

Monte Carlo analyse bij de Projectorganisatie Betuweroute

Utrecht, 30 augustus 2002

Opsteller	Kenmerk	Versie
Afdeling Planning	BR/CPS/02/08.600/S/315171	1.0
Afdeling Risicomanagement		
Status	Geautoriseerd door/paraaf	
Definitief	H.J.M. van Harmelen	

Projectorganisatie Betuweroute

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Gehanteerde begrippen	4
3	De methode Monte Carlo	6
4	Het proces binnen de PoBr	8
4.1	Risico-inventarisaties	8
4.2	Verwerking in de planning	8
5	Instrumenten	10
5.1	De netwerkplanning	10
5.2	Tijd-weg diagram	11
5.3	Simulatiepakket	12
6	De cyclus	14
6.1	De analyse	14
6.2	Praktijkvoorbeeld	14

1 Inleiding

In dit stuk willen wij u een beeld geven van Monte Carlo analyse bij de PoBr. We gaan hierbij in op de doelstelling van de analyse, de methode Monte Carlo, de processen binnen de PoBr en de gebruikte instrumenten. Een belangrijke vraag is waarom we dit eigenlijk doen? Voordat u het stuk doorleest willen wij alvast een aantal belangrijke voordelen noemen van het uitvoeren van een Monte Carlo analyse:

- Het kritieke pad uit de planning blijkt niet altijd kritiek te blijven gedurende de realisatie van het project. Mede door optreden van risico's kan het kritieke pad veranderen;
- Beter inzicht in de echte bedreigingen qua tijd voor het projectproces;
- Vroegtijdig maatregelen kunnen nemen tegen het optreden van risico's waardoor de kans en/of het gevolg worden gereduceerd.

Monte Carlo Analyse is natuurlijk geen nieuwe methode. Het wordt reeds veelvuldig toegepast in de industrie. Gezien de complexiteit van de organisatie, haar processen, de omgeving alsmede de omvang van het project, is de wijze waarop Monte Carlo is ingebed in onze organisatie uniek te noemen. Andere onderscheidende en innovatieve punten van Monte Carlo bij de PoBr, die in dit stuk naar voren zullen komen, zijn:

- De beheerscyclus op basis van de Monte Carlo simulatie en analyse, waardoor heel gericht (selectief) beheersmaatregelen kunnen worden getroffen. Hierdoor blijven de kosten voor het uitvoeren van beheersmaatregelen tot een minimum (de meest effectieve) beperkt;
- De pro-actieve control cyclus om mogelijk kritieke activiteiten van het kritieke pad te houden;
- De Monte Carlo analyse vindt plaats op de vigerende netwerkplanning welke gehanteerd wordt op alle niveaus binnen de organisatie. Niet op een separaat (vereenvoudigd) model.

De doelstelling van de Monte Carlo analyse is het verschaffen van inzicht in:

1. de haalbaarheid van de einddatum van het project (of tussenmijlpalen), uitgedrukt in een percentage ten opzichte van de tijd;
2. de spreiding op de einddatum van het project (of tussenmijlpalen): liggen de uiterste waarden ver uit elkaar of juist dicht bij elkaar;
3. de belangrijkste risico's welke het meest bijdragen aan de spreiding van de einddatum. Op grond hiervan kan worden bepaald op welke risico's het management zich met name moet richten.

2 Gehanteerde begrippen

Ter verduidelijking van de inhoud van dit stuk, geven we hieronder een overzicht van de gehanteerde definities, begrippen en afkortingen.

Netwerk(-planning)

Een netwerkplanning is een logisch diagram van activiteiten waartussen de technisch dwingende relaties zijn aangebracht waarmee de volgorde van activiteiten is bepaald. Door doorlooptijd in te vullen op de activiteiten, kan de planning worden doorgerekend waardoor voor elke activiteit een vroegste start- en einddatum alsmede een laatst mogelijke start- en einddatum voor elke activiteit kan worden bepaald. Het verschil tussen de laatst mogelijke en de vroegst mogelijke datum is de total float. De total float bepaald of een activiteit kritisch is. Binnen de Betuweroute wordt één netwerkplanning gehanteerd waarin alle uitvoerende organisatieonderdelen zijn opgenomen. We noemen dit de ProjectPlanningBetuweRoute (PPBR).

kritiek pad

Zie netwerk(-planning)

Tijd-weg diagram (TWD)

Een TWD is een presentatie van de berekende gegevens uit de netwerkplanning waarbij de lokatie afgezet wordt tegen de tijd. Op een TWD worden slechts de uitvoeringsactiviteiten weergegeven. Activiteiten kunnen op een TWD worden weergegeven als een lijn, rechthoek en een parallellogram. De hoekpunten van deze vormen worden bepaald door de start- en einddatum van de activiteit samen met de start- en eindpositie waarop de activiteit betrekking heeft.

Barchart

Een barchart (balkendiagram) geeft de activiteiten uit de netwerkplanning weer als balken, waarbij de lengte van de balk wordt bepaald door de de start- en einddatum uit de netwerkberekening. Horizontaal is de tijd uitgezet. Vertikaal de verschillende activiteiten.

Monte Carlo analyse:

De MC-analyse bestaat uit een simulatie-deel gevolgd door de analyse van de gesimuleerde gegevens.

De analyse van de simulatiegegevens vindt plaats in zowel het Monte Carlo pakket als het planningspakket.

Criticality-pad

Tijdens de Monte Carlo simulatie wordt de netwerkplanning vele malen doorgerekend. Na elke doorrekening wordt bepaald of de activiteit drijvend is voor de einddatum van het netwerk. Het percentage van het totaal aantal doorrekeningen (iteraties) binnen de simulatie dat een activiteit drijvend is geweest voor de einddatum van het netwerk, is de criticality.

Deterministische planning

Een deterministische planning is het resultaat van een doorgerekende netwerkplanning waarbij elke activiteit is voorzien van enkelvoudige inschattingen en/of waarden. Bijvoorbeeld de doorlooptijd is 10 dagen.

Probabilistische planning

Een probabilistische planning is het resultaat van een vele malen doorgerekende netwerkplanning waarbij elke activiteit is voorzien van meervoudige inschattingen en/of waarden. Bijvoorbeeld de doorlooptijd kan variëren tussen 8 en 12 dagen waarbij de meest waarschijnlijke doorlooptijd 10 dagen is.

Risico-database

In de risicodatabase worden de geïnventariseerde risico's opgeslagen en de status ervan bijgehouden.

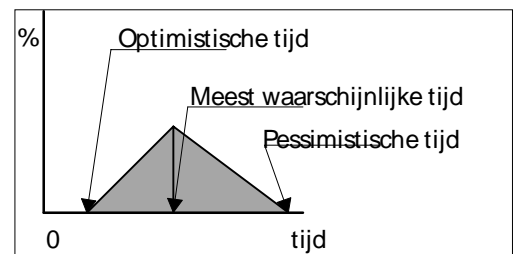
3 De methode Monte Carlo

Bij een Monte Carlo simulatie worden in de planning ingebouwde onzekerheden (risico's) een groot aantal keren doorgerekend (iteraties), waardoor beter inzicht wordt verkregen in de invloed van de verschillende risico's, het criticality-pad alsmede de haalbaarheid van de planning.

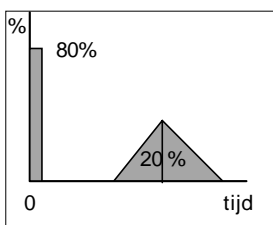
Er worden bij de Betuweroute voor de Monte Carlo analyse twee soorten onzekerheden onderscheiden:

1. **Spreiding.** Er vindt een activiteit plaats, waarvan de doorlooptijd kan variëren tussen 2 uitersten (voorbeeld: een zettingstijd is ingeschat (berekend) op 100 dagen, maar als het mee zit duurt het 80 dagen en als het tegen zit 120 dagen).
2. **Bijzondere gebeurtenis.** Dit is een gebeurtenis (risico of kans!) dat óf wel óf niet optreedt;

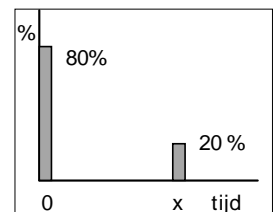
Bij spreidingen worden de enkelvoudige inschattingen van de (resterende) doorlooptijd van activiteiten in de planning vervangen door een waarde tussen de optimistische (minimale) en de pessimistische (maximale) doorlooptijd. Voorafgaand aan elke iteratie tijdens de simulatie wordt een trekking gedaan tussen de opgegeven minimale en maximale waarden, waarbij rekening wordt gehouden met een verdeling binnen dit bereik volgens een op te geven distributie. Bij de Betuweroute wordt uitgegaan van een normaalverdeling van de getrokken doorlooptijden. We geven dit als een driehoek weer.



Bij bijzondere gebeurtenissen (branches) wordt een kans van 1% tot 100% aangegeven dat een bijzondere gebeurtenis kan optreden met een bijbehorende extra doorlooptijd. In het opgegeven percentage van de iteraties zal de bijzondere gebeurtenis optreden. Het risicoprofiel van een



dergelijk risico met bijvoorbeeld 20% kans van optreden met een enkelvoudige extra doorlooptijd staat rechts weergegeven. Als de enkelvoudige inschatting van de extra doorlooptijd wordt vervangen door een spreiding, zal het rechter gedeelte van de grafiek (de 20%) worden vervangen door een verdeling overeenkomstig de gekozen distributie vorm.



Doordat doorlooptijden variëren bij elke iteratie, zal het kritieke pad in de planning ook veranderen.

Dit is in grote mate afhankelijk van het proces ofwel het netwerk, de doorlooptijden en de opgenomen risico's. De simulatie levert een criticality voor elke activiteit en/of risico. De criticality is het voornaamste criterium om risico's al dan niet te beheersen.

Omdat de weergave van het verloop van het criticality-pad bij een netwerkplanning van meer dan 5000 activiteiten behoorlijk onoverzichtelijk kan worden, kan het verloop van het kritieke pad worden aangegeven op een zogenaamd TWD. Zo kan in (bijna) één oogopslag de risicovolle punten van het project inzichtelijk worden gemaakt.

Het onderzoeken van het verloop van het criticality-pad door het netwerk is één van de meest belangrijke bezigheden tijdens de analyse die na de simulatie plaats vindt.

De te nemen stap na de simulatie, samen met de analyse, is het beheersen van de activiteiten (risico's) met hoge criticality. Door uitvoering van beheersmaatregelen zal de verwachtingswaarde van de risico's positief beïnvloeden. Deze veranderde input van

risico's (in de netwerkplanning!) zal bij de eerstvolgende simulatie (en analyse) tot gevolg hebben dat het beheerste risico minder invloed heeft op de probabilistische einddatum van de netwerkplanning.

De cyclus begint vervolgens weer opnieuw.

4 Het proces binnen de PoBr

4.1 Risico-inventarisaties

Door middel van inventarisatie sessies worden per contract de onzekerheden in kaart gebracht. Dat wil zeggen dat per activiteit in de netwerkplanning de spreiding en de onzekere gebeurtenissen worden geïdentificeerd. In deze inventarisatiesessie zijn de volgende personen aanwezig:

- De contractmanager;
- Het hoofd technisch toezicht;
- De contractplanner;
- De medewerker risicomanagement;
- (Eventueel) adviseurs ingenieurbureau.

Om de spreiding te bepalen worden de meest optimistische, de meest pessimistische en de meest waarschijnlijke doorlooptijd van een activiteit vastgesteld.

Verder worden per activiteit onzekere gebeurtenissen geïnventariseerd die een negatieve invloed kunnen hebben op de planning. Daarbij wordt de kans van optreden van de gebeurtenis ingeschat en de gevolgen die de gebeurtenis heeft op de doorlooptijd van de planning (voorbeeld: de Tunnelboormachine brand af: kans 0.01, vertraging 12 maanden). Verder wordt bij de onzekerheid bepaald of deze beïnvloedbaar is of niet. Elke geïnventariseerde gebeurtenis wordt voorzien van een risico-ID uit de risico-database en gekoppeld aan de betreffende activiteit(en).

Om er zorg voor te dragen dat er een zuivere Monte Carlo simulatie gedraaid kan worden is het belangrijk dat de gegevens correct zijn (garbage in, garbage out). Eerlijkheid en openheid zijn daarvoor het belangrijkste uitgangspunt. Verder zijn er een aantal aandachtspunten opgesteld voor de inventarisatie sessies, om te voorkomen dat appels met peren worden vergeleken:

- De op dat moment vigerende netwerkplanning geldt als referentiedocument voor de inventarisatie van de onzekerheden;
- Bij de inventarisatie van de onzekerheden dient te worden uitgegaan van de actuele stand van zaken. Dat wil zeggen dat het effect van nog niet gerealiseerde beheersmaatregelen niet wordt meegenomen bij de inschatting van de risico's.
- Vaak wordt er onbewust door de betrokkenen al bepaald (gevoelsmatig ingeschat) wat belangrijk is en wat niet, terwijl dat nu juist uit de simulatie naar voren zou moeten komen.

4.2 Verwerking in de planning

Nadat de onzekerheden zijn geïnventariseerd worden deze door elke contractplanner in de netwerkplanning ingevoerd.

Spreidingen (optimistische-, meest waarschijnlijke en pessimistische doorlooptijden) worden op de activiteiten ingevuld. Bijzondere gebeurtenissen worden op zodanige wijze in het netwerk ingebouwd dat tijdens de deterministische netwerkberekening hier geen invloed van wordt ondervonden. Deze onzekerheden doen slechts mee tijdens de probabilistische netwerkberekening, ofwel de Monte Carlo simulatie.

Doordat de Betuweroute brede netwerkplanning regelmatig wordt samengevoegd, ontstaat een integraal netwerk voor de gehele Betuweroute met daarin de risico's verwerkt op een zo laag mogelijk niveau in de organisatie. Door relaties tussen activiteiten van

de verschillende organisatieonderdelen (contractteams) aan te brengen is de invloed van de risico's van het ene organisatieonderdeel naar het andere organisatie-onderdeel gewaarborcht.

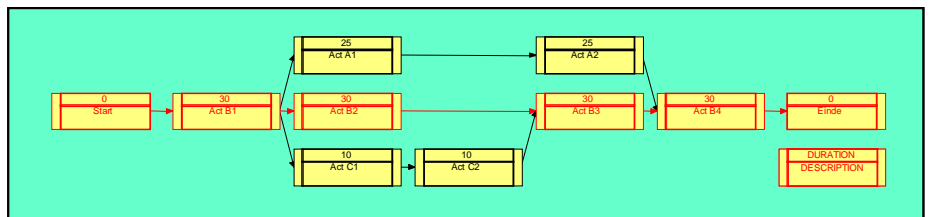
Samenvattend is de Monte Carlo simulatie gebaseerd op de onzekerheden per activiteit op contractniveau. Deze bottum-up aanpak leidt uiteindelijk tot een meer betrouwbaar resultaat.

5 Instrumenten

Uit de deterministische netwerkberekening kunnen zowel netwerken, barcharts en tijd-weg diagrammen worden gegenereerd op basis waarvan de sturing van het project kan plaats vinden. Genoemde instrumenten worden hieronder kort beschreven.

5.1 De netwerkplanning

De basis voor een betrouwbare Monte Carlo simulatie, gevolgd door een analyse, is een gesloten netwerk van alle activiteiten waarbij de relaties tussen de activiteiten de fysieke afhankelijkheid daartussen beschrijven. Door de activiteiten in het netwerk te voorzien van doorlooptijden kan door het zogenaamde “doorrekenen” of “schemen” een enkelvoudige einddatum van het (deel-)proces -of project- worden berekend.



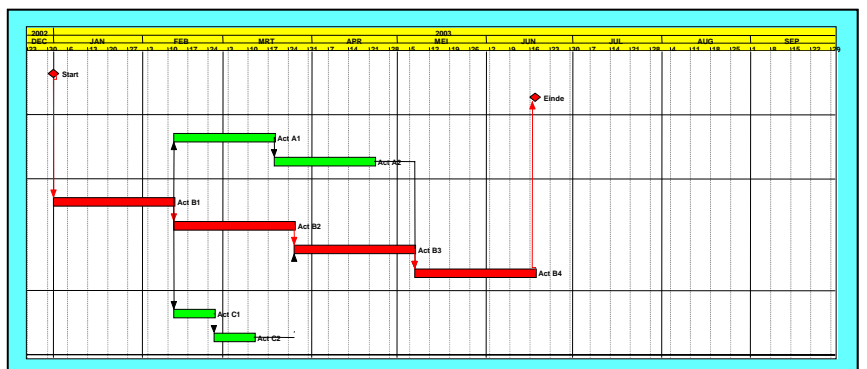
Deze op basis van

enkelvoudige waarden berekende planningsgegevens is de zogenaamde deterministische planning. Doorrekenen van het deterministische netwerk levert één kritiek pad.

Alle interne plannings van de Betuweroute zijn opgenomen in één Primavera planningsbestand wat de mogelijkheid biedt afhankelijkheden (relaties tussen activiteiten) op een zo nauwkeurig mogelijke wijze aan te brengen. Zelfs tussen de verschillende organisatieonderdelen (verantwoordelijkheidsgebieden). Door de planning op het laagste niveau in de organisatie te voorzien van voortgang en mogelijke aanpassingen aan veranderingen in het proces, sluit inhoud van de planning (het rekenmodel) zo waarheidsgetrouw mogelijk aan bij de werkelijke gang van zaken. Een uitstekende basis voor een waarheidsgetrouwe risico-simulatie gevolgd door dito analyse.

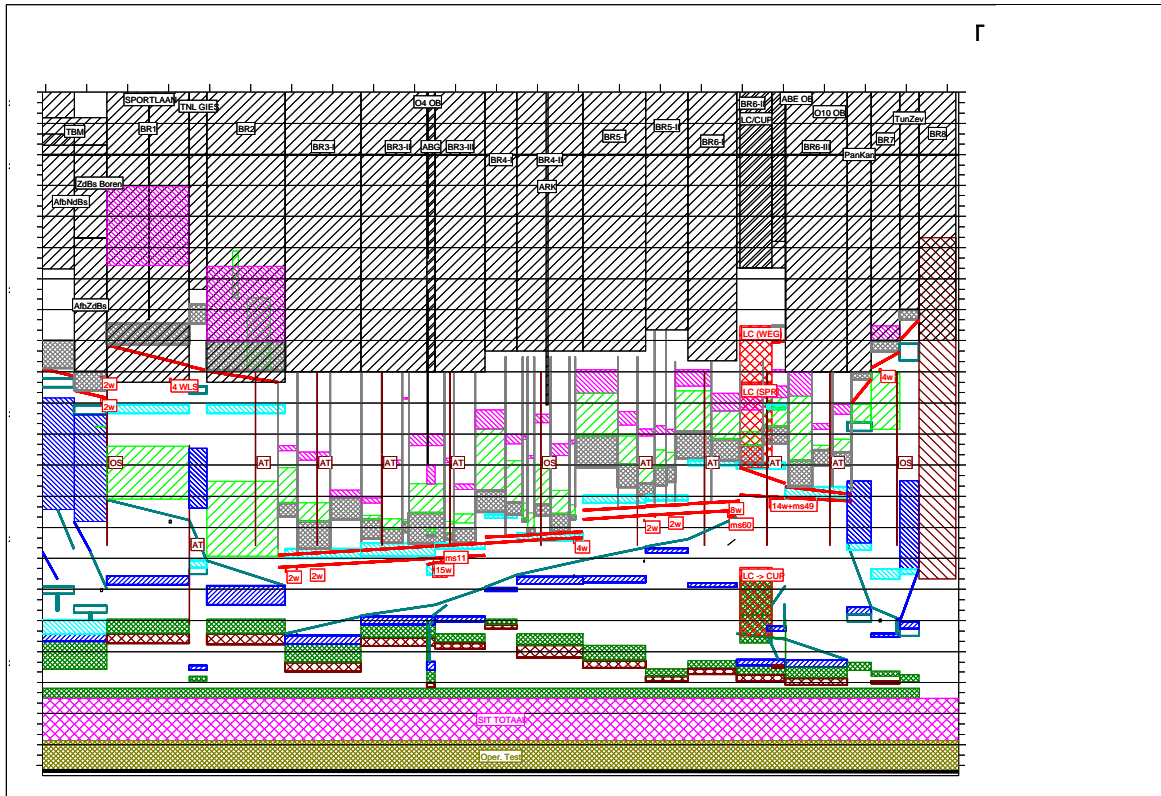
Met dit netwerk kunnen de gebruikelijke rapportageformats worden gegenereerd zoals bijvoorbeeld de barchart:

In de barchart is ook het verloop van het deterministisch berekende kritieke pad duidelijk waar te nemen (de rode activiteiten met puntige uiteinden).



5.2 Tijd-weg diagram

Het tijd-weg diagram (TWD) geeft overzicht van de uitvoeringsactiviteiten van het project. Hierbij wordt de tijd uitgezet tegen de lokatie. Hierdoor wordt ook de bouwrichting zichtbaar. Deze vorm van weergegeven wordt gemaakt op basis van vorengenoemde netwerkplanning die elektronisch hiermee is gekoppeld. Wijzigingen in de planning zijn ook automatisch zichtbaar op het TWD.

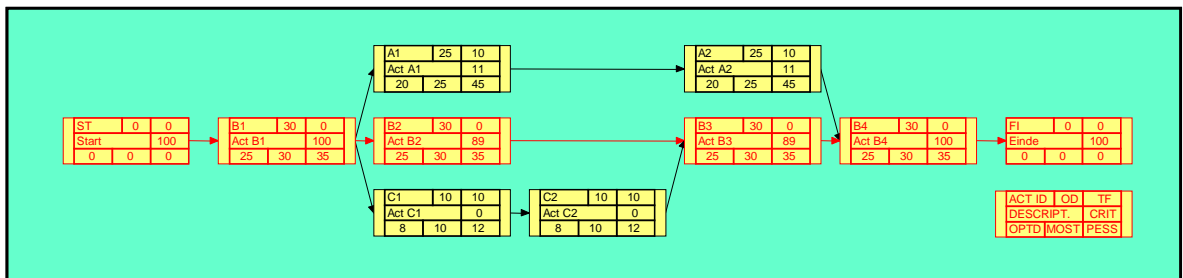


Bij de Monte Carlo simulatie wordt de criticality berekend. Deze wordt verdeeld over de activiteiten in het netwerk. Door over het TWD transparante rode vlakken aan te brengen met daarin de mate van criticality, ontstaat een helder overzicht over welk pad zich de criticality zich verdeelt in het netwerk. Bijlage 1 en 2 zijn voorbeelden hiervan.

5.3 Simulatiepakket

Monte Carlo is een methodiek waarbij de enkelvoudige waarden in de planning worden vervangen door meervoudige en mogelijk optredende gebeurtenissen. Door het netwerk vele malen door te rekenen waarbij de activiteiten voor elke doorrekeningslag van andere waarden binnen de opgegeven grenzen worden voorzien, ontstaat een variatie op de deterministische waarden van de planning. Dit wordt de "probabilistische" planning genoemd.

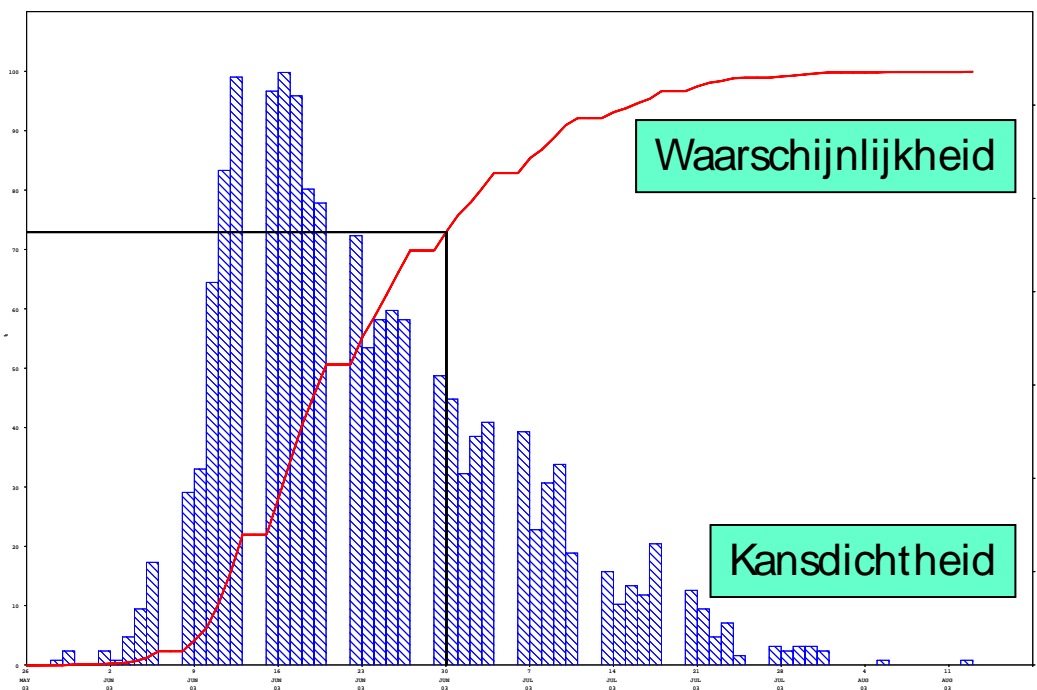
Monte Carlo voor Primavera voert de simulatie uit op de in Primavera gebouwde netwerkplanning, en genereert gegevens voor



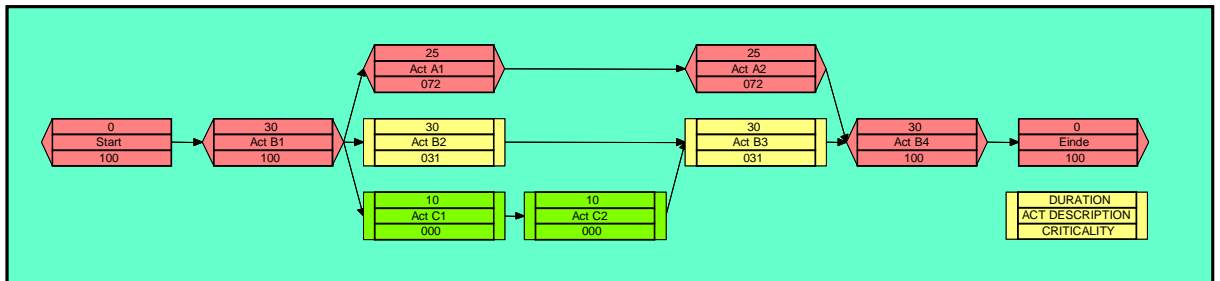
verdere analyse, zowel in Monte Carlo als in Primavera. In de planning wordt, daar waar van toepassing, spreiding op doorlooptijd ingegeven alsmede de bijzondere gebeurtenissen opgenomen.

Het resultaat van deze simulatie is in eerste instantie een kansdichtheids- en waarschijnlijkheidscurve van de vooraf in Monte Carlo aangegeven mijlpalen of activiteiten in de planning. In dit geval de eindmijlpaal. Hieruit kan worden afgelezen met welke waarschijnlijkheid op of voor een bepaalde datum de activiteit/mijlpaal zou kunnen worden gerealiseerd.

De aangegeven waarschijnlijkheid van de deterministische eindwaarde van het project is aangegeven in nevenstaande grafiek.



Zoals reeds eerder genoemd wordt de criticality (percentage van de iteraties dat de activiteit mede bepalend is geweest voor de eindmijlpaal) tijdens de simulatie opgeslagen voor elke activiteit.



De activiteiten en risico's met criticality "0" (groene activiteiten onderaan) zullen op dit moment de einddatum in geen geval bepalen. De rood gemarkeerde activiteiten (met puntige uiteinden) zullen in 70%-100% van de gevallen bepalend zijn voor de einddatum van het project. Een activiteitenreeks waar beheersmaatregelen vrijwel zeker resultaat zullen opleveren. De overblijvende activiteiten met $\pm 30\%$ criticality (B2 en B3) moeten uiteraard niet uit het oog worden verloren. In 30% van de gevallen zullen zij bepalend zijn!

Uit vorenstaande blijkt dat een kritiek pad in de simulatie wel eens minder kritiek kan blijken dan de deterministische planning aangeeft. Het criticality-pad kan afwijken van het kritieke pad!

De simulatie, met de daarbij horende analyse, zal op regelmatige basis dienen te worden herhaald. Voortgang en voortschrijdende inzichten veranderen namelijk gedurende het project.

De activiteiten (ook risico's) met de hoogste criticality behoeven de grootste aandacht, omdat deze het meest bepalend zijn voor de te realiseren einddatum.

Weergave van het verloop van het kritieke pad op bovenstaande wijze is in een planning van 10 activiteiten nog steeds overzichtelijk. Bij een netwerkplanning van meer dan 5000 activiteiten, zoals bij de Betuweroute het geval is, is deze weergavenmethode niet meer overzichtelijk en wordt het tijd-weg diagram gebruikt om weer te geven hoe zich het kritieke pad tijdens de simulatie door het netwerk heeft bewogen.

Op het TWD van de deterministische planning worden de activiteiten met een bepaalde minimum criticality voorzien van een rode (deels transparante) vakken met daarin het percentage. Het verloop van het criticality pad wordt daardoor duidelijk weergegeven zonder te verzanden in details. Voor die activiteiten die niet zijn weergegeven op het TWD (conditionerende) worden pijlen aangebracht die weergeven wat precies de oorzaak is van de criticality. Zie bijlage 1 en 2.

6 De cyclus

6.1 De analyse

De analyse van de simulatiegegevens vindt plaats in Monte Carlo en Primavera.

Monte Carlo simuleert de in Primavera opgebouwde en onderhouden netwerkplanning en levert hoofd-criticality-paden alsmede de grafieken van de kansverdeling en de waarschijnlijkheid van de opgegeven activiteiten en/of mijlpalen. Monte Carlo slaat ook simulatiegegevens op in de netwerkplanning waarmee de analyse van de simulatie-resultaten in Primavera verder kunnen worden geanalyseerd.

In Primavera wordt het netwerk uitgebreid geanalyseerd op basis van de criticality. Vanwege de omvang en de complexiteit van de planning worden de uitkomsten van die analyse weergegeven op het TWD.

Daarmee wordt inzichtelijk wat de meest bepalende activiteiten zijn die de einddatum van het project in grote mate bepalen. Op basis daarvan wordt een beheersmaatregelen-plan opgesteld. Deze beheersing kan zich enerzijds richten op een andere aanpak van het proces (planning veranderen), maar ook daadwerkelijke beheersing van risico's door het werk op een andere manier tot stand te brengen.

6.2 Praktijkvoorbeeld

Om bovenstaand proces te verduidelijken geven wij hier een voorbeeld:

Bij de eerste analyse bleek dat te late verlegging van een gasleiding en een hoogspanningslijn problemen zouden gaan opleveren voor de verdere uitvoering van het project. (zie de rode cirkel op bijlage 1). Vervolgens hebben er diverse risico-sessies in dit contract plaatsgevonden om te komen tot een adequaat pakket van beheersmaatregelen. Zo is op basis van gesprekken met verantwoordelijken en specialisten besloten de methode van uitvoering zodanig aan te passen, dat het vervolgproces hier weinig tot geen hinder meer van zou ondervinden. Ook zijn er nieuwe afspraken gemaakt met de eigenaren van de kabels en leidingen. De uiteindelijke meerkosten van de beheersmaatregelen stond in geen verhouding tot de consequenties bij uitloop van die activiteiten. Op basis van de doorgevoerde beheersmaatregelen zijn de risico's op deze activiteiten opnieuw gekwantificeerd en overeenkomstig in het model (de netwerkplanning) opgenomen. Een nieuwe Monte Carlo analyse op basis van de aangepaste gegevens gaf duidelijk aan dat de activiteiten niet meer op het criticality-pad lagen. In het TWD van de tweede simulatie (zie bijlage 2) is goed te zien hoe de criticality meer gelijkmatig is verdeeld over het project.

Aangezien tussen de Monte Carlo analyses van bijlage 1 en 2 meer beheersmaatregelen tot uitvoer zijn gebracht dan hierboven als voorbeeld is beschreven, is de verbetering niet alleen toe te wijzen aan bovengenoemde voorbeeld.

Naarmate er een spreiding is van criticality over een grotere hoeveelheid activiteiten met een lagere waarde, wordt het minder interessant om te investeren in beheersmaatregelen. Beheersmaatregelen zouden immers allemaal ongeveer even succesvol moeten zijn wil de waarschijnlijkheidscurve van het project evenredig worden vervroegd.