

## Samenvatting

VolkerRail, een hoofdaannemer in de spoorbouw voert grote vernieuwingsprojecten uit aan de railinfrastructuur. Tijdens het uitvoeren van deze grote projecten is het mogelijk dat fouten en onduidelijkheden in de operationele planning, afwijkingen veroorzaken. Andere oorzaken voor afwijkingen tussen uitvoering en planning kunnen veroorzaakt worden door verstoringen van de uitvoering.

Planning met behulp van simulatie en visualisatie wordt door VolkerRail gezien als een mogelijk hulpmiddel om deze afwijkingen te minimaliseren. In dit rapport wordt de juistheid van deze veronderstelling onderzocht. De drie belangrijkste gebruiksopties van het daartoe benodigde simulatiemodel zijn: de correctheidanalyse, de robuustheidsanalyse en de visuele weergave.

De functionele outline van het ontwikkelde simulatiemodel bestaat uit een modulaire structuur met daarin een aantal basisfuncties en een aantal uitbreidingsmodules. Het gerealiseerde prototype van dit simulatiemodel bestaat uit vier modules: simulatiemodule, visualisatiemodule, importeer-spoorkaart-module en importeer-planning-module. Voor de realisatie van dit prototype is gebruik gemaakt van Tomas/Delphi.

De simulatie en de aansturing van de activiteiten in het prototype zijn gebaseerd op een aangepaste netwerkplanningmethode. Voor het herkennen en ontwijken van (bijna-)botsingen tussen activiteiten wordt in het prototype gebruikt gemaakt van een autonome-cel-benadering (Cellular Automata).

Er zijn drie experimenten uitgevoerd met het ontwikkelde prototype van het simulatiemodel. Voor alle drie de experimenten is gebruik gemaakt van een fictieve case waarin vernieuwing van het ballastbed plaatsvindt. Een conflictvrije conceptplanning van dit project is reeds gemaakt met behulp van een tijd-wegdiagram.

In het eerste experiment wordt de conceptplanning beoordeeld op correctheid. De correctheid wordt bepaald door de gemeten projectduur van het gesimuleerde project te vergelijken met de geplande projectduur. In dit experiment wordt aangenomen dat de duur van de activiteiten gelijk is aan de waarde die volgt uit de planning. Er vinden geen verstoring van de activiteiten plaats. Uit dit eerste experiment blijkt dat de projectduur van het gesimuleerde project ongeveer 1% afwijkt. Deze afwijking is te verklaren doordat in het prototype de minimale afstand tussen twee activiteiten groter is dan in de tijd-wegdiagram. De conflictontwikkelingsmodule vertraagt een activiteit zodat de planning gewijzigd wordt.

Voor het tweede experiment waarbij de robuustheid van de planning beoordeeld wordt, is gebruik gemaakt van een simulatie met verstoringen. De duur van de verstoringen is afkomstig uit een verdeling. Voor dit experiment is een normale verdeling en een Erlang-K verdeling gebruikt. Door meerdere keren een simulatie uit te voeren en daarbij de projectduur te berekenen ontstaat een verdeling van de projectduur. In de resultaten vallen twee dingen op.

Als eerste valt op dat de gemiddelde projectduur in dit experiment lager is dan de geplande projectduur. Dit resultaat wijkt af van de verwachting. Dit is te verklaren doordat een ontwerpkeuze in het prototype het aantal optredende verstoringen beperkt.

Het tweede dat opvalt in de resultaten is het feit dat er geen significant verschil ontstaat in de spreiding van de projectduur bij gebruik van een normale verdeling of een Erlang-K verdeling. De verklaring hiervoor is dat deze twee verdelingen nagenoeg gelijk zijn door een hoog gekozen K-factor. Daarom is een derde experiment uitgevoerd met een lage K-factor.

Het derde experiment is gelijk aan het tweede experiment uitgezonderd de Erlang-K verdeling die gebruikt wordt als basis voor de verstoringsduur. In de gebruikte verdeling wordt de vormfactor gelijkgesteld aan 4 ( $K=4$ ). Uit dit experiment blijkt een grotere spreiding van de verstoringsduur van invloed te zijn op de verwachte projectduur.

### *Conclusies*

In dit onderzoek is het volgende aangetoond:

- De incorrectheid van de planning kan geminimaliseerd worden doordat een simulatiemodel logistieke fouten en conflicten in de projectplanning kan signaleren en oplossen.
- Met een simulatiemodel kan een optimaal evenwicht gevonden worden tussen de robuustheid (vermogen tot het incasseren van verstoringen) en de projectduur.
- Voortgangsregistratie in een simulatiemodel draagt bij aan de flexibiliteit van de planning tijdens de uitvoering van het project.
- Visualisatie door middel van een simulatiemodel verschaft meer inzicht in de planning en uitvoering van complexe projecten.

Uit bovenstaande conclusies volgt dat gebruik maken van simulatietechniek in de planning en uitvoering van spoorwegwerkzaamheden besparingen oplevert in tijd en kosten.