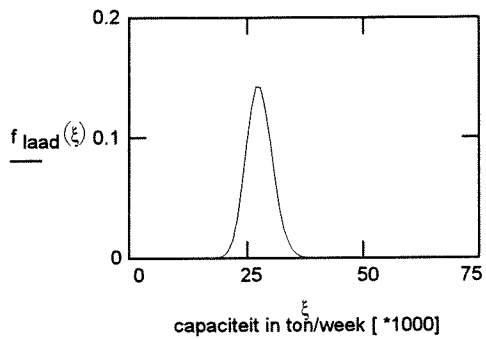
$$\zeta := 0..75$$

Laadcapaciteit

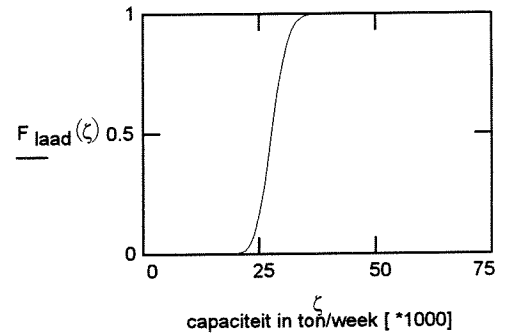
$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}}^{k_{\text{laad}}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Laadcapaciteit



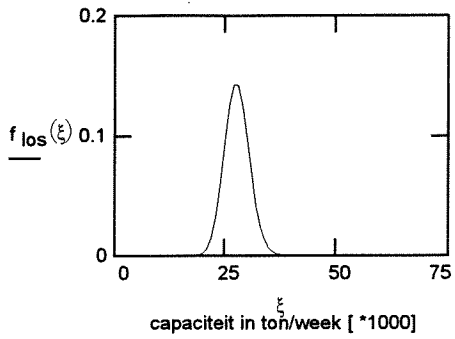
Verdelingscurve Laadcapaciteit

Loscapaciteit

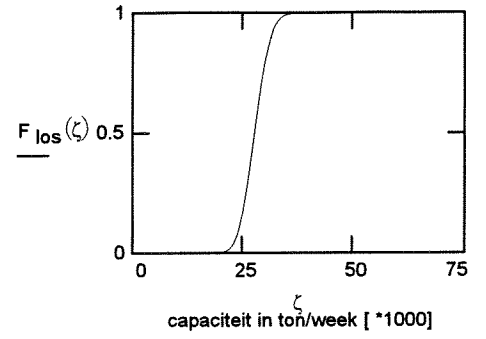
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

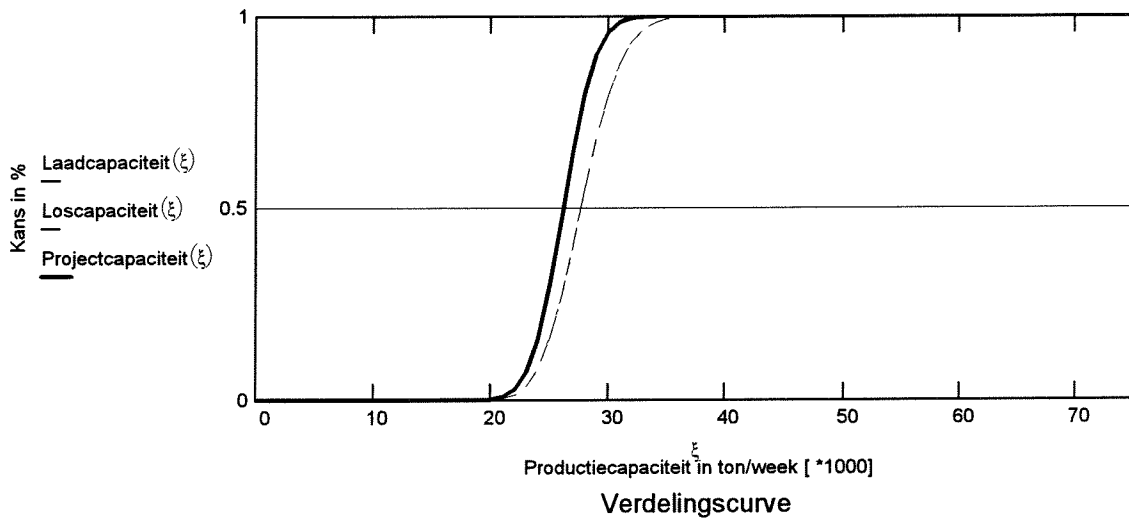


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right] \cdot -1$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



Verdelingscurve

met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentieren

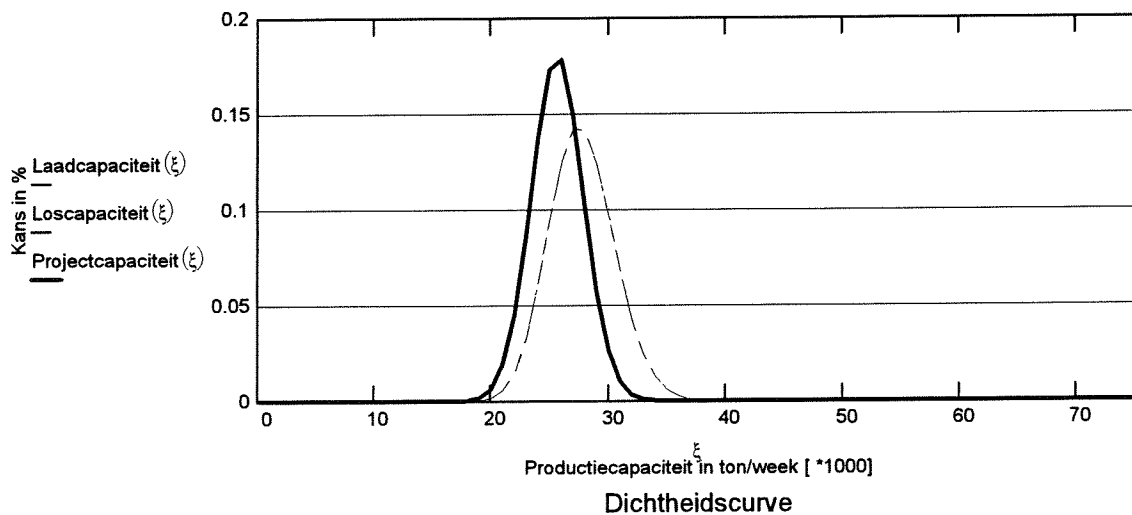
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING - 5 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 25.674 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 2.214 \text{ ton per week}$$

BEREKENING – 6 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

Laadcapaciteit $\left(\frac{\text{ton}}{\text{week}}\right)$ $\mu_{\text{laad}} := 27.737$ $k_{\text{laad}} := 10$	Loscapaciteit $\left(\frac{\text{ton}}{\text{week}}\right)$ $\mu_{\text{los}} := 27.737$ $k_{\text{los}} := 10$
---	--

Geeft

$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}}$ $\sigma_{\text{laad}} = 8.771$	$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}}$ $\sigma_{\text{los}} = 8.771$
$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}}$ $V_{\text{laad}} = 0.316$	$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}}$ $V_{\text{los}} = 0.316$

Berekening

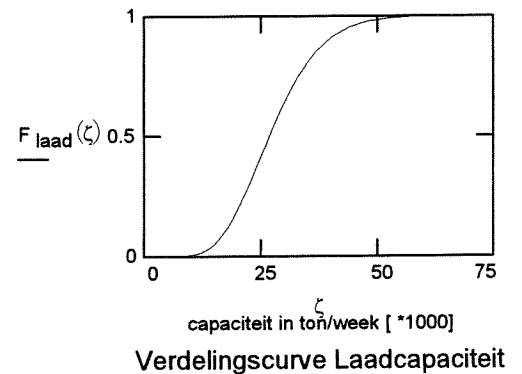
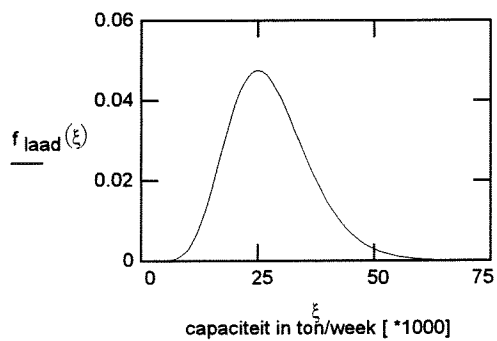
$\xi := 0..75$ $\zeta := 0..75$

Laadcapaciteit

$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}}^{k_{\text{laad}}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}} - 1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) d\xi$$

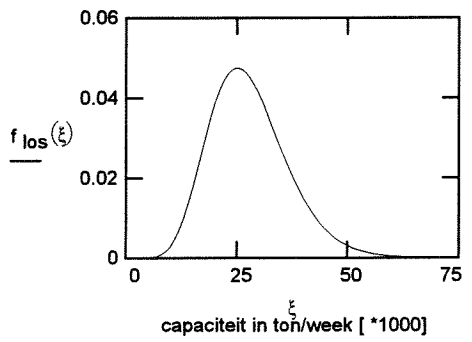


Loscapaciteit

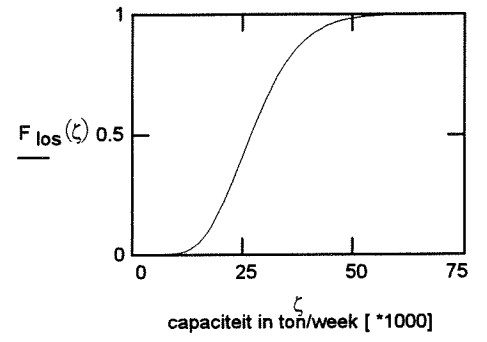
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}} - 1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

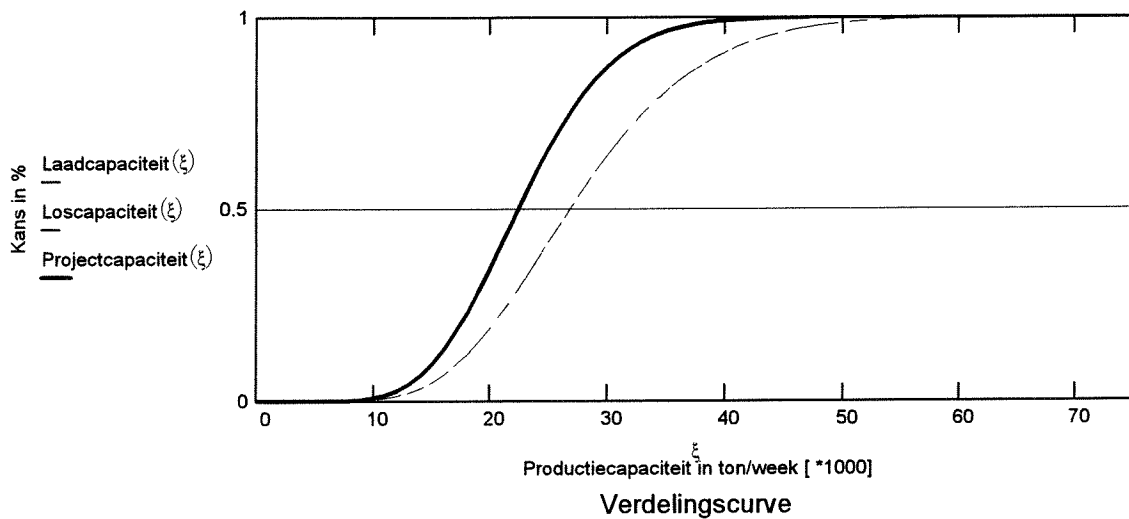


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right]^{-1}$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



Verdelingscurve

met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentieren

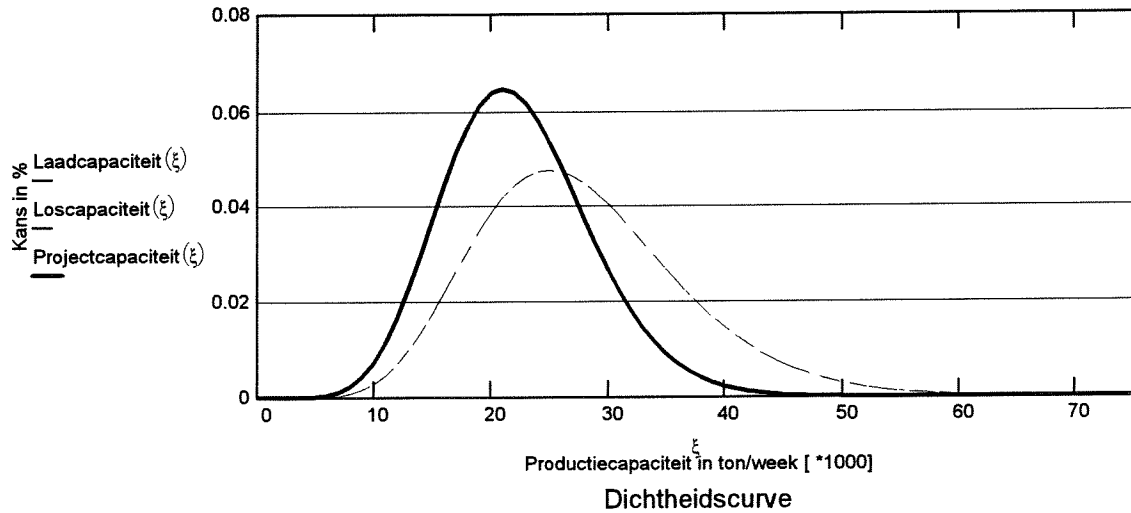
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING - 6 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 22.350 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 6.291 \text{ ton per week}$$

BEREKENING - 7 PROJECTCAPACITEIT

Invoergegevens

Aannamen : De verdelingen worden beschreven door de Erlang-K functie.

$$\text{Laadcapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{laad}} := 27.737$$

$$k_{\text{laad}} := 50$$

$$\text{Loscapaciteit} \left(\frac{\text{ton}}{\text{week}} \right)$$

$$\mu_{\text{los}} := 27.737$$

$$k_{\text{los}} := 10$$

Geeft

$$\sigma_{\text{laad}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{laad}}^2}{k_{\text{laad}}}} \quad \sigma_{\text{laad}} = 3.923$$

$$\sigma_{\text{los}} := \sqrt{\frac{\mu_{\text{los}}^2}{k_{\text{los}}}} \quad \sigma_{\text{los}} = 8.771$$

$$V_{\text{laad}} := \frac{\sigma_{\text{laad}}}{\mu_{\text{laad}}} \quad V_{\text{laad}} = 0.141$$

$$V_{\text{los}} := \frac{\sigma_{\text{los}}}{\mu_{\text{los}}} \quad V_{\text{los}} = 0.316$$

Berekening

$$\xi := 0..75$$

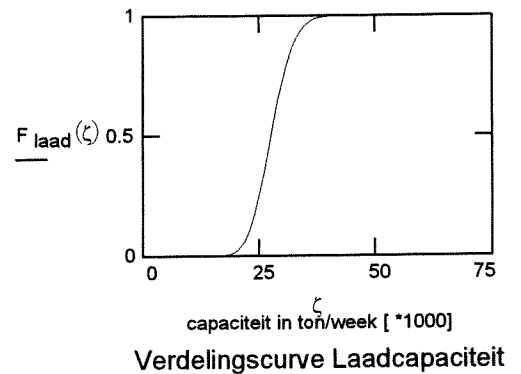
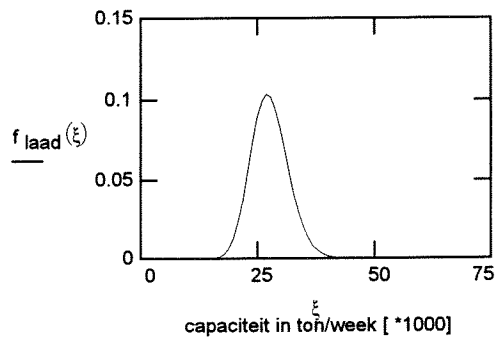
$$\zeta := 0..75$$

Laadcapaciteit

$$\beta_{\text{laad}} := \frac{\mu_{\text{laad}}}{k_{\text{laad}}}$$

$$f_{\text{laad}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{laad}}^{k_{\text{laad}}} \cdot \Gamma(k_{\text{laad}})} \cdot \xi^{(k_{\text{laad}}-1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{laad}}}\right)$$

$$F_{\text{laad}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{laad}}(\xi) d\xi$$

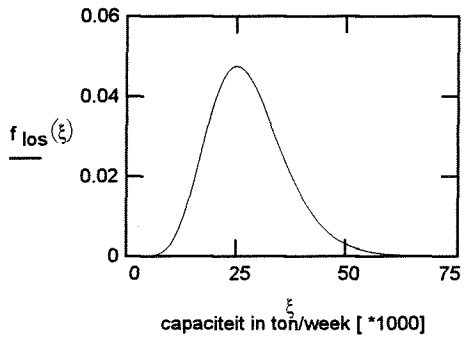


Loscapaciteit

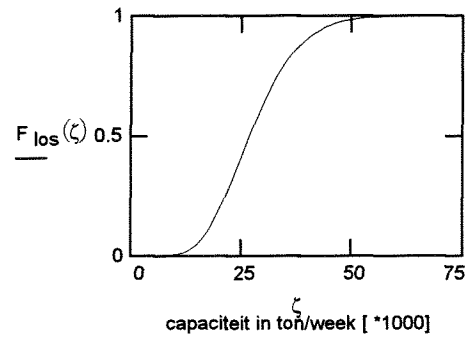
$$\beta_{\text{los}} := \frac{\mu_{\text{los}}}{k_{\text{los}}}$$

$$f_{\text{los}}(\xi) := \frac{1}{\beta_{\text{los}} \cdot k_{\text{los}} \cdot \Gamma(k_{\text{los}})} \cdot \xi^{(k_{\text{los}} - 1)} \cdot \exp\left(-1 \cdot \frac{\xi}{\beta_{\text{los}}}\right)$$

$$F_{\text{los}}(\zeta) := \int_0^{\zeta} f_{\text{los}}(\xi) d\xi$$



Dichtheidscurve Loscapaciteit

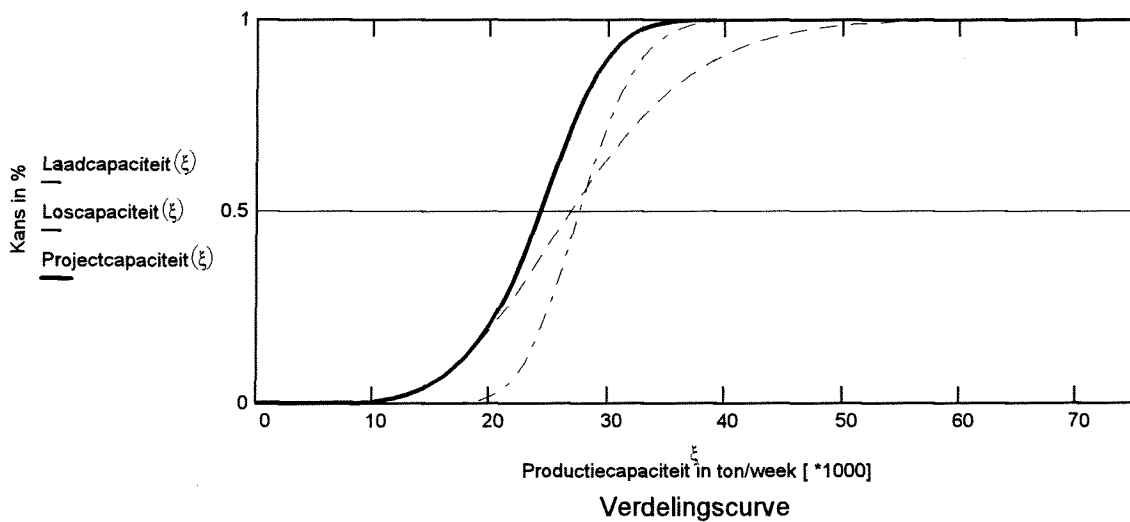


Verdelingscurve Loscapaciteit

Projectcapaciteit

$$F_{\text{project}}(\zeta) := \left[(1 - F_{\text{laad}}(\zeta)) \cdot (1 - F_{\text{los}}(\zeta)) - 1 \right] \cdot -1$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := F_{\text{project}}(\xi) \quad \text{Laadcapaciteit}(\xi) := F_{\text{laad}}(\xi) \quad \text{Loscapaciteit}(\xi) := F_{\text{los}}(\xi)$$



met behulp van Euler de verdelingsfuncties differentieren

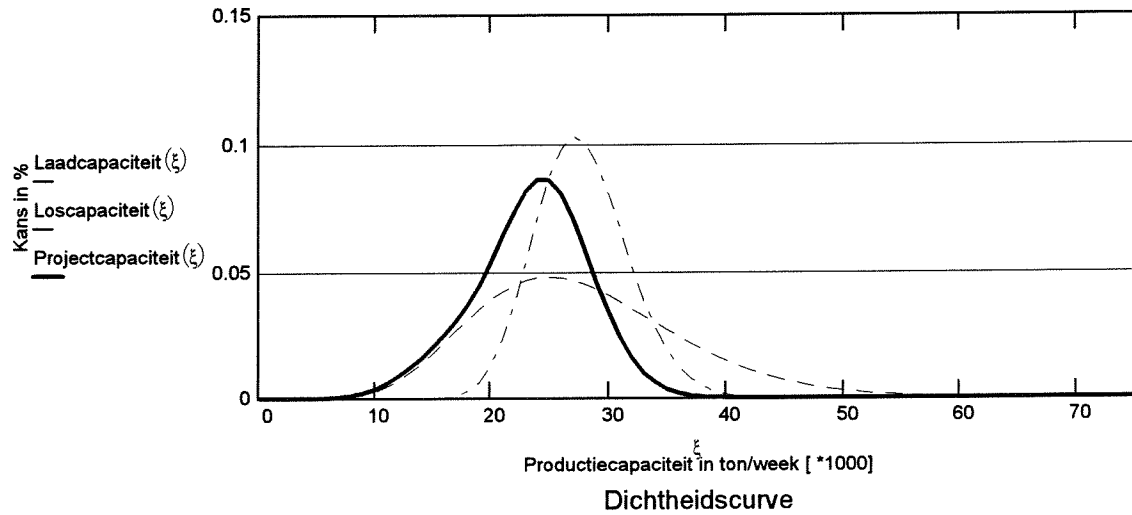
$$h := 1$$

$$f_{\text{project}}(\xi) := -1 \cdot \left(\frac{F_{\text{project}}(\xi) - F_{\text{project}}(\xi + 1)}{h} \right)$$

$$\text{Laadcapaciteit}(\xi) := f_{\text{laad}}(\xi)$$

$$\text{Loscapaciteit}(\xi) := f_{\text{los}}(\xi)$$

$$\text{Projectcapaciteit}(\xi) := f_{\text{project}}(\xi)$$



Resultaten

BEREKENING - 7 PROJECTCAPACITEIT

$$\mu_{\text{project}} := \int_0^{100} \xi \cdot f_{\text{project}}(\xi) d\xi$$

$$\mu_{\text{project}} = 23.437 \text{ ton per week}$$

$$\sigma_{\text{project}} := \sqrt{\int_0^{100} (\xi - \mu_{\text{project}})^2 \cdot f_{\text{project}}(\xi) d\xi}$$

$$\sigma_{\text{project}} = 4.956 \text{ ton per week}$$

Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage F

De uitvoer van het simulatieprogramma BakSim van
het aangenomen basisscenario.

De uitvoer van het simulatieprogramma BakSim van het aangenomen basisscenario.

```

Invoerfile : default.inp
Starttijd  : 15:44:18
Eindtijd   : 16:51:12
{ invoerfile = } default.inp
{ Uitvoerfile = } default.out
{ WerkWeek in dagen      = } 7
{ WerkDag in uren       = } 24
{ Simulatieduur in weken = } 52
{ Aantal Simulaties     = } 1000
{ Afroep Vertraging     = } 0
{ Verlet Verwerking     = } 1
{ Aantal laadstations   = } 1
{ Aantal losstations    = } 1
{ Aantal lege bakken    = } 2
{ Aantal volle bakken   = } 0
{ Aantal boten in wachtrij LEEG LAAD = } 2
{ Aantal boten in wachtrij VOL LAAD = } 0
{ Aantal boten in wachtrij VOL LOS = } 0
{ Aantal boten in wachtrij LEEG LOS = } 0
{ van LegeBakSet        naar LegeBakLaad      = } 'Uniform (0.25,0.75)'
{ van LegeBakLaad       naar Wachtrij Vol Laad = } 'uniform (0,0)'
{ van Wachtrij Leeg Laad naar VolleBakLaad    = } 'Constant (0.5)'
{ van Wachtrij Vol Laad naar VolleBakLaad    = } 'uniform (0,0)'
{ van VolleBakLaad      naar VolleBakSet      = } 'Uniform (1,1.5)'
{ van VolleBakSet       naar Wachtrij Vol Los = } 'uniform (0,0)'
{ van Wachtrij Leeg Los  naar VolleBakSet     = } 'Constant (0.5)'
{ van Wachtrij Vol Los  naar VolleBakSet     = } 'Constant (0)'
{ van VolleBakSet       naar VolleBakLos     = } 'Uniform (0.25,0.75)'
{ van VolleBakLos       naar Wachtrij Leeg Los = } 'Constant (0)'
{ van Wachtrij Leeg Los  naar LegeBakLos     = } 'Constant (0)'
{ van Wachtrij Vol Los  naar LegeBakLos     = } 'Constant (0.5)'
{ van LegeBakLos        naar LegeBakSet      = } 'Uniform (0.75,1.25)'
{ van LegeBakSet        naar Wachtrij Leeg Laad = } 'Constant (0)'
{ van Wachtrij Leeg Laad naar LegeBakSet     = } 'Constant (0)'
{ van Wachtrij Vol Laad naar LegeBakSet     = } 'Constant (0.5)'
{ van Wachtrij Leeg Los  naar Wachtrij Vol Laad = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Vol Los  naar Wachtrij Vol Laad = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Vol Laad naar Wachtrij Vol Los = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Vol Laad naar Wachtrij Leeg Los = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Vol Los  naar Wachtrij Leeg Laad = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Leeg Los  naar Wachtrij Leeg Laad = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Leeg Laad naar Wachtrij Vol Los = } 'Uniform (0.5,1)'
{ van Wachtrij Leeg Laad naar Wachtrij Leeg Los = } 'Uniform (0.5,1)'
{ BootVerlet           = } 'Constant (0)'
{ BakVerlet            = } 'Constant (0)'
{ ExternVerlet         = } 'Constant (15)'
{ Laadcapaciteit       = } 'Normal (60,6,40,80)'
{ LaadVerlet           = } 'Constant (0.5)'
{ Loscapaciteit        = } 'Normal (80,8,30,150)'
{ LosVerlet            = } 'Exponential (3.45,0.48)'
{ Bakvulling LegeBakken = } 'Uniform (1000,1400)'
                          'Uniform (1000,1400)'
{ Bakvulling VolleBakken = }
{ Kosten per laadstation per week : } 35000
{ Kosten per losstation per week : } 60000
{ Kosten per Boot per week : } 17000 17000
{ Kosten per bak per week : } 8000 8000

```

Time= 0.00

Queue	Average length	Actual length	Max. length	Number passed	Direct passed	Average waittime	Maximum waittime	Time since QReset
BakRij	2	2	2	4	4	0	0	8736000
BakVerlet	0	0	1	368855	368855	0	0	8736000
Boekhoud	2	2	2	212002	2002	82.41	293.44	8736000
Boekhoud	2	2	2	212002	2002	82.41	293.44	8736000
Boekhoud	1	1	1	106001	1001	82.41	293.44	8736000
Boekhoud	1	1	1	106001	1001	82.41	293.44	8736000
BootRij	2	2	2	8	8	0	0	8736000
BootVerlet	0	0	1	368855	368855	0	0	8736000
Extern	0	0.08	0	1	47281	0	15	15
Extern	0	0.07	0	1	41738	0	15	15
ExternLAV	0	0	0	0	0	0	8736000	0
ExternLA	0	0.01	0	1	4719	0	15	15
ExternLOV	0	0	0	0	0	0	8736000	0
ExternLO	0	0.02	0	1	10262	0	15	15
LaadMana	1	1	1	369820	0	23.62	68.88	8736000
LaadVerlet	0	0	1	369820	369820	0	0	8736000
Laadstatio	1	1	1	1	1	0	0	8736000
Laden	0.9	0	1	370722	0	21.3	48	8736000
LegeBakL	0	0	1	370722	370722	0	0	8736000
LegeBakL	0	0	1	368894	368894	0	0	8736000
LegeBakM	1	1	11237699	394659	7.06	49.74	8736000	0
LegeBakS	0.1	2	2	370855	182117	2.31	42.26	8736000
LosManag	1	1	1	368894	0	23.68	90.02	8736000
LosVerletR	0	0	1	368894	368894	0	0	8736000
Lossen	0.81	0	1	369706	0	19.07	57.61	8736000
Losstation	1	1	1	1	1	0	0	8736000
Varen	0	0.02	0	1	370750	0	0.54	15.73
Varen	0	0	0	1	370722	370722	0	0
Varen	0	0.05	0	1	368894	0	1.09	16.23
Varen	0	0	0	1	368855	368855	0	0
Varen	0	0.06	0	1	369820	0	1.36	16.48
Varen	0	0	0	1	369770	369770	0	0
Varen	0	0.02	0	1	369733	0	0.55	15.74
Varen	0	0	0	1	369706	369706	0	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	1	369820	369820	0	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	1	369733	369733	0	0
Varen	0	0	0	1	368894	368894	0	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	1	370750	370750	0	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
Varen	0	0	0	0	0	0	8736000	0
VolleBakL	0	0	1	369706	369706	0	0	8736000
VolleBakM	1	1	11502004	324895	5.82	56.4	8736000	0
VolleBakS	0.04	0	1	369770	290174	0.97	35.28	8736000
Vollebakla	0	0	1	369820	369820	0	0	8736000
Wachtrij	1	0.1	1	1	370722	300	2.26	38.31
Wachtrij	2	0.19	1	1	369706	163	4.56	46.57
Wachtrij	0	0.9	0	1	370722	0	21.3	48
Wachtrij	0	0.04	0	1	369770	290174	0.97	35.28
Wachtrij	0	0.1	2	2	370855	182117	2.31	42.26
Wachtrij	0	0.81	0	1	369706	0	19.07	57.61
Werkrij	1	0.9	0	1	370722	0	21.3	48
Werkrij	2	0.81	0	1	369706	0	19.07	57.61

ALGEMENE INFORMATIE :

Invoerfile : default.inp
 Uitvoerfile : default.out
 Datum/tijd :

SPECIFIEKE INFORMATIE VAN GESIMULEERDE WERK :

Een WerkWeek heeft 7 dagen.
 Een Werkdag heeft 24 uren.
 Het scenario duurt 52.0 weken en is 1000 maal gesimuleerd.

UITKOMSTEN :

Productie gegevens :

- De gemiddelde week productie komt op 8510 ton.
 (stdev. = 772)
- Gedurende het project (52.0 weken) wordt gemiddeld 442506 ton materiaal verwerkt.
 (stdev. = 3406)

Financiële gegevens :

- De totale globale kosten zijn 7540000 gulden.
- De globale verwerkingsprijs is 17.0393 gulden/ton.

Kostenverdeling : % cum.%

- LaadLocatie	24.1	24.1
- LosLocatie	41.4	65.5
- Boten	23.4	89.0
- Bakken	11.0	100.0

Materieel gegevens (100% = 168uur/wk) :

- De bezettingsgraad van de boten : 7.5 % (13 [uur/wk]
- De bezettingsgraad van de bakken : 85.4 % (143 [uur/wk])
- De bezettingsgraad van de laadlocatie
 - * bezettingsgraad kade : 82.3 % (138 [uur/wk])
 - * bezettingsgraad laadmaterieel : 82.3 % (138 [uur/wk])
- De bezettingsgraad van de loslocatie
 - * bezettingsgraad afmeerplaats : 73.5 % (124 [uur/wk])
 - * bezettingsgraad losmaterieel : 73.5 % (124 [uur/wk])

 Overzicht van de tijdverdeling van het materieel.

(100% = 168 uur/wk)

Locatie van de Boten :

- varen	: 7.5 %	Locatie van de Bakken :	- varen	: 7.5 %
- wachten bij lege bakken	: 4.9 %	- wachten leeg	: 4.9 %	
- wachten bij laadlocatie	: 45.2 %	- wachten vol	: 2.1 %	
- wachten bij volle bakken	: 2.1 %	- wachten voor laden	: 45.2 %	
- wachten bij loslocatie	: 40.3 %	- wachten voor lossen	: 40.3 %	
- verlet	: 0.0 %	- verlet	: 0.0 %	

Laadmaterieel :

- laden	: 82.3 %
- wachten	: 8.8 %
- verlet	: 0.0 %
- ExternVerlet	: 8.9 %

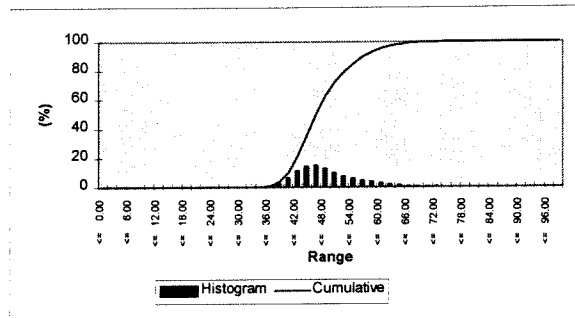
Losmaterieel :

- lossen	: 73.5 %
- wachten	: 17.5 %
- verlet	: 0.0 %
- ExternVerlet	: 8.9 %

Cyclustijd van de boten

Total		Excluding zero		Minimum	21.231
Entries	368751	Entries	368751	90% Quantile	
Mean	47.2	Mean	47.2	95% Quantile	
Std.Deviation	6.491	Std.deviation	6.491	Maximum	89.736

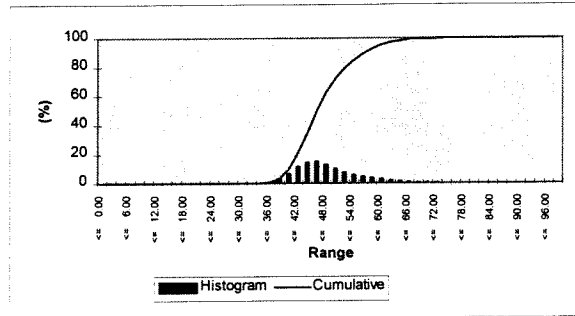
<= 0.00	0	0
<= 2.00	0	0
<= 4.00	0	0
<= 6.00	0	0
<= 8.00	0	0
<= 10.00	0	0
<= 12.00	0	0
<= 14.00	0	0
<= 16.00	0	0
<= 18.00	0	0
<= 20.00	0	0
<= 22.00	0	0
<= 24.00	0	0
<= 26.00	0	0
<= 28.00	0	0
<= 30.00	0	0
<= 32.00	0	0
<= 34.00	0.1	0.1
<= 36.00	0.6	0.7
<= 38.00	2.7	3.4
<= 40.00	6.4	9.9
<= 42.00	11.1	21
<= 44.00	14.3	35.3
<= 46.00	14.7	50
<= 48.00	12.6	62.6
<= 50.00	9.6	72.2
<= 52.00	7.2	79.3
<= 54.00	5.6	84.9
<= 56.00	4.4	89.3
<= 58.00	3.5	92.8
<= 60.00	2.6	95.4
<= 62.00	1.7	97.2
<= 64.00	1.1	98.3
<= 66.00	0.7	99
<= 68.00	0.4	99.4
<= 70.00	0.2	99.6
<= 72.00	0.2	99.8
<= 74.00	0.1	99.9
<= 76.00	0.1	99.9
<= 78.00	0	100
<= 80.00	0	100
<= 82.00	0	100
<= 84.00	0	100
<= 86.00	0	100
<= 88.00	0	100
<= 90.00	0	100
<= 92.00	0	100
<= 94.00	0	100
<= 96.00	0	100
> 96.00	0	100



Cyclustijd van de bakken

Total		Excluding zero		Minimum	21.231
Entries	368751	Entries	368751	90% Quantile	
Mean	47.2	Mean	47.2	95% Quantile	
Std.Deviation	6.491	Std.deviation	6.491	Maximum	89.736

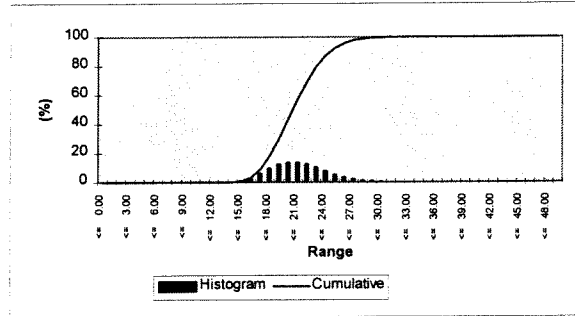
<= 0.00	0	0
<= 2.00	0	0
<= 4.00	0	0
<= 6.00	0	0
<= 8.00	0	0
<= 10.00	0	0
<= 12.00	0	0
<= 14.00	0	0
<= 16.00	0	0
<= 18.00	0	0
<= 20.00	0	0
<= 22.00	0	0
<= 24.00	0	0
<= 26.00	0	0
<= 28.00	0	0
<= 30.00	0	0
<= 32.00	0	0
<= 34.00	0.1	0.1
<= 36.00	0.6	0.7
<= 38.00	2.7	3.4
<= 40.00	6.4	9.9
<= 42.00	11.1	21
<= 44.00	14.3	35.3
<= 46.00	14.7	50
<= 48.00	12.6	62.6
<= 50.00	9.6	72.2
<= 52.00	7.2	79.3
<= 54.00	5.6	84.9
<= 56.00	4.4	89.3
<= 58.00	3.5	92.8
<= 60.00	2.6	95.4
<= 62.00	1.7	97.2
<= 64.00	1.1	98.3
<= 66.00	0.7	99
<= 68.00	0.4	99.4
<= 70.00	0.2	99.6
<= 72.00	0.2	99.8
<= 74.00	0.1	99.9
<= 76.00	0.1	99.9
<= 78.00	0	100
<= 80.00	0	100
<= 82.00	0	100
<= 84.00	0	100
<= 86.00	0	100
<= 88.00	0	100
<= 90.00	0	100
<= 92.00	0	100
<= 94.00	0	100
<= 96.00	0	100
> 96.00	0	100



Laadtijd Verdeling

Total		Excluding zero		Minimum	13.215
Entries	370722	Entries	370722	90% Quantile	
Mean	20.689	Mean	20.689	95% Quantile	
Std.Deviation	2.858	Std.deviation	2.858	Maximum	35.05

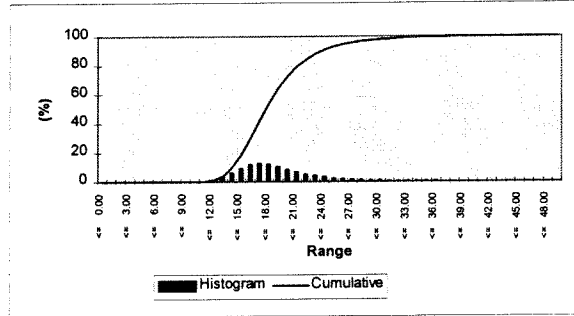
<= 0.00	0	0
<= 1.00	0	0
<= 2.00	0	0
<= 3.00	0	0
<= 4.00	0	0
<= 5.00	0	0
<= 6.00	0	0
<= 7.00	0	0
<= 8.00	0	0
<= 9.00	0	0
<= 10.00	0	0
<= 11.00	0	0
<= 12.00	0	0
<= 13.00	0	0
<= 14.00	0.1	0.1
<= 15.00	0.6	0.7
<= 16.00	2.4	3.1
<= 17.00	5.7	8.8
<= 18.00	9.3	18.1
<= 19.00	12	30.1
<= 20.00	13.4	43.5
<= 21.00	13.4	56.9
<= 22.00	12.4	69.3
<= 23.00	10.3	79.6
<= 24.00	7.7	87.3
<= 25.00	5.3	92.5
<= 26.00	3.3	95.8
<= 27.00	2	97.8
<= 28.00	1.1	98.9
<= 29.00	0.6	99.4
<= 30.00	0.3	99.7
<= 31.00	0.1	99.9
<= 32.00	0.1	99.9
<= 33.00	0	100
<= 34.00	0	100
<= 35.00	0	100
<= 36.00	0	100
<= 37.00	0	100
<= 38.00	0	100
<= 39.00	0	100
<= 40.00	0	100
<= 41.00	0	100
<= 42.00	0	100
<= 43.00	0	100
<= 44.00	0	100
<= 45.00	0	100
<= 46.00	0	100
<= 47.00	0	100
<= 48.00	0	100
> 48.00	0	100



Lostijd Verdeling

Total		Excluding zero		Minimum	10.041
Entries	369706	Entries	369706	90% Quantile	
Mean	18.431	Mean	18.431	95% Quantile	
Std.Deviation	4.127	Std.deviation	4.127	Maximum	42.924

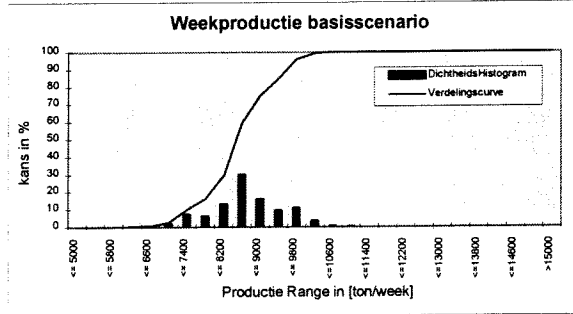
<=	0.00	0	0
<=	1.00	0	0
<=	2.00	0	0
<=	3.00	0	0
<=	4.00	0	0
<=	5.00	0	0
<=	6.00	0	0
<=	7.00	0	0
<=	8.00	0	0
<=	9.00	0	0
<=	10.00	0	0
<=	11.00	0.1	0.1
<=	12.00	0.8	0.9
<=	13.00	2.8	3.7
<=	14.00	5.8	9.5
<=	15.00	8.9	18.3
<=	16.00	11.4	29.8
<=	17.00	12.4	42.2
<=	18.00	11.8	53.9
<=	19.00	10.3	64.2
<=	20.00	8.3	72.5
<=	21.00	6.5	79
<=	22.00	5	84
<=	23.00	4	88
<=	24.00	3	91
<=	25.00	2.1	93
<=	26.00	1.6	94.6
<=	27.00	1.2	95.8
<=	28.00	0.9	96.7
<=	29.00	0.7	97.4
<=	30.00	0.5	97.9
<=	31.00	0.4	98.3
<=	32.00	0.4	98.7
<=	33.00	0.3	99
<=	34.00	0.3	99.3
<=	35.00	0.2	99.6
<=	36.00	0.2	99.7
<=	37.00	0.1	99.8
<=	38.00	0.1	99.9
<=	39.00	0	99.9
<=	40.00	0	100
<=	41.00	0	100
<=	42.00	0	100
<=	43.00	0	100
<=	44.00	0	100
<=	45.00	0	100
<=	46.00	0	100
<=	47.00	0	100
<=	48.00	0	100
>	48.00	0	100



Week Productie

Total		Excluding zero		Minimum	5105.864
Entries	52000	Entries	52000	90% Quantile	
Mean	8509.684	Mean	8509.684	95% Quantile	
Std.Deviation	771.726	Std.deviation	771.726	Maximum	11281.15

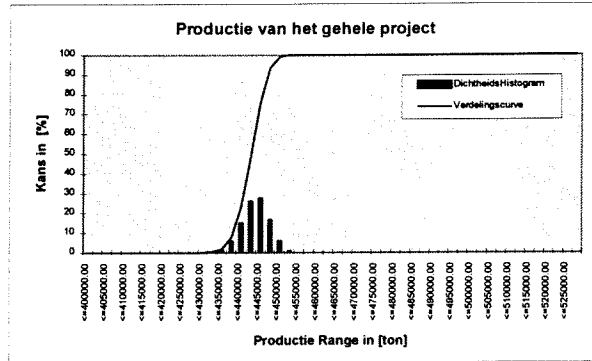
<= 5000	0	0
<= 5400	0	0
<= 5800	0	0
<= 6200	0.2	0.3
<= 6600	0.4	0.6
<= 7000	2	2.6
<= 7400	7.4	10
<= 7800	6.2	16.2
<= 8200	13.1	29.3
<= 8600	30	59.3
<= 9000	15.8	75.1
<= 9400	9.6	84.7
<= 9800	11	95.7
<= 10200	3.5	99.2
<= 10600	0.6	99.8
<= 11000	0.2	100
<= 11400	0	100
<= 11800	0	100
<= 12200	0	100
<= 12600	0	100
<= 13000	0	100
<= 13400	0	100
<= 13800	0	100
<= 14200	0	100
<= 14600	0	100
<= 15000	0	100
> 15000	0	100



Project Productie

Total		Excluding zero		Minimum	430323.1
Entries	1000	Entries	1000	90% Quantile	
Mean	442506	Mean	442506	95% Quantile	
Std.Deviation	3405.887	Std.deviation	3405.887	Maximum	451560.3

<=400000.	0	0
<=402500.	0	0
<=405000.	0	0
<=407500.	0	0
<=410000.	0	0
<=412500.	0	0
<=415000.	0	0
<=417500.	0	0
<=420000.	0	0
<=422500.	0	0
<=425000.	0	0
<=427500.	0	0
<=430000.	0	0
<=432500.	0.4	0.4
<=435000.	1.4	1.8
<=437500.	6	7.8
<=440000.	15	22.8
<=442500.	26	48.8
<=445000.	27.7	76.5
<=447500.	16.7	93.2
<=450000.	6	99.2
<=452500.	0.8	100
<=455000.	0	100
<=457500.	0	100
<=460000.	0	100
<=462500.	0	100
<=465000.	0	100
<=467500.	0	100
<=470000.	0	100
<=472500.	0	100
<=475000.	0	100
<=477500.	0	100
<=480000.	0	100
<=482500.	0	100
<=485000.	0	100
<=487500.	0	100
<=490000.	0	100
<=492500.	0	100
<=495000.	0	100
<=497500.	0	100
<=500000.	0	100
<=502500.	0	100
<=505000.	0	100
<=507500.	0	100
<=510000.	0	100
<=512500.	0	100
<=515000.	0	100
<=517500.	0	100
<=520000.	0	100
<=522500.	0	100
<=525000.	0	100
>525000.	0	100



Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage G

Beschrijving van de testprocedure van het ontwikkelde simulatieprogramma.

Beschrijving van de testprocedure van het ontwikkelde simulatieprogramma BakSim.

Het uiteindelijke simulatieprogramma BakSim heeft de volgende testprocedure doorlopen. Het doel van deze testprocedure is het toetsen of het simulatieprogramma BakSim de theoretisch beschreven bakkentransportproces beschrijft. Hierbij wordt tevens gecontroleerd of de ingevoerde waarden goed worden verrekend.

De testprocedure is verdeeld in een deterministisch en een probabilistisch deel. Hiervoor is gekozen, omdat van een deterministisch-scenario de simulatie relatief eenvoudig analytisch is na te rekenen. Voor een probabilistisch-scenario is dat niet mogelijk.

DETERMINISTISCHE TESTEN

Bij de deterministische testen worden voor alle invoervariabelen constante waarden aangenomen.

D-TEST 01: Nagaan of de invoer daadwerkelijk goed wordt verwerkt; oftewel controleren of de ingevoerde waarden aan de goede variabele wordt toegekend.

Ten behoeve van deze test is voor elke invoervariabele een histogram aangemaakt. Het simulatieprogramma is dusdanig aangepast, dat elke keer als een variabele wordt gebruikt, deze in de histogram wordt opgenomen. Zowel tijdens als na de simulatie, is gecontroleerd of de histogrammen overeenkomen met de deterministisch opgegeven invoervariabelen.

D-TEST 02: Nagaan of de logistiek goed functioneert.

De logistiek functioneert goed, als op de goede momenten de goede beslissingen worden genomen. Alle logistieke beslissingen zijn ondergebracht in procedures met de naam ... manager. Door bij de invoer te variëren met het aantal lege- en vollebakken en de ligging van de boten, kan ervoor gezorgd worden, dat de z.g. 'logistiekmanagers' geactiveerd worden. Deze zullen de boten, indien nodig, naar een andere locatie sturen. Hiermee kunnen alle mogelijke vaarroutes aangesproken worden, zodat tijdens deze test tevens gecontroleerd kan worden of alle vaarroutes daadwerkelijk kunnen worden bevaren.

D-TEST 03: Simuleren met gegevens uit analytische berekeningen.

Van een gegeven scenario de haalbare productie berekenen met de analytische rekenmethode, beschreven in Hoofdstuk 3.1. Het scenario simuleren en controleren of de reeds analytisch berekende productie wordt benaderd.

Op deze manier zijn 4 scenario's gesimuleerd. Bij de invoer ten behoeve van de simulaties, zijn alleen de gegevens, welke gebruikt zijn in de analytische berekening, ingevoerd. De overige invoervariabelen zijn op nul gesteld.

De berekende productie's behoren overeen te komen. Echter moet gewezen worden op het feit, dat het simulatieprogramma rekening houdt met 'begin' effecten. Dit houdt in dat niet alle bakken direct bij de start kunnen starten met hun eigen cyclus.

Voorbeeld: Stel dat bij de start van een simulatie één laadstation aanwezig is en er vier lege bakken in een rij liggen te wachten voor dit laadstation. Het laadstation zal bak voor bak laden; oftewel, er kan maar 1 bak bij de start van de simulatie starten met z'n eigen proces. Bij de analytische berekening starten alle bakken gelijk bij het begin.

De 'begin' effecten worden bij de analytische berekening dus niet meegenomen. Daarom zal bij het vergelijken van de antwoorden de gevolgen van de 'begin' effecten uit de uitkomsten van het simulatiemodel worden gehaald.

D-TEST 04: Nagaan of alle ingevoerde tijden daadwerkelijk ook als tijd meegenomen worden in de berekening.

Om dit te controleren is een scenario opgesteld met 1 bak, 1 boot, 1 laadstation en 1 losstation. Verder wordt de bakvulling op 1 gesteld. In eerste instantie zijn alle tijden gelijk aan één uur gesteld en is 1 week gesimuleerd.

Hierbij is gecontroleerd of elke tijdvariabele daadwerkelijk ook als tijd wordt berekend. Om de beurt zijn de tijdsvariabelen op 100 uur gezet. Met de hand is berekend, hoe hoog de productie moet zijn na 1 week. Tijdens deze test is gecontroleerd of de verletten goed functioneren.

D-TEST 05: Nagaan of de afroepstrategie werkt.

Om te controleren of de afroepstrategie goed functioneert, zijn 6 testen uitgevoerd. Elke test heeft een andere waarde voor de afroepvertraging, te weten 0%, 20%, 40%, 60%, 80% en 100%. De rest van de invoer-variabelen zijn niet gewijzigd.

D-TEST 06: Controleren of de kosten goed worden berekend.

Met de hand zijn de kosten nagerekend van de simulaties welke uitgevoerd zijn bij D-TEST 04.

D-TEST 07: Controleren of de opgegeven bezettingsgraad in de uitvoer goed is.

De bezettingsgraad wordt berekend met behulp van de 'rijgegevens', welke in de uitvoer zijn opgenomen. Deze test is uitgevoerd met de uitvoergegevens van de simulaties uit D-TEST 04 en D-TEST 9. Bij het berekenen van de bezettingsgraad wordt rekening gehouden met de lengte van een werkweek. (100% = lengte werkweek in uren)

D-TEST 08: Worden de afmetingen van de histogrammen daadwerkelijk bepaald door *BAKHIST.DAT*.

Hiervoor worden de waarden in het file BakHist.dat enkele malen gewijzigd. Tevens wordt gecontroleerd of alle variabelen de juiste histogram waarden krijgen toegekend.

D-TEST 9: Controle of weekpatroon goed wordt verrekend.

Bij deze test is gevarieerd met de gegevens van de werkweek. Nagegaan is, of de totale productie van twee situaties elkaar naderen. Voor het eerste scenario is uitgegaan van een werkweek van 168 uur. Dat wil zeggen dat er 7 dagen per week, 24 uur per dag, wordt gewerkt. Voor het tweede scenario is uitgegaan van een werkweek van 80 uur. Hierbij wordt 16 uur per dag 5 dagen per week gewerkt.

Het eerste scenario wordt gedurende 1 week gesimuleerd en het tweede scenario gedurende twee weken. Het verschil van 8 werkuren tussen beide simulaties mag in het eindresultaat niet worden verwaarloosd.

D-TEST 10: Controleren of de animatie goed werkt.

Hierbij is nagegaan of de afbeeldingen op de juiste plaats staan en of de berekening klopt. Bij deze laatste zal een scenario twee keer worden gesimuleerd, één met de animatie, aan en één met de animatie uit. De uitvoer van beide simulaties moeten met elkaar overeenkomen. Deze test is uitgevoerd met het scenario van D-TEST 9.

D-TEST 11: Controleren of de capaciteit van de laad en losstations goed functioneert.

Hierbij is een scenario aangenomen met een lengte van 1 week. Na de simulatie worden de waarden van de laadsnelheid-, de lossnelheid en de bakvulling verdubbeld. En is het scenario opnieuw gesimuleerd.

Verwachting : Door deze verdubbeling is ook de weekproductie verdubbeld.

D-TEST 12: Nagaan of het programma goed reageert op verkeerde invoergegevens.

Om dit te controleren is het volgende uitgevoerd:

- a. Alle gegevens zijn op nul gezet.
- a. Het invoeren van negatieve waarden.
- a. Een derde persoon die geen verstand van het programma heeft laten spelen.

D-TEST 13: Een eenvoudig scenario invoeren en met de hand een controle berekening uitvoeren.

De simulatie is analytisch nagerekend. Het scenario beschrijft een werk, waarbij 7 dagen per week en 24 uur per dag wordt gewerkt.

Scenario :

- a. 1 laadstation
- a. 1 losstation
- a. 3 bakken
- a. 2 boten
- a. laadtijd = 5 uur (Bakvulling 1000 ton, Laadsnelheid : 200ton/uur)
- a. lostijd = 4 uur (Lossnelheid 250 ton/uur)
- a. vaartijden

legebakset	- legebaklaad	= 1
legebaklaad	- wr vol laad	= 0.1
wr leeg laad	- Vollebaklaad	= -
wr vol laad	- Vollebaklaad	= 0.1
vollebaklaad	- vollebakset	= 10
vollebakset	- wr vol los	= 0.5
wr leeg los	- vollebakset	= -
wr vol los	- vollebakset	= 0.5
vollebakset	- vollebaklos	= 2
vollebaklos	- wr leeg los	= 0.25
wr leeg los	- legebaklos	= 0.25
wr vol los	- legebaklos	= -
legebaklos	- legebakset	= 5
legebakset	- wr leeg laad	= 0.1
wr leeg laad	- legebakset	= 0.1
wr vol laad	- legebakset	= -

P-TEST 14: Een eenvoudig scenario invoeren en met de hand een controle berekening uitvoeren.

De simulatie is analytisch nagerekend. Het scenario beschrijft een werk, waarbij 7 dagen per week en 24 uur per dag wordt gewerkt.

Scenario :

- a. 1 laadstation
- a. 1 losstation
- a. 6 bakken (4 legebakken en 2 vollebakken)
- a. 4 boten (2 in de WR Vol Laad en 2 in de WR Leeg Los)
- a. laadtijd = 3 uur (Bakvulling :
- a. lostijd = 2 uur
- a. vaartijden

1	legebakset	- legebaklaad	= 1
1a	legebaklaad	- wr vol laad	= 0.25
1b	wr leeg laad	- Vollebaklaad	= 0.50
1c	wr vol laad	- Vollebaklaad	= 0.25
2	vollebaklaad	- vollebakset	= 5
2a	vollebakset	- wr vol los	= 0.25
2b	wr leeg los	- vollebakset	= 0.5
2c	wr vol los	- vollebakset	= 0.25
3	ollebakset	- vollebaklos	= 1
3a	vollebaklos	- wr leeg los	= 0.5
3b	wr leeg los	- legebaklos	= 0.5
3c	wr vol los	- legebaklos	= 0.5
4	legebaklos	- legebakset	= 4
4a	legebakset	- wr leeg laad	= 0.5
4b	wr leeg laad	- legebakset	= 0.5
4c	wr vol laad	- legebakset	= 0.25

PROBABILISTISCHE TESTEN

P-TEST 01 : Nagaan of het programma goed omgaat met verdelingen.

Voor deze test worden de ingevoerde verdelingen gecontroleerd aan de hand van de histogrammen. Deze test wordt gelijk uitgevoerd met P-TEST 02.

P-TEST 02 : De invoergegevens van de testen D-13 en D-14 omzetten van constante waarden naar verdelingen.

Hierbij zijn willekeurige verdelingen aangenomen. Nagegaan is of de variabelen, tijdens de simulatie, de verdelingen volgen.

Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage H

Beschrijving van de testprocedure waarin het simulatieprogramma BakSim getoetst is aan de praktijk.

Confidential

Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage I

Handleiding van het ontwikkelde
simulatieprogramma BakSim.

Confidential

Bakkentransport Natte Waterbouw

Bijlage J

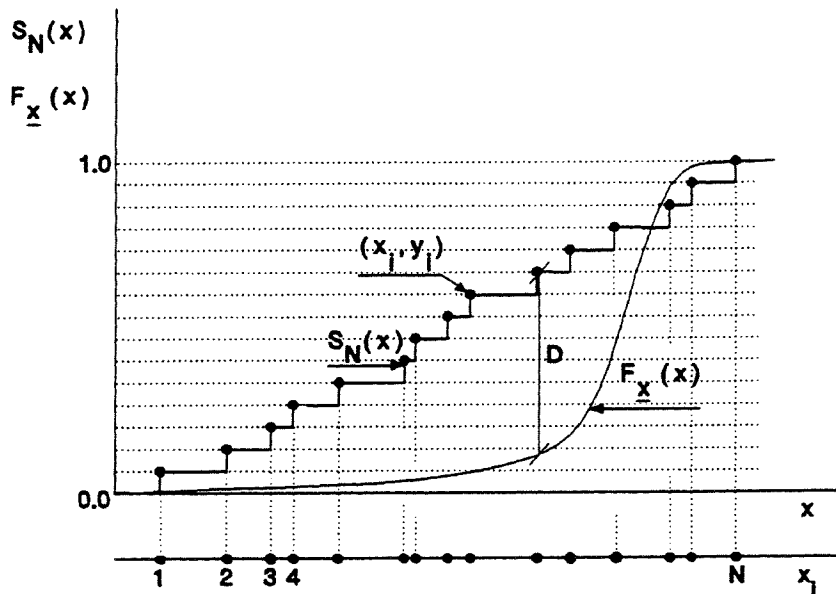
Toelichting op de Kolmogorov Smirnov test.

Toelichting op de Kolmogorov Smirnov test.

Kolmogorov-Smirnov test

De Kolmogorov_Smirnov test (of K.S.-toets) is toepasbaar op niet in klassen ingedeelde waarnemingen uit verdelingen. De "test statistic" is de maximale afwijking van een punt, (x_i, y_i) , van de gekozen verdeling. Deze toets geeft een indicatie van de "aansluiting" (van de GEKOZEN verdeling) bij de waarnemingen in de buurt van de MODALE WAARDE van de POPULATIE als de benadering (type en geschatte parameters) van de populatieverdeling juist is. Voor extrapolaties zijn de STAARTEN van de verdeling van belang.

Als de N waarnemingen x_i ($i = 1, 2, \dots, N$) genoemd worden, dan is $S_N(x)$ de functie die het deel geeft van de waarnemingen die kleiner zijn dan de gegeven waarde x. Deze functie is constant tussen opeenvolgende (dat wil zeggen: op volgorde van grootte gesorteerde) x_i 's en hij heeft een constante toename van $\frac{1}{N}$ bij elke x_i (zie figuur J.1)



Als toetsingsgrootheid wordt de afstand D (zie figuur) gekozen :

$$D = \max_{i=1}^N |S_N(x) - F_x(x)| = \max_{i=1}^N |y_i - F_x(x_i)| \quad \text{met } y_i = \frac{i}{N}$$

De VERDELING mag niet uit de GEGEVEN WAARNEMINGEN zij afgeleid.

De toets is dat :

	betrouwbaarheidsdrempel	
$D < \frac{\alpha}{\sqrt{N}}$ voor $N > 5$	$\alpha = 1,23$	10%
	$\alpha = 1,36$	5%
	$\alpha = 1,63$	1%

Als de verdeling wel uit de waarnemingen geschat is, lijkt een correctie nodig voor het aantal geschatte parameters M :

$$D < \frac{\alpha}{\sqrt{N + M}}$$

Hierover is echter geen theorie bekend.

Bakkentransport Natte Waterbouw

Bijlage K

Analytische berekening van het opgestelde
basisscenario.

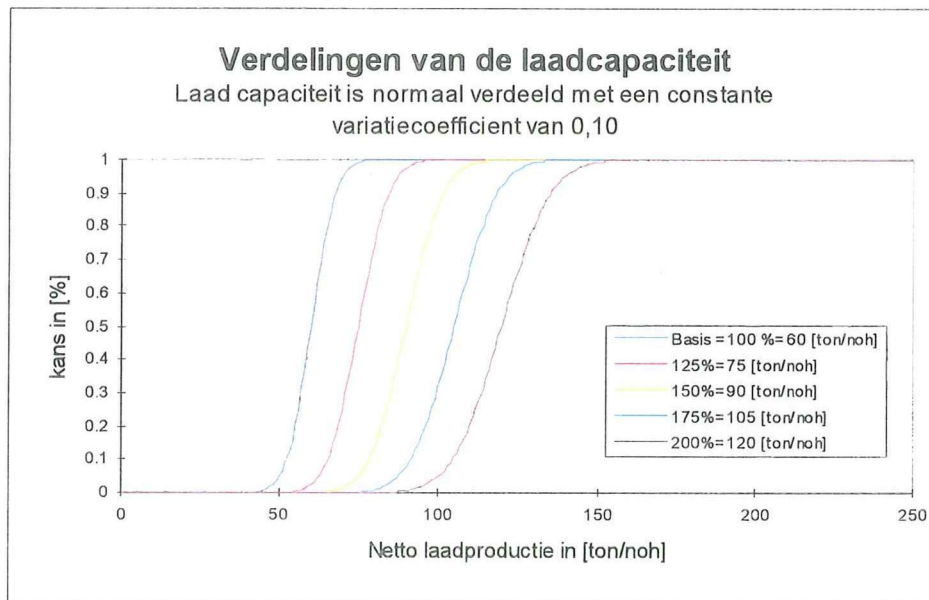
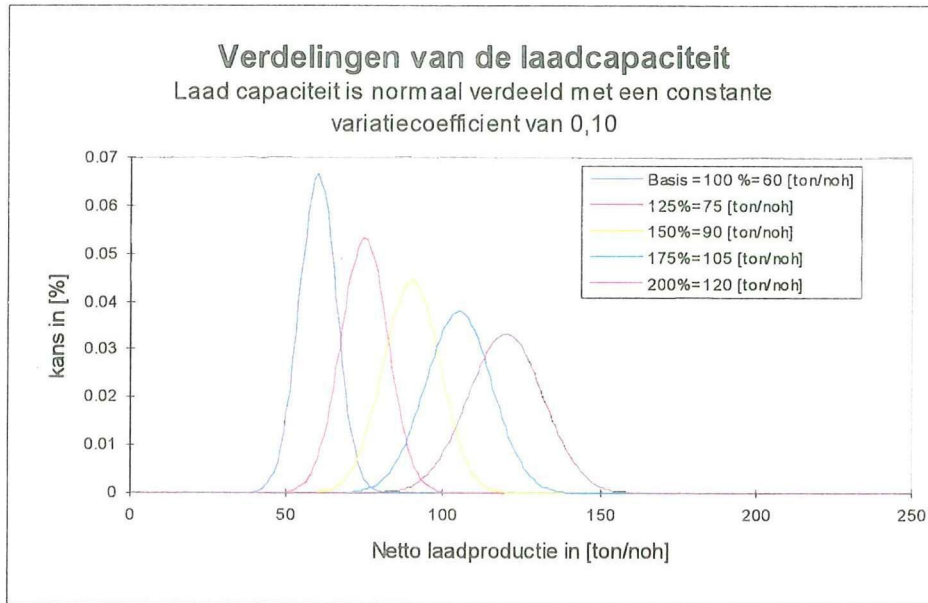
Confidential

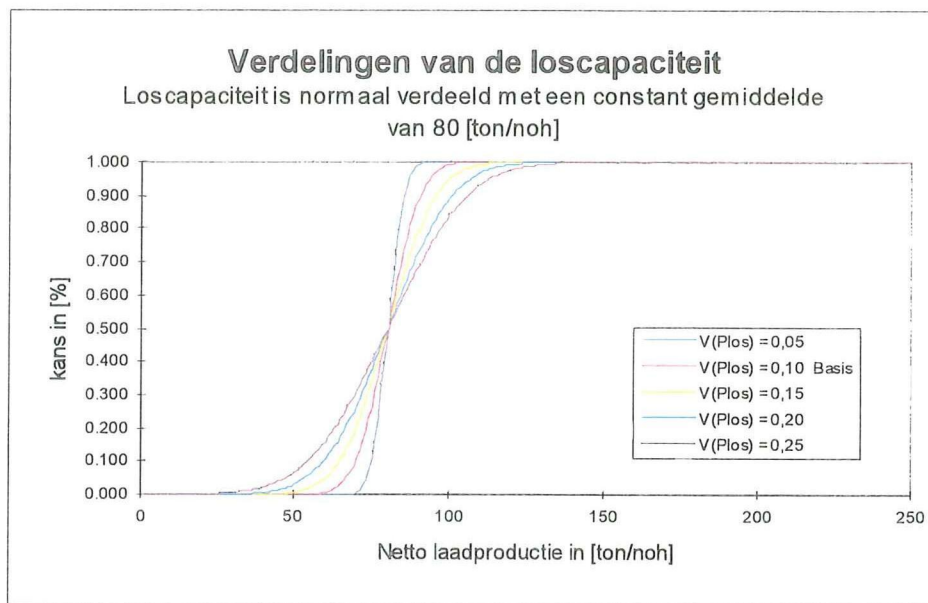
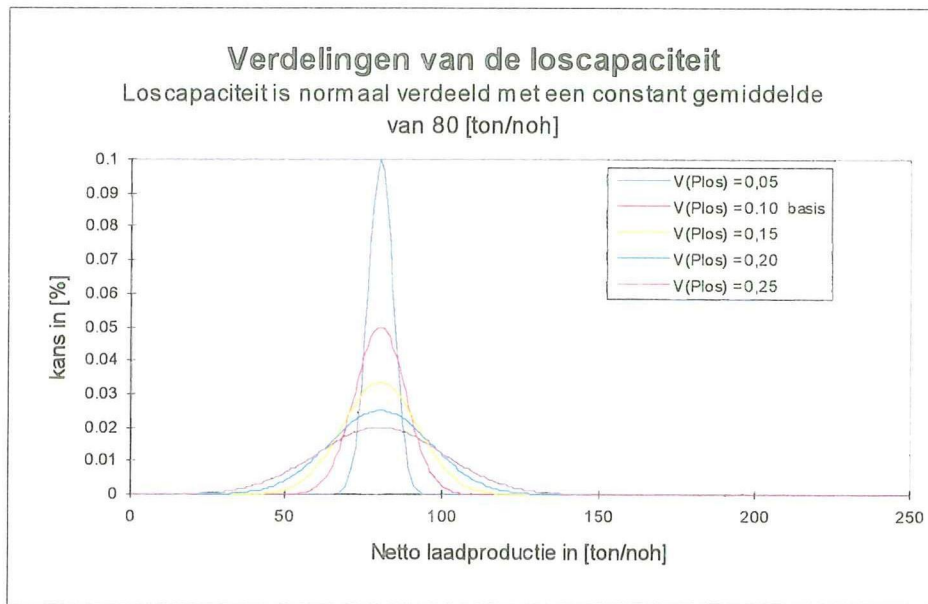
Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage L

Aangenomen verdelingen voor het
gevoeligheidsonderzoek met het
simulatieprogramma BakSim.

Aangenomen verdelingen bij simulatieonderzoek





Bakcentransport Natte Waterbouw

Bijlage M

Resultaten van het gevoeligheidsonderzoek met het
simulatieprogramma BakSim.

Confidential