



Simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten

Het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend planningshulpmiddel.



Colofon

Afstudeeronderzoek

Titel: Simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten
Subtitel: Het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend planningshulpmiddel.
Instelling: Universiteit Twente, faculteit Construerende Technische Wetenschappen.
Studie: Master Construction Management & Engineering
Bedrijf: Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost

Begeleiders: prof. dr. ir. A.G. Dorée (Universiteit Twente)
dr. ir. T. Hartmann (Universiteit Twente)
ing. P. J. H. Staats (Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost)

Student: S. Hoitema Bsc.
Studentnummer: s0125970
Mobiel: 06 – 13 47 86 01
Email: s.hoitema@student.utwente.nl

Rapport

Onderdeel: Afstudeerscriptie
Status: Definitief
Datum: 19 november 2013
Bijlagen: Bijlagendossier
Simulatieprogramma (digitaal):
<https://github.com/timoutwente/utilitydss>

Contactgegevens

Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen - Civiele Techniek, Afd. Bouw/Infra
Postbus 217
7500 AE Enschede

Dura Vermeer
Divisie Infra BV - Afd. Infrastructuur BV Oost
Bosmaatweg 60
7556 PJ Hengelo

Afstudeercommissie

prof. dr. ir. A.G. (André) Dorée	Universiteit Twente
dr. ir. T. (Timo) Hartmann	Universiteit Twente
ing. P. J. H. (Peter) Staats	Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost

Versiebeheer

Versie 0.1	9 april 2013	Versie 0.1 ingediend
Versie 1.0	21 mei 2013	Versie 1.0 ingediend
Versie 2.0	3 oktober 2013	Versie 2.0 ingediend
Definitief	19 november 2013	Definitieve versie ingediend

Voorwoord

Het voor u liggende rapport is het product van mijn afstudeeronderzoek. Dit onderzoek is uitgevoerd ter afronding van mijn master Construction Management & Engineering aan de afdeling bouw/infra, faculteit Construerende Technische Wetenschappen van de Universiteit Twente.

In dit rapport wordt ingegaan op de ontwikkeling van een beslissingsondersteunend hulpmiddel voor de planning en werkvoorbereiding van binnenstedelijke rioleringsrenovatie. Dit is uitgevoerd door identificatie van de geldende proceslogica van de uitvoering van deze projecten en implementatie hiervan in een simulatiemodel. Dit onderzoek is uitgevoerd bij Dura Vermeer Infrastructuur te Hengelo en is mede onderdeel van een onderzoek naar innovatieve toepassingen in de GWW, ondersteund door de stichting Pioneering. Dit rapport is gericht aan de wetenschap en opdrachtgever en levert de beschrijving van het onderzoeksproces, de belangrijkste resultaten en een discussie van deze resultaten. Het rapport levert daarnaast een toekomstbeeld voor, en aanzet tot, verdere verbetering en ontwikkeling van het ontwikkelde simulatiemodel model tot een volwaardig beslissingsondersteunend hulpmiddel.

Graag wil ik enkele mensen bedanken voor hun bijdrage aan dit onderzoek. Ten eerste mijn begeleiders vanuit de universiteit, Timo Hartmann, André Doree en Leon olde Scholtenhuis voor hun kritische blik, begeleiding en sturing tijdens dit proces. Daarnaast Peter Staats, mijn begeleider en aanspreekpunt bij Dura Vermeer voor de begeleiding, het openen van deuren en de warme ontvangst binnen de organisatie. Verder gaat mijn dank uit naar alle medewerkers van Dura Vermeer die mij te woord hebben gestaan of op andere wijze een bijdrage hebben geleverd aan dit onderzoek. In het bijzonder Frank Glaubitz, Emiel Wolbers en Annewin Klein Kranenbarg voor de interviews en Joop Akkermans, Rodney Heijmans en Bert Jansen voor de projectbezoeken. Ten slotte wil ik graag mijn collega's in Hengelo bedanken voor de leuke en leerzame tijd. Het uitvoeren van dit onderzoek op kantoor bij Dura Vermeer heeft mij een veel beter begrip van het bouwproces en de wereld van de civiele aannemerij gegeven. Op het persoonlijke vlak wil ik graag mijn ouders, familie en vrienden bedanken voor hun ondersteuning en belangstelling tijdens deze periode.

De oplevering van dit verslag markeert het einde van deze leerzame periode bij Dura Vermeer en van mijn studententijd. Hoewel het afstuderen zelf niet altijd gemakkelijk is geweest kijk ik met veel plezier terug op beide periodes, het is een leuke en bewogen tijd geweest. Tegelijkertijd ben ik benieuwd wat de toekomst als burger voor mij in petto heeft.

Hengelo, 19 november 2013

Simon Hoitema

Samenvatting

De puur op kenniservaring alleen gebaseerde werkwijze van planning en werkvoorbereiding van rioleringsprojecten leidt, vanwege de complexe multidisciplinaire aard van deze projecten, vaak tot een suboptimale uitvoeringsplanning. Dit heeft als mogelijk gevolg meer vertraging, overlast en (faal)kosten dan nodig. Deze problematiek speelt met name in stedelijk gebied vanwege de nog grotere complexiteit die deze omgeving met zich meebrengt. Dit onderzoek heeft daarom ten doel gehad bij te dragen aan een meer gestandaardiseerde analytische werkwijze van planning en werkvoorbereiding van (binnenstedelijke) rioleringsprojecten. Hiertoe is de proceslogica van de uitvoering van deze projecten in kaart gebracht, op basis waarvan een simulatiemodel is ontwikkeld dat kan dienen als beslissingsondersteunend hulpmiddel hiervoor. De proceslogica is in kaart gebracht d.m.v. interviews, projectbezoeken en literatuuronderzoek. Vervolgens is een conceptualisatie van deze logica opgesteld op basis waarvan het simulatiemodel is ontwikkeld. Door middel van case studies is ten slotte de validiteit van de proceslogica en het simulatiemodel geëvalueerd.

De geïdentificeerde proceslogica kan als volgt worden samengevat: Het basisproces van de uitvoering van rioleringsrenovatie bestaat uit vier subprocessen. De subprocessen worden cyclisch uitgevoerd per wegvak tot het gehele project voltooid is. Het verwijderen en aanbrengen van wegverharding zijn subprocessen die eenmalig per wegvak plaats vinden. De cyclus “renovatie hoofdriool” wordt eenmaal uitgevoerd voor elke rioolbuis en rioolput. Daarna of parallel hieraan wordt het subproces “renovatie aansluitingen” uitgevoerd voor elke rioolaansluiting. Na het aanbrengen van de wegverharding is de totale uitvoeringscyclus van het wegvak voltooid. De gecombineerde uitvoering van alle wegvakken vormt het totale project.

Deze subprocessen bestaan elk uit één of meerdere vaste activiteiten zoals “graven geul”. Naast de vaste activiteiten die bij elk project voorkomen zijn er optionele activiteiten zoals het toepassen van sleufbeveiliging. Elke activiteit in dit proces kent hierbij zijn eigen tijdsduur. Deze is afhankelijk van verschillende parameters die per project of zelfs per rioolsectie verschillen. Zo zijn bij het graven van de geul onder andere de parameters “Breedte sleuf”, “Diepte sleuf”, “Lengte sleuf” en of het project rioolrenovatie of nieuwbouw is, bepalend voor de duur van deze activiteit.

Naast het “wat” (wordt er uitgevoerd) bestaat de proceslogica ook uit “hoe” (wordt het uitgevoerd). Zo zijn er vier scenario’s voor de uitvoering geïdentificeerd. Deze scenario’s verschillen qua ingezette resources, van één werkploeg die al het werk serieel doet tot specifieke werkploegen per subproces die parallel aan elkaar werken.

Daarnaast heeft de aannemer verschillende beslissingscriteria en keuzemogelijkheden voor het optimaliseren van de uitvoering. Dit heeft als doel het maximaliseren van de winst door het verlagen van de kosten. Mogelijkheden hiervoor zijn het verkorten van de uitvoeringstijd en/of het maximaliseren van de inzet van resources. Hierbij wordt de aannemer beperkt door de projectkenmerken en eisen vanuit de opdrachtgever.

Op basis van de proceslogica, resource scenario’s en opgestelde eisen is het softwaremodel ontwikkeld. Het softwaremodel bestaat uit een simulatiemodel dat de werkelijkheid modelleert met daar omheen een softwareschil die de uitvoering van de simulatie en de in- & uitvoer verzorgd.

Het simulatiemodel modelleert de proceslogica door een rioleringsproject op te delen in verschillende wegvakken en de uitvoering vervolgens per wegvak te simuleren. Per wegvak worden de subprocessen gesimuleerd, per subproces worden de van toepassing zijnde activiteiten gesimuleerd. Samen vormen deze simulaties van afzonderlijke wegvakken het gehele rioleringsproject. Welke subprocessen en activiteiten van toepassing zijn en de duur van deze activiteiten wordt bepaald aan de hand van in het model ingevoerde parameters. Indien het gekozen resource scenario dit toestaat en de benodigde resources beschikbaar zijn, vindt de uitvoering van meerdere activiteiten parallel plaats.

Uit de uitgevoerde case studies is gebleken dat het simulatiemodel de uitvoering van rioleringsprojecten kwalitatief valide modelleert. Ook gaat het model correct om met de verschillende geïdentificeerde resource scenario’s. Dat wil zeggen dat het model de vereiste activiteiten voor de constructie van riolering in verschillende wegvakken aan de hand van de ingegeven parameters in de juiste volgorde modelleert. Hieruit volgt dat de proceslogica het uitvoeringsproces valide beschrijft en dat deze logica correct is geïmplementeerd in het simulatiemodel. Wel bleek dat de praktijk soms weerbarstiger is dan de theorie. Zo zijn niet-riolering gerelateerde activiteiten vaak van invloed op de uitvoering van deze projecten. Een voorbeeld hiervan zijn werkzaamheden aan de overige ondergrondse infrastructuur. Ook het feit dat het model ontwikkeld is met wegvakken als basiselementen waarin het riool wordt aangelegd, zorgt in enkele gevallen voor discrepantie

tussen de simulatie en de praktijk. Bij een gescheiden riool volgen beide rioolstrengen namelijk niet altijd dezelfde indeling qua wegvakken.

Voor verdere ontwikkeling van het simulatiemodel is een toekomstvisie opgesteld. Speerpunten hierbij zijn een optimale inzetbaarheid, validiteit en flexibiliteit van het model en overzichtelijke & duidelijke presentatie van de resultaten. Daarnaast dient het model kwantitatief gevalideerd te worden.

De toepassingen van de resultaten van dit onderzoek zijn tweeledig, ten eerste is er de proceslogica an sich en ten tweede de implementatie van deze logica in een simulatiemodel.

De logica kan ingezet worden voor verdere professionalisering van het calculatie- en werkvoorbereidingsproces. De proceslogica is een analytische stapsgewijze beschrijving van het uitvoeringsproces van rioleringsprojecten, inclusief de van belang zijnde parameters. De logica kan de basis vormen voor procesmatige calculatie en werkvoorbereiding van rioleringsprojecten. Hierdoor kan de planning van deze projecten, en de inzet van resources, geoptimaliseerd worden en kan lean bouwen (beter) toegepast worden. Doordat de proceslogica een structurele weergave is van de activiteiten kan deze ingezet worden voor communicatie over de uitvoering van rioleringsprojecten, zowel intern als met opdrachtgevers en ketenpartners. Ten slotte kan de proceslogica ingezet worden voor het opleiden van, en bekendmaken met rioleringsprojecten, van nieuwe werknemers.

Het simulatiemodel kan, na verdere ontwikkeling, ingezet worden voor optimalisatie van de projectplanning, betere communicatie en automatisering van verschillende taken. Het simulatiemodel biedt mogelijkheden voor het optimaliseren van projectplanningen door het afwegen van resourcescenario's, wat-als analyses en resource optimalisaties. Het simulatiemodel biedt verder een platform voor de mogelijkheden tot communicatie van de proceslogica en projectplanningen. Dit doet het door de proceslogica zichtbaar te maken voor alle partijen d.m.v. visualisaties en diagrammen. Verder kunnen taken als hoeveelheden calculatie en het opstellen van voorlopige projectplanningen geautomatiseerd worden met behulp van het simulatiemodel.

Concluderend kan gesteld worden dat dit onderzoek in de vorm van de proceslogica bijdraagt aan een meer gestandaardiseerde analytische werkwijze van planning en werkvoorbereiding van binnenstedelijke rioleringsprojecten. De implementatie hiervan in het simulatiemodel vormt een verdere toepassing voor het in praktijk brengen van deze werkwijze. Hiermee is de basis gelegd van het beoogde beslissingsondersteunende hulpmiddel. Met de toekomstvisie hiervan kan deze tool verder ontwikkeld worden.

Hiermee stimuleert dit onderzoek verdere professionalisering bij de opdrachtgever door handvatten aan te reiken voor een procesmatige en analytische werkwijze, ook wordt verder onderzoek naar een simulatiemodel van volledige binnenstedelijke gebiedsrenovatie gestimuleerd.

Aanbevelingen aan de opdrachtgever:

Op basis van dit onderzoek kunnen verschillende aanbevelingen worden gedaan:

- Implementeer de proceslogica als basis stappenplan voor procesmatig werken bij de calculatie en werkvoorbereiding van rioleringsprojecten, bijvoorbeeld via het DVI Managementsysteem 2.0.
- Onderzoek mogelijkheden voor strategische optimalisaties in de uitvoering van rioleringsprojecten
- Blijf betrokken bij de verdere ontwikkeling van het simulatiemodel via de stichting Pioneering.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

- Inventariseer de proceslogica, resourcescenario's, afwegingen en procesoptimalisaties bij verschillende aannemers, deze zouden per aannemer kunnen verschillen.
- Onderzoek de kwantitatieve validiteit van het simulatiemodel
- Onderzoek de invloed van de uitvoering van niet-rioolgerelateerde activiteiten op de opgestelde proceslogica.
- Ontwikkel het simulatiemodel verder door:
 - Implementatie van een flexibelere opbouw van het simulatiemodel.
 - Verbetering van het gebruiksgemak door geautomatiseerde modelinvoer en uitvoering van experimenten en door verbeterde weergave van simulatieresultaten.
 - Uitbreiding van het model door toevoeging van meer proceslogica zoals werk aan overige nutsvoorzieningen en bovengrondse bouwactiviteiten.
- Toets de toepasbaarheid en effectiviteit van het model en mogelijkheden tot verbetering door toepassing van het model op meerdere rioleringsprojecten en binnenstedelijke gebiedsrenovatie projecten.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	7
1.1.	Aanleiding	7
1.2.	Context	8
1.3.	Leeswijzer	8
2.	Hoe is dit onderzoek opgezet?	9
2.1	Onderzoekskader	9
2.2	Probleemstelling en doelstelling	9
2.3	Onderzoeksplan	10
2.4	Methode	11
2.5	Onderzoeksproces	12
2.6	Samenvatting	14
3.	Theoretisch kader	15
3.1.	Riolerings	15
3.2.	Simulatie	16
4.	Wat is de proceslogica van rioleringsprojecten?	18
4.1	Uitvoeringsproces rioleringsprojecten	18
4.2	Processtappen	21
4.3	Procesoptimalisaties	23
4.4	Resources	24
4.5	Samenvatting	24
5.	Hoe kan de proceslogica gesimuleerd worden?	25
5.1	Eisen aan het simulatiemodel	25
5.2	Werking van het simulatiemodel	25
5.3	Gebruiksproces simulatiemodel	27
5.4	Samenvatting	29
6	Hoe werkt dit in de praktijk?	30
6.1	Case: Fictief project	30
6.2	Case: Bedrijvenpark A1- Deventer	34
6.3	Samenvatting	36
7.	Discussie	37
7.1	Proceslogica rioleringsprojecten	37
7.2	Simulatiemodel	38
7.3	Samenvatting	42
8	Conclusies en aanbevelingen	43
8.1	Beantwoording onderzoeksvragen	43
8.2	Conclusies	44
8.3	Aanbevelingen	46
8.4	Beperkingen	48
	Bibliografie	49

1. Inleiding

In dit rapport worden het onderzoeksproces en de resultaten gepresenteerd van het afstudeeronderzoek “Simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten”. Dit onderzoek heeft zich gericht op de ontwikkeling van een beslissingsondersteunend hulpmiddel voor de planning en werkvoorbereiding van binnenstedelijke rioleringsrenovatie. Dit is gedaan door het identificeren van de proceslogica van de uitvoering van deze projecten. Op basis hiervan is het simulatiemodel ontwikkeld, waarna dit in twee cases is getest.

1.1. Aanleiding

“De meeste mensen associëren binnenstedelijke bouwprojecten met overlast zoals lawaai, verkeershinder en projectuitloop. Vooral de renovatie van straten en renovatie van kabels, leidingen en riolering hebben een grote impact op de dagelijkse activiteiten in de publieke ruimte” (Faculteit Bouw/Infra Utwente, 2010).

Veel gemeenten zijn bezig met projecten ter vervanging of herstel van hun rioleringsystemen. Vooral in het binnenstedelijke gebied werkt dit soort projecten vaak ontwrichtend voor de omgeving. Dit komt doordat het logistiek ingewikkelde puzzels zijn. Daarbij speelt dat het werk niet alleen ondergronds is, rioleringsprojecten worden vaak gecombineerd met herinrichting en reconstructie van de omgeving en infrastructuur op maaiveld. Ze hierdoor hebben een behoorlijke impact voor de bewoners, bedrijven, instellingen enzovoort (VISICO center, 2011b). Bouwen in stedelijk gebied betekent volgens het Centrum voor Ondergronds Bouwen (2011a) meer hinder voor de burger, daarnaast zijn fouten in het bouwproces zijn snel en pijnlijk zichtbaar. Bij vertraging en overlast van deze projecten spelen misverstanden en miscommunicatie tussen de verschillende betrokken partijen een belangrijke rol (Faculteit Bouw/Infra Utwente, 2010).

Sinds jaar en dag is een goede afstemming van werkzaamheden aan de ondergrondse infrastructuur een lastige klus. Bij ondergrondse bouwprojecten gaat het vaak om binnenstedelijke, complexe, multidisciplinaire en langdurige projecten, met ook nog eens vele belanghebbenden (Centrum voor Ondergronds Bouwen, 2011b). Daarbij hebben de liberalisering in de markt tot gevolg gehad dat er meer spelers actief zijn. Hierdoor is de onderlinge afstemming en coördinatie bij deze projecten niet gemakkelijker geworden (CROW, 2010). Belangrijke ontwikkelingen die hierbij spelen zijn de afnemende maatschappelijke acceptatie van overlast door werkzaamheden, en de waarde die gehecht wordt aan kwalitatieve hoogwaardige inrichting van de openbare ruimte (CROW, 2010). Een openliggende weg is namelijk een doorn in het oog van omwonenden (Stichting Rioned, 2010a). Als reactie op deze ontwikkelingen zijn er verschillende initiatieven en verschillende onderzoeken gestart naar technische oplossingen om de overlast te verminderen (CROW, 2010). Ook internationaal gezien wordt veel onderzoek gedaan met betrekking tot technische oplossingen voor het riool. Toch treden er nog te vaak problemen op. Het proces voor het realiseren van ondergrondse bouwprojecten zit namelijk nog in de pubertijd. Dit vraagt om professionalisering en beter anticiperen op en omgaan met onvermijdelijke onzekerheden (Centrum voor Ondergronds Bouwen, 2011b). De niet-technische kant van deze vraagstukken wordt dan ook steeds belangrijker, dit onderwerp is nog onderbelicht in de literatuur.

Krappe planningen zijn een bekend en bijna typerend verschijnsel in de (infra)bouw. Dit betekent dat bij een beperkte tegenslag, in welke vorm dan ook, de planning direct onder tijdsdruk komt te staan. Deze tijdsdruk manifesteert zich hoofdzakelijk tijdens de realisatiefase. Dit vanwege de sterke afhankelijkheid van externe omstandigheden tijdens het bouwproces is dit proces moeilijk beheersbaar. Ook zijn tijdens het bouwproces de complexiteit, de verstoringen en de dynamiek veel groter dan tijdens de andere fases (CROW, 2012). Daarom is het nodig om bouwprocessen op het vlak van voorbereiding, planning, taakverdeling, communicatie en samenwerking op orde te hebben. Bouwprocessen worden reeds analytisch en gefaseerd benaderd, maar de focus is gericht op het behalen van resultaat. Daar zijn goede redenen voor, echter bij een te sterk accent op resultaten kan snelheid ten koste gaan van voorbereiding, structuur, planning en zorgvuldigheid (CROW, 2010).

Om een project beheersbaar te maken en tijdsdruk te voorkomen is inzicht nodig in de onzekerheden in de doorlooptijd van uitvoeringsprocessen. Dit inzicht helpt om onverwachte situaties op te vangen. Een oplossing die het CROW (2012) hiervoor aanraadt is het aangeven van de onzekerheid in een probabilistische planning, of bandbreedte in de planning. Hiermee worden onzekerheden vooraf bespreekbaar gemaakt. Op basis hiervan kan een robuuste uitvoeringsplanning opgesteld worden. König (2011) argumenteert dat dit belangrijker is dan het vinden van de meest optimale planning. Dit omdat in vrijwel alle bouwprojecten de planning toch continu aangepast moet worden aan verstoringen in de planning. Daarnaast is het efficiënt inzetten van resources een

ander belangrijk aspect. Volgens Kaplan en Norton (zoals geciteerd in Too (2008)) kan langdurige waarde behaald worden door het vergroten van de productiviteit. Er bestaat in dezen vaak een trade-off tussen optimalisatie en robuustheid van de planning.

Concluderend liggen er belangrijke kansen bij het verbeteren van de planning en het uitvoeringsproces, en daardoor het verhogen van de efficiëntie. Betere onderlinge coördinatie, samenwerking en informatie-uitwisseling tussen de ketenpartners in het bouwproces is hierbij belangrijk. Met de toename van het gebruik van geïntegreerde contractvormen krijgen aannemers de kans om vroeg bij een project te betrokken worden om zo efficiëntieverlies tegen te gaan. Met de verwachting dat de investeringen in rioleringsprojecten de komende jaren toenemen, en de ontwikkeling dat belanghebbenden in deze projecten kritischer worden, bestaat er een uitdaging om de maatschappelijke overlast van deze projecten te verminderen.

1.2. Context

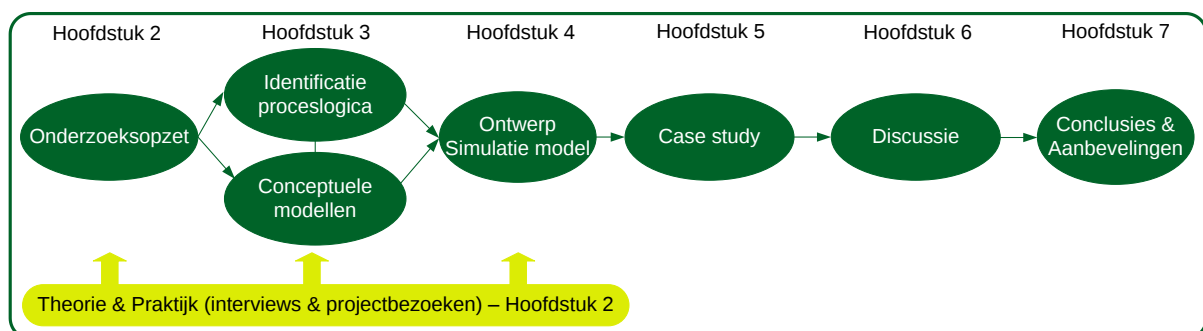
Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost is een afdeling van de Dura Vermeer Infrastructuur BV een onderdeel van de Dura Vermeer Groep NV. De afdeling heeft vestigingen in Hengelo, Beuningen en Terschuur (Dura Vermeer, 2013). Dura Vermeer Infrastructuur BV is verantwoordelijk voor de tender, ontwerp, uitvoering en beheer & onderhoud fases van het bouwproces van infrastructurele projecten binnen de Dura Vermeer Groep (Dura Vermeer, 2013). Dura Vermeer infrastructuur is de afgelopen jaren bezig geweest met een professionaliseringsslag om de bedrijfsresultaten te verbeteren. In het kader hiervan neemt wordt deelgenomen aan de stichting Pioneering waarbinnen dit onderzoek wordt uitgevoerd (Dura Vermeer, 2013).

Het Visico center is een onderzoekscentrum verbonden aan de vakgroep Construction Management & Engineering van de Universiteit Twente. Het ontwikkelt visualisatie- en simulatiesystemen die ondersteuning bieden voor het maken van beslissingen in het bouwproces (VISICO center, 2011a). Het centrum heeft als missie één van de drijvende krachten te zijn achter de ontwikkeling van dergelijke systemen.

Het onderzoek van het VISICO m.b.t. binnenstedelijke rioleringsprojecten richt zich op het ontwikkelen van een beslissingsondersteunende 'serious game' te komen (VISICO center, 2011b). Dit onderzoek wordt ondersteund door de werkplaats Innovatieve Toepassingen in de GWW van de stichting Pioneering.

1.3. Leeswijzer

In dit document worden de resultaten van het afstudeeronderzoek naar het (verder) ontwikkelen van een simulatiemodel van de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsrenovatie beschreven. In dit rapport wordt ingegaan op het onderzoeksproces en de resultaten daarvan. Daarnaast is een bijlagendossier opgeleverd met daarin verdere achtergrondinformatie en is het ontwikkelde simulatiemodel digitaal opgeleverd. Ten slotte is er een verslag voor de aannemer opgeleverd. De opbouw van dit verslag is weergegeven in figuur 1-1.



Figuur 1-1 Opbouw rapport

In hoofdstuk 2 wordt de onderzoeksopzet en het onderzoeksproces uiteengezet. In hoofdstuk 3 wordt het theoretisch kader behandeld, vervolgens komt de geïdentificeerde proceslogica aan de orde in hoofdstuk 4. De implementatie van deze kennis in het simulatiemodel wordt behandeld in hoofdstuk 5. De twee uitgevoerde case studies worden behandeld in hoofdstuk 6 waarna in hoofdstuk 7 een discussie volgt over de opgestelde proceslogica en het ontwikkelde simulatiemodel. Ten slotte volgen in hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen.

2. Hoe is dit onderzoek opgezet?

In dit hoofdstuk wordt de opzet van dit onderzoek behandeld. Deze opzet is opgesteld in een onderzoeksvoorstel voor aanvang van dit onderzoek. In paragraaf 2.1 wordt het onderzoekskader uiteengezet, hierin wordt het rioleringsstelsel in Nederland, en veel voorkomende problematiek die speelt bij rioleringsprojecten behandeld. Daarnaast wordt ingegaan op de situatie bij de opdrachtgever. Dit kader wordt gevolgd door de probleemstelling in paragraaf 2.2 welke gevolgd wordt door de doelstelling van het onderzoek met het te ontwikkelen product en de relevantie van het onderzoek in paragraaf 2.3. Vervolgens wordt het onderzoeksplan behandeld in paragraaf 2.4 hierin wordt een visuele opzet van het onderzoek weergegeven en komen de onderzoeksvragen aan bod. De gebruikte methodologie wordt beschreven in paragraaf 2.5 waarna in paragraaf 2.6 het proces van het onderzoek wordt behandeld.

2.1 Onderzoekskader

Een veel voorkomend fenomeen in de bouw waar men ook bij Dura Vermeer tegen aanloopt is het volledig werken op basis van kenniservaring. Uit de literatuur blijkt dat het werken op basis van kenniservaring alleen kan leiden tot een suboptimale planning en werkvoorbereiding. Dit is bijvoorbeeld waargenomen bij planners van asfaltwerkzaamheden. Sergei Miller en André Dorée (2008) vonden dat voor het transport van de asfaltcentrale naar de bouwlocatie het benodigde aantal benodigde trucks voor kortere ritten werd overschat en het aantal trucks voor grote projecten onderschat. Dit leidt tot een minder efficiënt werkproces.

Aan de ene kant is de kenniservaring van de werknemers één van de meest waardevolle eigenschappen van een aannemer. De bouwmaterialen en materieel zijn veelal gelijk voor elke aannemer, onderscheid kan dus alleen gemaakt worden door efficiëntere processen waarvoor het personeel verantwoordelijk is (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012). Echter kent deze kennis ook enkele nadelen. Zo vloeit kennis weg bij ziekte, overstap of pensioen van werknemers. Daarnaast betekent het werken zonder vastgelegde protocollen dat gemaakte keuzes niet expliciet vastgelegd worden, waardoor er fouten in het proces kunnen sluipen. Ook is het hierdoor moeilijk om achteraf verantwoording af te leggen voor de gemaakte keuzes. Tijdens de interviews werd de keuze om al dan niet te gaan asfalteren als voorbeeld aangehaald. Binnen Dura Vermeer is hiervoor een programma beschikbaar dat een afweging maakt. Hierover werd gezegd dat men dit zelf net zo goed, of beter kan. Echter werd ook aangegeven dat het expliciet vastleggen van keuzes duidelijkheid schept, en verantwoording achteraf beter mogelijk maakt (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012).

Het volledig vertrouwen op kenniservaring alleen is dan ook niet raadzaam. Hierbij speelt ook dat de verwachting, met ook op de toekomst, is dat een groot deel van het ervaren personeel zal afvloeien en dit onvoldoende kan worden opgevangen door jonge aanwas, als gevolg van de toenemende vergrijzing. Hierdoor zal zowel de kwantiteit als de kwaliteit van de kennis afnemen. Een oplossing voor dit probleem vraagt om een werkwijze die niet alleen gebaseerd is op kenniservaring, maar ook op vastgelegde protocollen met expliciet gemaakte keuzes, een meer analytische benadering.

2.2 Probleemstelling en doelstelling

In het projectkader is de bredere context van het probleem besproken evenals het probleem binnen de organisatie en de relevantie van het probleem. Uit deze uiteenzetting volgt de volgende probleemstelling.

De op kenniservaring alleen gebaseerde werkwijze van planning en werkvoorbereiding van complexe binnenstedelijke rioleringsprojecten kan leiden tot een suboptimale uitvoeringsplanning met als gevolg grotere kans op (meer) vertraging, overlast en (faal)kosten bij deze projecten dan nodig. Door de toenemende uitvoering van deze projecten en de afnemende maatschappelijke acceptatie van overlast neemt de omvang van dit probleem toe.

Het geïdentificeerde probleem speelt voor zowel Dura Vermeer als voor opdrachtgevers en de maatschappij. Ten eerste betekenen de hogere (faal)kosten en de langere duur van de projecten inkomstenderving voor Dura Vermeer. Een gevolg van de hogere kosten voor deze projecten is ook dat de opdrachtgevers meer betalen voor de uitvoering van deze projecten. Aangezien de opdrachtgevers voornamelijk publieke organen zijn is de maatschappij hier indirect de dupe van. Daarnaast is de overlast van deze projecten een direct probleem voor de maatschappij.

Uit de probleemstelling volgt dat de planninglogica gebaseerd op basis van kenniservaring alleen, aangevuld kan worden door een meer structurele werkwijze mede gebaseerd op analytisch verkregen informatie. Hierbij worden de risico's en effecten van scenario's meer expliciet meegenomen. Door deze werkwijze worden keuzes expliciet vastgelegd zodat deze achteraf verantwoord kunnen worden. Het te ontwikkelen simulatiemodel voor deze projecten vormt in deze werkwijze een aanvulling op de bestaande kenniservaring. Dit leidt tot het volgende onderzoeksdoel:

Bijdragen aan een meer gestandaardiseerde, analytische werkwijze van planning en werkvoorbereiding van binnenstedelijke rioleringsprojecten door het verder ontwikkelen van het bestaande simulatiemodel tot een beslissingsondersteunend hulpmiddel voor dit plannings- en werkvoorbereidings-proces.

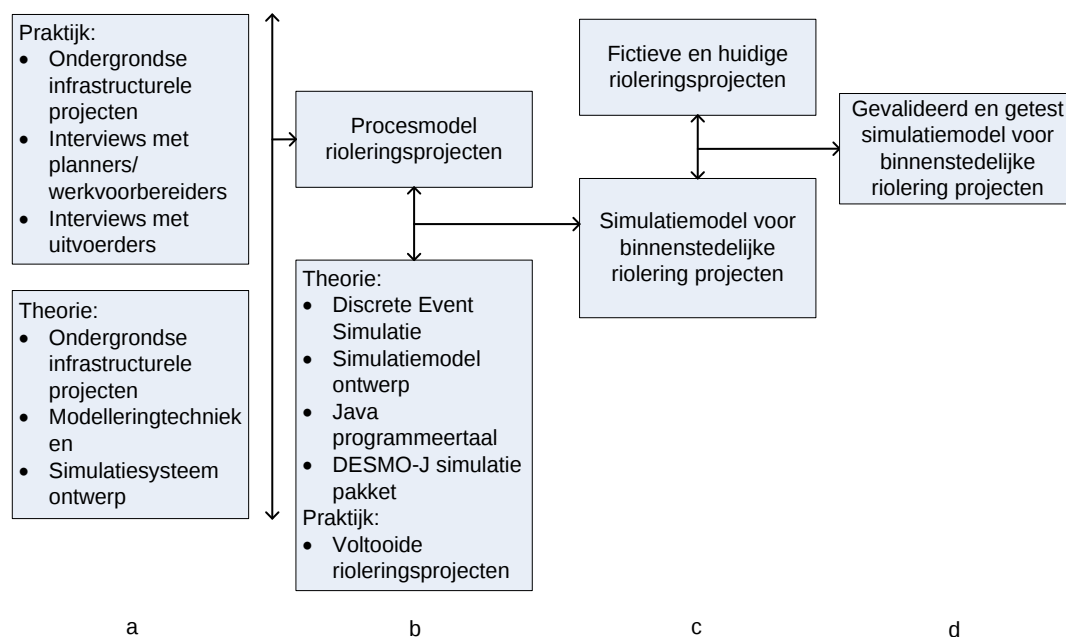
Het te ontwikkelen product is een beslissingsondersteunend hulpmiddel voor binnenstedelijke rioleringsprojecten. Dit hulpmiddel is een programma dat binnenstedelijke rioleringsrenovatie simuleert aan de hand van de geometrische projectgegevens. Het hulpmiddel is niet bedoeld om de huidige werkwijze te vervangen maar om deze te complementeren. De producten van dit onderzoek zijn daarmee als volgt:

- De key parameters voor de uitvoering van de projecten voor het model
- Een beschrijvend model van de proceslogica van het uitvoeringsproces van (binnenstedelijke) rioleringsprojecten
- Een gevalideerd simulatie model dat de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten simuleert aan de hand van ingegeven parameters.

2.3 Onderzoeksplan

Om het onderzoeksdoel te bereiken zijn er verschillende stappen gezet tijdens het onderzoek. Hiertoe is een onderzoeksmodel opgesteld, (figuur 2-2). Dit model kan als volgt worden verwoord:

(a) Een bestudering van de theorie en praktijk van planning en uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten en de theorie van modelleringstechnieken levert een procesmodel op voor binnenstedelijke rioleringsprojecten, (b) welke na een theoriestudie naar het ontwerpen van Discrete-Event simulatiemodellen, de Java programmeertaal en het DESMO-J pakket omgezet wordt in een simulatiemodel voor binnenstedelijke rioleringsprojecten, (c) welke gevalideerd wordt door middel van vergelijking met voltooide en huidige rioleringsprojecten wat resulteert in een (d) gevalideerde beslissingsondersteunende tool voor binnenstedelijke rioleringsprojecten.



Figuur 2-2 Conceptueel onderzoeksmodel simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten

Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen zijn het geheel van vragen die beantwoord moesten worden tijdens dit onderzoek om het onderzoeksdoel te bereiken. Daarnaast vormen de vragen een weergave van welke stappen tijdens het onderzoek gezet moeten worden. De vraagstelling is opgedeeld in centrale vragen waarvan de antwoorden samen het onderzoeksdoel bereiken. Daarnaast zijn er deelvragen opgesteld bij de centrale vragen waarvan de antwoorden gezamenlijk de centrale vraag beantwoorden.

1. Hoe ziet een beschrijvend model van het uitvoeringsproces van binnenstedelijke rioleringsprojecten eruit?

Het doel van het beantwoorden van deze vraag is het identificeren van het werkproces van de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten en de belangrijke parameters die van invloed zijn op de uitvoering, en dit samen te vatten in een visueel model. Dit doel is bereikt door het beantwoorden van de volgende deelvragen:

- 1.1 Wat is de proceslogica van de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten en wat zijn de belangrijkste uitvoeringsparameters bij deze projecten?
- 1.2 Hoe kunnen de proceslogica en de uitvoeringsparameters weergegeven worden in een beschrijvend visueel model?
- 1.3 Klopt het opgestelde model met de werkelijkheid?

2. Hoe kan de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten gesimuleerd worden.

Het doel van het beantwoorden van deze vraag is het ontwerpen van een simulatiemodel op basis van het bij de vorige vraag opgestelde model. Dit is wordt bereikt door het beantwoorden van de volgende deelvragen:

- 2.1 Welke eisen worden er door ervaringsdeskundigen gesteld aan een simulatiemodel voor binnenstedelijke rioleringsprojecten?
- 2.2 Hoe kan het uitvoeringsproces van binnenstedelijke rioleringsprojecten gesimuleerd worden op basis van het visueel model en de opgestelde eisen?

3. Hoe betrouwbaar is het simulatiemodel als controlemiddel van de uitvoeringsplanning?

Het doel van het beantwoorden van deze vraag is het valideren van het ontworpen simulatiemodel en de betrouwbaarheid te onderzoeken. Dit doel is bereikt door het beantwoorden van de volgende deelvragen:

- 3.1 Klopt het simulatiemodel met het opgestelde visuele model?
- 3.2 Hoe beoordelen ervaringsdeskundigen de uitkomsten van het model?
- 3.3 Hoe verhouden de uitkomsten van simulatie zich tot de uitkomsten van eerder uitgevoerde projecten?
- 3.4 Hoe verhouden de uitkomsten van simulatie zich tot projecten in uitvoering?

2.4 Methode

Aan de hand van het conceptuele plan en de onderzoeksvragen is de onderzoeksmethodologie opgesteld. In het onderzoeksmodel en de onderzoeksvragen is globaal weergegeven hoe het onderzoek eruit ziet, en welke vragen beantwoord dienen te worden. Om het onderzoek daadwerkelijk uit te voeren dient dit plan omgezet te worden naar uitvoerbare stappen in een technisch onderzoeksontwerp. Hiervoor is een onderzoeksstrategie opgesteld welke hieronder besproken zal worden. Vervolgens komen de validiteit en betrouwbaarheid van het onderzoek aan bod. Tot slot zal de planning van het onderzoek besproken worden.

De gebruikte methode voor de ontwikkeling van simulatie software is een etnografische aanpak ontwikkeld door Hartmann et al. (2009) Deze methode combineert etnografisch en actief onderzoek. Dit houdt in dat de ontwikkeling van deze software plaatsvindt door collaboratie van de onderzoeker en ervaringsdeskundigen (VISICO center, 2011). Het etnografische deel bestaat uit observaties en interviews waardoor de onderzoeker een inkijk krijgt in het onderwerp. Het actieve deel bestaat uit actief deelnemen in dit proces door het verzamelen en verifiëren van kennis van proceslogica van het bestudeerde onderwerp.

Bij het uitvoeren van een onderzoek is het belangrijk dat dit onderzoek valide is. Validiteit heeft verschillende betekenissen. In dit kader betekent het dat het onderzoek daadwerkelijk meet wat het onderzoeksdoel was om te meten. Hierbij is er sprake van interne en externe validiteit.

Interne validiteit is de mate waarin het redeneren binnen het onderzoek correct is uitgevoerd. Er zijn verschillende strategieën toegepast om hier zorg voor te dragen. Zo is voor zover mogelijk gebruik gemaakt van meerdere bronnen, zowel theoretisch als uit de praktijk. Voor theorie was dit niet altijd mogelijk zijn. Voor de praktijkbronnen is dit uitgevoerd worden door meerdere personen te interviewen en meerdere projecten te gebruiken als onderzoeksmateriaal. Aangezien de beschikbare tijd voor het onderzoek beperkt was is hierin

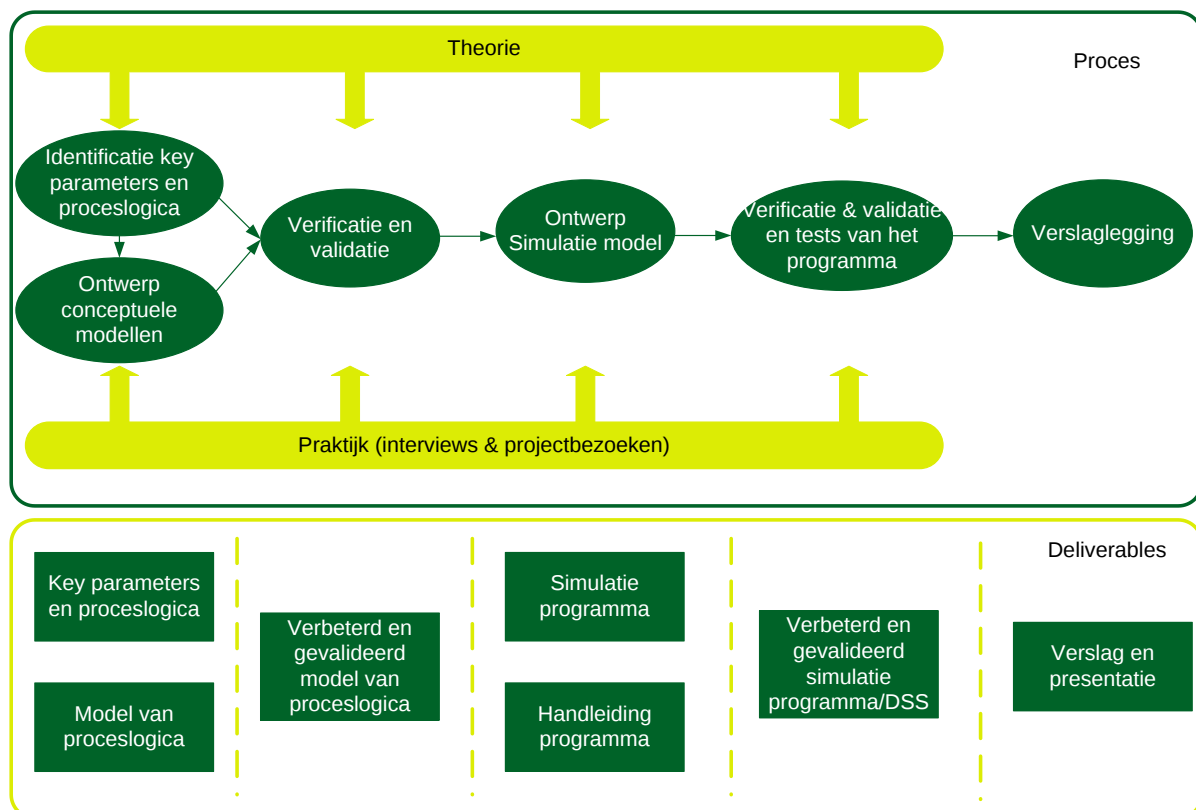
een afweging gemaakt tussen efficiency en betrouwbaarheid. Naast het gebruiken van meerdere bronnen is het belangrijk dat de verkregen informatie accuraat verwerkt wordt. Hiervoor zijn alle bronnen vastgelegd zodat achteraf controle mogelijk is. Om fouten bij de verwerking van interviews te voorkomen is er gebruik gemaakt worden van interviewprotocollen en zijn de interviews opgenomen worden.

Externe validiteit is in hoeverre de resultaten van een bepaald onderzoek of een test te generaliseren zijn. Dus in hoeverre de resultaten overeenkomen met de dagelijkse praktijk. Deze vorm van validiteit kan verhoogd worden door de ontwikkelde simulatietool te valideren aan de hand van meerdere actieve projecten. Aangezien het valideren aan de hand van lopende projecten veel tijd kost was het nodig om hierin een afweging te maken. Door gebruik te maken van kennisexperts om de simulatietool te valideren kan de externe validiteit verder gewaarborgd worden.

Betrouwbaarheid betekent dat de uitkomsten van het onderzoek bij herhaling hetzelfde zijn. Om dit te garanderen is het belangrijk dat men kan vertrouwen op de onderzoeksinput. Er zijn verschillende strategieën worden toegepast om hier zorg voor te dragen. Zo is het onderzoeksproces vastgelegd in dit verslag. Daarnaast zijn de tussenproducten van het onderzoek die gebruikt zijn voor de ontwikkeling van het simulatiemodel bijgevoegd in een bijlagendossier. Hierin zijn ook de verschillende afwegingen en abstracties van het simulatiemodel bijgevoegd.

2.5 Onderzoeksproces

De uitvoering van het onderzoek is samen met de deliverables visueel weergegeven in Figuur 2-. Hierin is te zien hoe alle onderzoeksstappen zijn samengevat in vijf hoofdstappen. In deze paragraaf wordt dit onderzoeksproces beschreven. Hoewel het ontwikkelen van het simulatiemodel een belangrijke stap is geweest zijn de overige stappen minstens zo belangrijk. Kennis dient namelijk eerst geïdentificeerd te worden, om deze vervolgens te formaliseren en op te slaan. Pas dan kan kennis geautomatiseerd worden. De resultaten van dit proces worden in de volgende hoofdstukken gepresenteerd.



Figuur 2-4 Visuele weergave van de onderzoeksopzet

Interviews

Ter oriëntatie op het probleem zijn verschillende personeelsleden van de probleemeigenaar geïnterviewd. Dit zijn individuele interviews geweest met een werkvoorbereider, een projectleider en een uitvoerder. Gezien het oriënterende karakter van de interviews waarbij echter wel antwoord verkregen diende te worden op specifieke vragen, is een halfgestructureerd interview gebruikt. Dit wil zeggen een interviewprotocol met van te voren vastgelegde open vragen, maar met ruimte voor uitdieping en afwijking door de interviewer. De interviews zijn opgesteld aan de hand van het basisboek *Methoden en Technieken* (Baarda & de Goede, 1997) en het cursusboek *Interviewen* (Vereniging van Onderzoek Instituten, 1989). Een uitgebreide samenvatting van de interviews is weergegeven in hoofdstuk 3 van het bijlagendossier. Naast deze samenvatting zijn de verzamelde gegevens betreffende de uitvoering, gebruikt voor het opstellen van de proceslogica.

Projectbezoeken

Naast de interviews zijn er verschillende projectbezoeken uitgevoerd om een beteren meer praktisch beeld te verkrijgen van rioleringsprojecten. Er zijn rioleringsprojecten bezocht van de opdrachtgever in Den Haag, Beuningen en Deventer. Deze projecten verschilden in omvang, omgeving en de mate van overige, niet rioleringsgerelateerde, activiteiten. Tijdens de bezoeken zijn rondleidingen en uitleg verzorgd door de projectleiders of hoofduitvoerders. Verder is er gebruik gemaakt van de mogelijkheid om vragen te stellen, rond te kijken en te fotograferen.

Systeemidentificatie

Zoals aangegeven in de literatuurstudie naar de ontwikkeling van een simulatiemodel (zie paragraaf 2.3 van de bijlage) begint het ontwikkelen van een simulatiemodel met het identificeren en definiëren van het te modeleren systeem. Hierbij moet het systeem in kaart gebracht worden en de systeemgrenzen vastgelegd worden. Daarbij wordt door middel van analyse bepaald hoe het systeem werkt. De systeemidentificatie is een belangrijke stap in de ontwikkeling van een simulatiemodel aangezien deze stap de basis levert waarop alle volgende stappen verder bouwen. In deze paragraaf wordt deze identificatie behandeld. Naast de hierboven genoemde interviews en projectbezoeken zijn informele gesprekken met praktijkdeskundigen en beschikbare theorie voor deze systeemidentificatie gebruikt.

Het geïdentificeerde systeem heeft gediend als basis voor de ontwikkeling van het simulatiemodel. Het is daarom van belang dat deze identificatie correct is. Daarom is de proceslogica geverifieerd en gevalideerd. Het doel van verificatie is expliciet en objectief aantonen of het resultaat in overeenstemming is met de specificaties en het beoogde gebruik. De eerste vorm van toegepaste verificatie is het gebruik van verschillende bronnen namelijk: literatuur, praktijkdeskundigen en projectbezoeken. Daarnaast zijn de opgestelde proceslogica, parameters, keuzes en scenario's voorgelegd aan praktijkdeskundigen. Uit deze discussie kwamen enkele punten ter verbetering naar voren welke in de proceslogica en parameters verwerkt zijn.

Systeemconceptualisatie

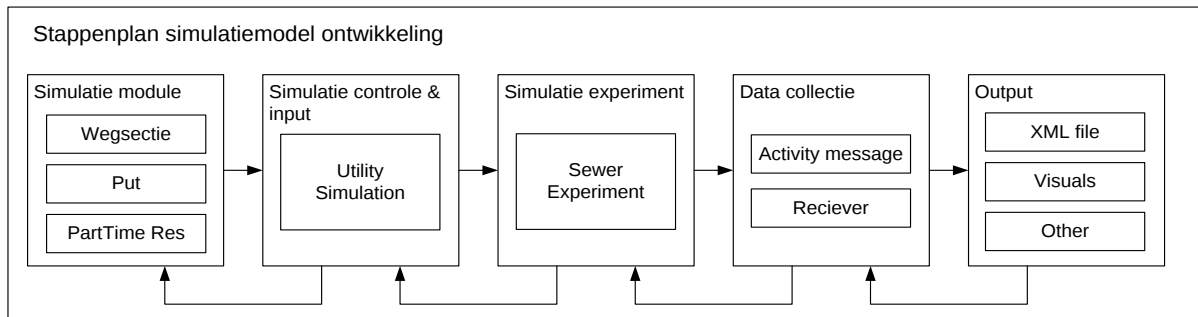
De tweede stap in het ontwikkelen van een simulatiemodel is het ontwikkelen van conceptuele modellen van het systeem op basis van de proceslogica geweest. De conceptuele modellen beschrijven de werkelijkheid zo accuraat mogelijk, waarbij er al deels een vertaalslag naar een simulatiemodel wordt gemaakt. De conceptuele modellen zijn opgesteld aan de hand van de Unified Modeling Language welke besproken wordt in paragraaf 2.5 van het bijlagendossier, de modellen zijn bijgevoegd in hoofdstuk 5 van het bijlagendossier.

Omdat er bij het opstellen van conceptuele modellen gaat er altijd informatie verloren, omdat er sprake is van een abstractie van de werkelijkheid. Daarom is er een afweging gemaakt tussen het detailniveau en leesbaarheid van de modellen. Er zijn toestandsdiagrammen en activiteitendiagrammen opgesteld voor de levenscyclus van de elementen en de resources in het systeem. Hierbij gelden de wegvakken als elementen van het systeem.

Vervolgens zijn de conceptuele modellen geverifieerd en gevalideerd. Bij de verificatie is gecontroleerd of de modellen de geïdentificeerde proceslogica en uitvoeringsparameters correct weergeven. Dit is een iteratief proces geweest waarbij de modellen verschillende malen zijn gereviseerd. Hierna is door middel van validatie gecontroleerd of de modellen de werkelijkheid die beoogd wordt te beschrijven, daadwerkelijk voldoende correct beschrijven. De validatie van de modellen is uitgevoerd door de modellen voor te leggen aan, en te bediscussiëren met ervaringsdeskundigen.

Simulatiemodel ontwikkeling

Het simulatiemodel van de uitvoering van (binnenstedelijke) rioleringrenovatie is ontwikkeld op basis van de proceslogica en de conceptualisatie hiervan. Bij aanvang van de modelontwikkelingsfase is een plan opgesteld om deze fase op te delen in verschillende stappen. Deze stappen zijn weergegeven in figuur 2-5. Omdat het introduceren van nieuwe functionaliteit regelmatig werk vereist aan meerdere onderdelen van het model, is het werk echter niet zo lineair uitgevoerd als in figuur 2-5 wordt gesuggereerd. Wel is de volgorde van stappen zoals weergegeven aangehouden. Zoals in het stappenplan zichtbaar door de feedback pijlen is dit proces iteratief geweest.



Figuur 2-5 Stappenplan software ontwikkeling

Toepassing van het simulatiemodel

Na de ontwikkeling en verificatie is het simulatiemodel toegepast door middel van twee case studies. Deze case studies hebben gediend als validatie van het simulatiemodel. Het volledig analytisch valideren van een simulatiemodel is een ingewikkelde en tijdrovende klus (Page & Kreutzer, 2005). Vanwege de vele invoerparameters van het model zijn er zeer veel alternatieven mogelijk qua uitvoering. Validatie hiervan was binnen de scope van dit onderzoek niet mogelijk aangezien niet alle vereiste data voorradig was. Het verkrijgen hiervan zou zeer veel tijd kosten aangezien van reeds voltooide projecten bij de opdrachtgever niet afdoende gedetailleerde gegevens beschikbaar waren. Daarom is ervoor gekozen het model niet via deze weg te valideren.

Een alternatief hiervoor is het uitvoeren van het validatieproces door middel van kennisgebaseerde validatie (Min, Yang, & Wang, 2010). Dit is uitgevoerd door de uitkomsten van het simulatiemodel te evalueren met ervaringsdeskundigen. Dit maakte het mogelijk om de verschillende gesimuleerde delen van het uitvoeringsproces te beoordelen. Deze validatie heeft op twee manieren plaatsgevonden. Ten eerste door de case studie van een fictief project en vervolgens door de simulatie van een echt project welke met ervaringsdeskundigen is geëvalueerd. Deze case studies worden behandeld in hoofdstuk 5.

2.6 Samenvatting

In dit hoofdstuk is de opzet van dit onderzoek behandeld. Dit onderzoek heeft zich gericht op het in kaart brengen van de proceslogica van de uitvoering van rioleringsprojecten. En het ontwerpen van een beslissingsondersteunend hulpmiddel voor de planning en werkvoorbereiding van rioleringsprojecten op basis van die proceslogica. Dit is uitgevoerd door middel van etnografisch-actief onderzoek. Op basis van interviews en projectbezoeken is de proceslogica ontwikkeld door systeemidentificatie. Hierna is door middel van conceptualisatie en software ontwikkeling het simulatiemodel ontwikkeld waarna deze software is getest door middel van twee case studies. De resultaten van dit proces worden in de volgende hoofdstukken gepresenteerd gevolgd door een discussie van deze resultaten in hoofdstuk 7 en de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 8.

3. Theoretisch kader

Het theoretisch kader vormt het startpunt van dit onderzoek en richt zich op het rioleringsstelsel in Nederland, met name het binnenstedelijke netwerk en het proces van rioleringsrenovatie. Daarnaast heeft de literatuurstudie zich gericht op simulatie en de variant Discrete-Event simulatie en op hoe deze technieken bij kunnen dragen aan het oplossen van de problematiek bij binnenstedelijke ondergrondse infrastructuur projecten.

3.1. Riolering

Zoals in de aanleiding al is gesteld associëren de meeste mensen binnenstedelijke, infrastructurele bouwprojecten met overlast zoals lawaai, verkeershinder en projectuitloop. Vooral de renovatie van straten en renovatie van kabels, leidingen en riolering hebben een grote impact op de dagelijkse activiteiten in de publieke ruimte” (Faculteit Bouw/Infra Utwente, 2010).

Het Nederlandse rioleringsstelsel is een fijnmazig netwerk, Nederland kent dan ook de hoogste aansluitingsgraad van Europa met 99,8%. Dit netwerk wordt gebruikt voor zowel de afvoer van afvalwater en de afvoer van regenwater (Stichting Rioned, 2010b).

Het rioolstelsel in Nederland is aangelegd onder de Nederlandse wegen. Dit is de meest efficiënte manier om hemelwater af te voeren en het riool is hierdoor gemakkelijk te onderhouden (Stichting Rioned, 2010a). Een gevolg hiervan is dat als men voor onderhoudswerkzaamheden of renovatie de weg meestal open moet breken (Cobouw, 2011). Daarom worden het bovengrondse wegennetwerk en het ondergrondse rioolnetwerk door gemeenten vaak als één geheel onderhouden. Dat levert financiële voordelen op, en zorgt ook voor minder overlast voor burgers en bedrijven (Stichting Rioned, 2010b). Dit heeft echter wel een grotere complexiteit voor de uitvoerende partij als gevolg door de multidisciplinaire aard van het project.

Door krappe planningen betekent een beperkte tegenslag dat de planning direct onder tijdsdruk komt te staan. Dit wordt versterkt door het feit dat dit type projecten zich kenmerkt door complexe en multidisciplinaire bouwprocessen. Deze tijdsdruk manifesteert zich hoofdzakelijk tijdens de realisatiefase (CROW, 2012) & (Centrum voor Ondergronds Bouwen, 2011b). Door de sterke afhankelijkheid van externe omstandigheden tijdens het bouwproces is dit proces moeilijk beheersbaar. Daarnaast zijn tijdens het bouwproces zijn de complexiteit, de verstoringen en de dynamiek veel groter dan tijdens de andere fases (CROW, 2012).

Daarbij hebben de liberalisering in de markt tot gevolg gehad dat er meer spelers actief zijn. Hierdoor is de onderlinge afstemming en coördinatie bij deze projecten niet gemakkelijker geworden (CROW, 2010). Bij vertraging en overlast van deze projecten spelen misverstanden en miscommunicatie tussen de verschillende betrokken partijen dan ook een belangrijke rol (Faculteit Bouw/Infra Utwente, 2010).

Daarom is het nodig om bouwprocessen op het vlak van voorbereiding, planning, taakverdeling, communicatie en samenwerking op orde te hebben (CROW, 2010). Dit vraagt om professionalisering en beter anticiperen op & omgaan met onvermijdelijke onzekerheden (Centrum voor Ondergronds Bouwen, 2011b). Om een project beheersbaar te maken en tijdsdruk te voorkomen is inzicht nodig in de onzekerheden in de doorlooptijd van uitvoeringsprocessen. Dit inzicht helpt om onverwachte situaties op te vangen (CROW, 2012). De niet-technische kant van ondergrondse vraagstukken, waar dit onderzoek zich op richt, wordt dan ook steeds belangrijker, dit onderwerp is nog onderbelicht in de literatuur.

Daarnaast kan volgens Kaplan & Norton (zoals geciteerd in Too (2008)) kan langdurige waarde behaald worden door het vergroten van de productiviteit. Hiervoor is het nodig om de bedrijfsmiddelen zo efficiënt mogelijk in te zetten.

Concluderend liggen er belangrijke kansen bij het verbeteren van de planning en het uitvoeringsproces, en daardoor het verminderen van het efficiëntieverlies. Beter onderlinge coördinatie, samenwerking en informatie-uitwisseling tussen de ketenpartners in het bouwproces is hierbij belangrijk. Met de toename van het gebruik van geïntegreerde contractvormen krijgen aannemers de kans om dit te verwezenlijken. Voor de opdrachtgever liggen er mogelijkheden om zich te professionaliseren op dit gebied.

3.2. Simulatie

Het tijdens dit onderzoek ontwikkelde beslissingsondersteunende hulpmiddel is een simulatiemodel. Simulatie is een representatie van de werkelijkheid met het doel deze werkelijkheid te bestuderen (Ruwanpura & Ariaratnam, 2007). In dit onderzoek beslaat het model de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten. In het model wordt vastgelegd hoe de toestand van het systeem veranderd en zich ontwikkelt over tijd, en aan welke regels dit gebonden is.

Simulatie is een experimentele techniek voor het modeleren van systemen waarvan men het gedrag willen volgen. Het is het bestuderen van een systeem vanuit meerdere aspecten en het voorspellen van hoe, en begrijpen waarom, het op een bepaalde manier zal reageren op verschillende invoer (Page & Kreutzer, 2005). Hiertoe worden dynamische processen in systemen gemodelleerd, gebaseerd op echte data, hiermee zoekend naar voorspellingen van het gedrag van het echte systeem (Page & Kreutzer, 2005).

Met simulatiemodellen kunnen complexe systemen geanalyseerd worden die anders niet geanalyseerd kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn het volgen van consequenties in een lange reeks gebeurtenissen, of systemen met vele componenten die een wisselwerking hebben. Daarnaast biedt simulatie een alternatief voor experimenten. Hoewel experimenten de werkelijkheid volledig weergeven zijn deze vaak ongewenst vanwege de hoge kosten, of zijn experimenten simpelweg niet mogelijk (Page & Kreutzer, 2005).

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de simulatievariant Discrete-Event simulatie (DEVS). Dit is een vorm van simulatie die uit gaat van discrete stappen tussen opeenvolgende gebeurtenissen. In deze vorm van simulatie vinden alle veranderingen van de staat van een systeem plaats tijdens deze discrete gebeurtenissen (University of Hamburg, 2012). De simulatieklok springt hierbij van gebeurtenis naar gebeurtenis, waarbij elke gebeurtenis op chronologische volgorde opgenomen is in een gebeurtenissenlijst. Bij gebeurtenis verandert de staat van een of meerdere objecten van het simulatiemodel, of worden objecten gevormd dan wel opgeheven. Ook kunnen geplande gebeurtenissen opgeheven worden, of nieuwe gebeurtenissen gepland worden in de toekomst. Bij deze vorm van simulatie wordt er vanuit gegaan dat er tussen deze gebeurtenissen geen toestandsveranderingen plaatsvinden in het gesimuleerde systeem (Page & Kreutzer, 2005). Dit heeft als voordeel dat deze vorm gemakkelijker te programmeren is en minder processorkracht vereist voor het uitvoeren van het simulatiemodel.

Simulatie kan op meerdere manieren bijdragen aan een snel en efficiënt bouwproces. Aangezien een bouwproject slechts eenmalig wordt uitgevoerd kan er niet vooraf getest of geëxperimenteerd worden met de uitvoering. Met simulatie kan een bouwproces vele malen gemodelleerd worden in verschillende varianten om alternatieve uitvoeringsmethoden en technologieën af te wegen of de invloed van onzekerheden te meten (Ruwanpura & Ariaratnam, 2007) en (Shannon, 1998). Zodoende kan de planning en werkvoorbereiding vooraf geoptimaliseerd worden en kan rekening gehouden worden met onzekerheden en de mogelijke gevolgen daarvan.

De efficiëntie en kosteneffectiviteit van simulatiemodellen maken het een geschikte tool voor het maken van beslissingen en analyse van systemen en met name repetitieve processen. Voorbeelden van deze processen zijn het boren van tunnels en het aanleggen van wegen (Ruwanpura & Ariaratnam, 2007). Ook het aanleggen van riolering is zo een repetitief proces wat zich leent voor simulatie (Halpin & Riggs, 1992).

Samengevat voorziet simulatie in een kosteneffectief beslissingsondersteunend hulpmiddel. Shannon (1998): "Simulatie minimaliseert risico's door het ontdekken van de juiste keuzes voor men de foute keuzes maakt."

Hierbij moet opgemerkt worden dat het vrijwel onmogelijk is de werkelijkheid volledig op te nemen in een simulatie. Een model is altijd een abstractie of versimpeling van de werkelijkheid (Petri, 1997). Het volledig weergeven van de werkelijkheid zou een zeer tijdrovende en kostbare klus zijn en is soms zelfs onmogelijk vanwege een gebrek aan kennis (Ruwanpura & Ariaratnam, 2007). Het is dan ook van belang een afweging te maken welk detailniveau nodig is om het doel van het simulatiemodel te behalen. Hiermee is een van de belangrijkste eigenschappen van simulatie behandeld, er bestaat een zogenaamd conceptueel gat tussen model en werkelijkheid (Page & Kreutzer, 2005).

Daarnaast zijn simulatiemodellen vaak niet transparant wat de controle mogelijkheden beperkt. Ook is er voor het kalibreren en valideren van een model veel data nodig die lang niet altijd beschikbaar is. Aangezien een simulatiemodel een input – output model is betekent dit dat de precisie van de uitvoer direct afhankelijk is van de precisie van de invoer. Ten slotte kost het ontwikkelen van een simulatiemodel veel tijd (Page & Kreutzer, 2005) en (Shannon, 1998).

Ondanks de voordelen die simulatie biedt wordt de techniek nog niet omarmd door de bouw (Campbell, Clegg, Perera, Stephenson, & Stevens, 1997). De toepassing van simulatie in de bouw heeft zich tot nu toe voornamelijk beperkt tot de academische wereld volgens Campbell et al. (1997) en (AbouRizk, Halpin, Mohamed, & Hermann, 2011). Een van de redenen hiervoor is de bouw een zeer dynamisch systeem is met veel interacties tussen verschillende resources en activiteiten. Dit systeem is veel minder controleerbaar dan een fabriekshal bij een productieproces, waar simulatie al wel omarmd is (Campbell, Clegg, Perera, Stephenson, & Stevens, 1997). Ook het feit dat de benodigde gegevens niet altijd voorhanden zijn en dat projecten vaak uniek zijn speelt hierbij mee (AbouRizk, Halpin, Mohamed, & Hermann, 2011). Simulatie in de bouw heeft zich tot nu toe vooral gericht op simpele respectievelijk processen met simpele resource interacties, welke zich volgens Halpin (1992) en Campbell et al. (1997) goed lenen voor simulatie, zoals tunnelbouw, hoogbouw, pijp leggen en grondverzet.

Met de voortschrijdende ontwikkelingen in de computertechniek en simulatie mogelijkheden wordt echter steeds meer aandacht besteed aan simulatie in de bouw. Zo wordt simulatie echter steeds meer toegepast in meer complexe omgevingen. Ook worden er steeds betere simulatieprogramma's ontwikkeld (AbouRizk, Halpin, Mohamed, & Hermann, 2011). Zo hebben Cha, Roh en Lee (2010) een simulatieomgeving ontwikkeld die bestaat uit een simulatie framework dat universeel is waarbij slechts een klein toepassings specifiek deel hoeft te worden ontwikkeld voor elke toepassing. Dit geïntegreerde framework maakt het gemakkelijker om ontwikkelde simulatiemodellen opnieuw te gebruiken en verlaagt de benodigde tijd voor het ontwikkelen van een nieuw simulatiemodel.

Simulatie wordt ook steeds meer geïntegreerd met andere analyse tools en 3D en 4D visualisaties. Hierdoor ontstaan er virtuele werelden waarbij de afstand tussen deze virtuele werelden en de echte wereld geleidelijk kleiner worden (AbouRizk, Halpin, Mohamed, & Hermann, 2011). Er zijn verschillende voorbeelden van deze moderne simulatievormen in de bouwsector. Zo hebben Lee en Arditi (2006) de kritieke pad methode, PERT en DEVS gecombineerd in één systeem dat een realistische voorspelling maakt van de kans dat een project binnen een gespecificeerde tijd voltooid wordt. Chen en Huang (2013) hebben een 3D visuele implementatie voor DEVS ontwikkeld voor transportbewegingen. Hierbij worden door middel van Augmented Reality gesimuleerde activiteiten toegevoegd aan een beeld van de werkelijkheid.

Ook worden steeds complexere processen gesimuleerd. Een voorbeeld is de simulatie van microtunnelbouw, dit is een complexe repetitieve activiteit bestaande uit diverse bouwtechnieken. Dit leidt tot onzekerheid over de duur en kosten van de projecten, vergelijkbaar met binnenstedelijke rioleringsprojecten. Marzouk, Abdallah en El-Said (2010) hebben een hulpmiddel ontwikkeld dat aannemers helpt bij het plannen van microtunnelbouw door middel van simulatie. Voor containerterminals, waar algoritmes en modellen voor optimalisaties voornamelijk één specifiek doel dienden, hebben Sun, Lee, Chew & Tan (2012) een algemeen simulatie platform ontwikkeld. Dit platform biedt de flexibiliteit om verschillende simulaties te ontwikkelen.

De logische volgende stap in de evolutie van DEVS voor de bouwsector zijn tegelijk lopende simulatie en animatie, die interacties met de animatie toestaan die de uitvoering van de simulatie aanpassen (Rekapalli & Martinex, 2011). Het onderzoek van het VISICO center in het kader van de binnenstedelijke rioleringsprojecten richt zich op het ontwikkelen van visualisatie en simulatie tools om tot een 'serious game' te komen. Hierin worden 3D, 4D, DEVS en andere technieken gecombineerd.

Dit onderzoek tracht bij te dragen aan de literatuur op het gebied van DEVS in de bouw, meer specifiek op DEVS bij binnenstedelijke ondergrondse infrastructurele projecten. Hoewel deze projecten gekenmerkt worden door repetitieve processen, kenmerken deze projecten zich ook door een grotere complexiteit en variatie in de werkzaamheden, vergelijkbaar met microtunnelbouw.

Ten eerste is in het kader van dit onderzoek de proceslogica van binnenstedelijke rioleringsprojecten geïdentificeerd en gestructureerd vastgelegd. Deze proceslogica kan dienen als basis voor de verdere ontwikkeling van DEVS applicaties van rioleringsprojecten en andere ondergrondse infrastructurele projecten. Daarnaast heeft de proceslogica echter ook verschillende toepassingen als stand-alone product. Deze mogelijke toepassingen omvatten procesmatige calculatie en werkvoorbereiding, projectoptimalisatie & domein optimalisatie

Verder is tijdens dit onderzoek op basis van deze proceslogica een eerste variant van een DEVS model ontwikkeld voor de simulatie van binnenstedelijke rioleringsprojecten. Met het ontwikkelen van dit simulatiemodel is de basis gelegd van een beslissingsondersteunend hulpmiddel. De belangrijkste mogelijke toepassingen van het simulatiemodel zijn het faciliteren van optimalisatie van de uitvoeringsplanning en het communiceren hiervan. De resultaten van dit onderzoek en de validiteit en toepassingen daarvan zullen in de volgende hoofdstukken aan de orde komen.

4. Wat is de proceslogica van rioleringsprojecten?

Het resultaat van het beschreven identificatieproces is de beschrijving van de proceslogica van de uitvoering van rioleringsprojecten. Deze proceslogica is de basis van het in het kader van dit onderzoek ontwikkelde simulatiemodel. In dit hoofdstuk wordt het systeem voor het simulatiemodel behandeld. Het systeem is in dit geval het uitvoeringsproces van rioleringsprojecten. Hierbij is het proces opgedeeld in elementaire activiteiten. Hoewel het exacte uitvoeringsproces afhangt van de specifieke projectomstandigheden is er een standaard proces geïdentificeerd bestaande uit de algemene meest voorkomende processtappen.

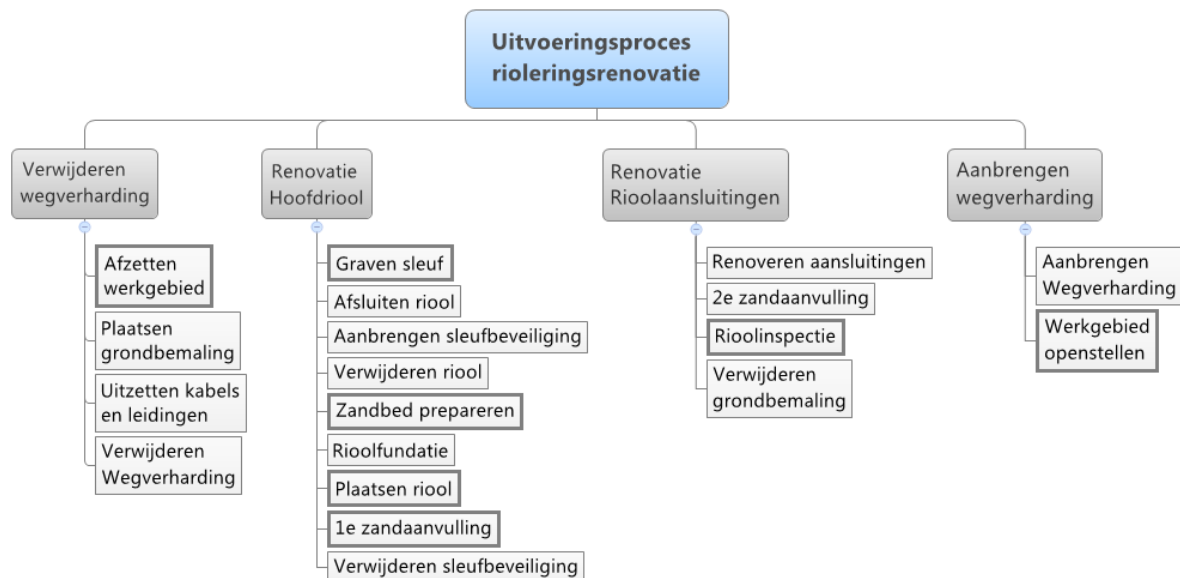
Naast de interviews is gebruik gemaakt van informele gesprekken met praktijkdeskundigen, theorie en projectbezoeken. Deze interviews, gesprekken en projectbezoeken hebben allen plaatsgevonden bij DVI Oost. Uit vergelijking van de theorie (ONRI-werkgroep Riolerings , 2009) met de praktijk blijkt dat het uitvoeringsproces met de subprocessen, processtappen en de gebruikte resources generaliseerbaar zijn voor aannemers in Nederland. Van de procesoptimalisaties is niet bekend of deze generaliseerbaar zijn.

In paragraaf 4.1 wordt het uitvoeringsproces behandeld waarna in 4.2 de individuele processtappen aan bod komen. In paragraaf 4.3 komen de verschillende procesoptimalisaties en resourcescenario's aan de orde. De verschillende ingezette resources worden ten slotte in paragraaf 4.4 behandeld.

4.1 Uitvoeringsproces rioleringsprojecten

Dit proces kan worden opgedeeld in vier subprocessen, zoals weergegeven in figuur 4-1. Dit zijn de subprocessen “verwijderen wegverharding”, “renovatie hoofdriool”, “Renovatie rioolaansluitingen” en “aanbrengen wegverharding”. Deze subprocessen worden eenmaal uitgevoerd voor elke wegvak waarin het project is opgedeeld.

Deze subprocessen bestaan elk uit meerdere stappen die uitgevoerd worden om de subprocessen te voltooien. Welke stappen deel uitmaken van een subprocessus kan per project en zelfs binnen een project per wegvak verschillen. In figuur 4-1 zijn alle voorkomende rioleringsactiviteiten weergegeven. Stappen als het afzetten van het werkgebied en het graven van de sleuf zijn uiteraard altijd vereist. Deze stappen zijn in figuur 4-1 met dik omrande blokken weergegeven. Optionele stappen zoals het toepassen van sleufbeveiliging, maar ook het verwijderen of aanbrengen van wegverharding, zijn met dun omrande blokken weergegeven. De individuele stappen worden in paragraaf 4-2 behandeld.

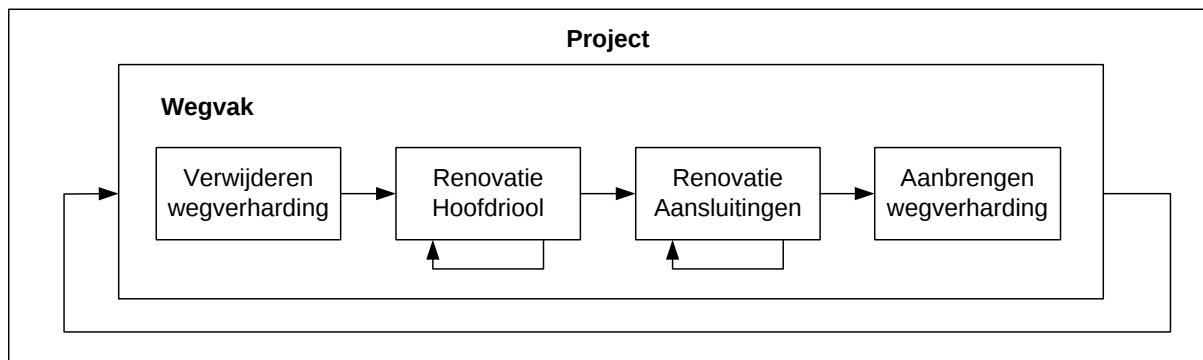


Figuur 4-1 Subprocessen van het uitvoeringsproces van rioleringsrenovatie

De uitvoering van een rioleringsproject typeert zich door herhaling van verschillende cycli (Halpin & Riggs, 1992, p. 236). Deze cycli worden uitgevoerd tot het project is voltooid. De geïdentificeerde subprocessen zijn onderdeel van verschillende cycli en kennen hierin verschillende cycli lengtes. Dit is weergegeven in figuur 4-2. Een rioleringsproject wordt opgedeeld en uitgevoerd per wegvak. Veelal is een project opgedeeld in de uitvoering van meerdere afzonderlijke wegvakken en vinden er dus meerdere van deze cycli plaats tot het gehele project is uitgevoerd.

Binnen de uitvoering van een wegvak wordt eerst het subproces “verwijderen wegverharding” uitgevoerd. Dit subproces wordt eenmalig uitgevoerd per wegvak. Nadat deze voorbereidende activiteiten zijn voltooid begint de daadwerkelijke renovatie van het riool met het subproces “renovatie hoofdriool”. Dit subproces wordt doorlopen voor elke rioolbuis en rioolput in de wegsectie. Aangezien een wegvak vrijwel altijd uit meerdere rioolbuizen en putten bestaat vinden meerdere cycli van dit subproces plaats per wegvak. Op de titelpagina van dit rapport is het resultaat van de uitvoering van een aantal cycli “hoofdriool” binnen een “wegvak” weergegeven, deze foto is genomen tijdens een project bezoek in Den Haag. De cycli voor de aansluitingen moeten op deze foto nog plaatsvinden. Indien een rioolbuis een huisaansluiting of regenwateraansluiting heeft wordt het subproces “renovatie aansluiting” uitgevoerd. Ook voor dit subproces geldt dat dit cyclisch wordt uitgevoerd voor elke te renoveren aansluiting.

Ten slotte wordt de renovatie van een wegvak afgesloten met het uitvoeren van het subproces “aanbrengen wegverharding”. Vervolgens wordt begonnen met de renovatie van het riool in het volgende wegvak, dit proces herhaalt zich tot het volledige project voltooid is.



Figuur 4-2 Cyclische processen rioolproject

Het uitvoeringsproces wordt visueel weergegeven figuur 4-3. Hierin is een boven- en zijaanzicht en een dwarsdoorsnede van een wegvak afgebeeld tijdens verschillende fases van de rioleringsrenovatie. Dit wegvak heeft ter illustratie van het proces slechts de lengte van één rioolbuis. Dit betekent dat de cycli van de subprocessen “renovatie hoofdriool” en “Renovatie rioolaansluitingen” slechts eenmaal worden uitgevoerd. In werkelijkheid bestaat een wegvak vrijwel altijd uit meerdere buislengtes en zullen deze subprocessen meerdere malen worden uitgevoerd per wegvak.

In de eerste afgebeelde fase is de originele situatie weergegeven voor aanvang van de rioleringsrenovatie.

In de volgende afgebeelde fase is het project weergegeven na uitvoering van het subproces “verwijderen wegverharding”. De voorbereidende stappen zijn uitgevoerd en de wegverharding is verwijderd.

In de volgende vijf afgebeelde fases is weergegeven hoe het subproces “renovatie hoofdriool” stap voor stap wordt uitgevoerd. Ten eerste wordt het oude hoofdriool opgegraven door het graven van een sleuf. Vervolgens wordt dit oude riool verwijderd. Hierna wordt het zandbed geprepareerd voor de aanleg van het nieuwe riool waarna het nieuwe riool geplaatst wordt. Ten slotte vindt de eerste zandaanvulling plaats.

Het volgende subproces dat uitgevoerd wordt is: “Renovatie rioolaansluitingen”. De oude aansluitingen zijn bij het verwijderen van het oude hoofdriool al deels of geheel verwijderd. Op het nieuwe riool worden nu de nieuwe huisaansluitingen en/of regenwateraansluitingen aangesloten. Vervolgens wordt dit subproces afgesloten met een tweede zandaanvulling.

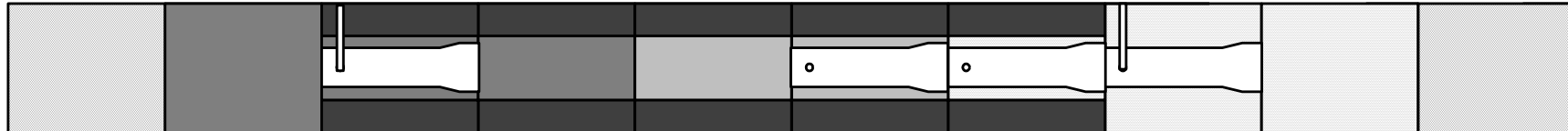
Ten slotte wordt het subproces “aanbrengen wegverharding” uitgevoerd door het aanbrengen van de wegverharding en het openstellen van de weg. De laatste afgebeelde fase geeft het voltooide werk weer.

Werkproces riolering in de tijd

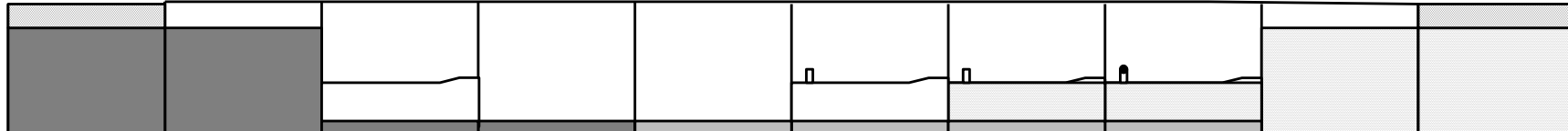
Fase

Orginele situatie	Verharding verwijderd	Sleuf gegraven	Oud riool verwijderd	Zandbed voorbereid	Nieuw riool geplaatst	1e zand aanvulling	Aan sluitingen	2e zand aanvulling	Weg verhard
-------------------	-----------------------	----------------	----------------------	--------------------	-----------------------	--------------------	----------------	--------------------	-------------

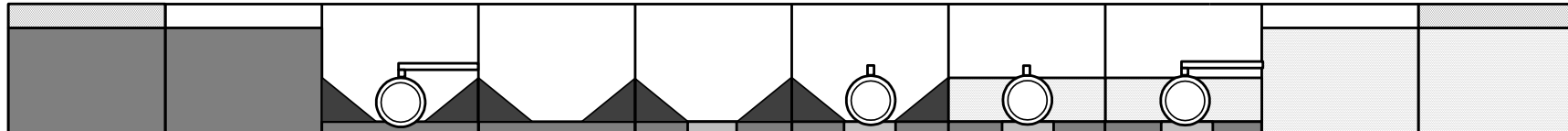
Bovenaanzicht wegvak



Zijaanzicht wegvak

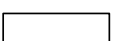


Dwarsdoorsnede wegvak



Tijd →

Legenda

	Bestaande verharding		Nieuwe grondlaag
	Bestaande grondlaag		Nieuwe verharding
	Talud		Buis
	Vorbereid grondbed		

Figuur 4-3 Visualisatie werkproces rioleringsprojecten

4.2 Processtappen

De vier subprocessen bestaan uit verschillende stappen die uitgevoerd dienen te worden. Uit welke stappen een subproces is samengesteld kan per project of zelfs per wegvak verschillen. De voorkomende stappen, zoals weergegeven in figuur 4-1, worden hier kort behandeld. Een uitgebreidere behandeling van de stappen is bijgevoegd in bijlage 4. Per processtap wordt de activiteit kort beschreven, ook worden de van belang zijnde parameters gepresenteerd.

Hoewel de activiteiten bij elk project grotendeels hetzelfde zijn, kan de duur en uitvoeringswijze van deze activiteiten verschillen. Zo neemt het graven van een kleinere sleuf minder tijd dan het graven van een grotere sleuf onder dezelfde omstandigheden. De duur van deze activiteiten wordt namelijk bepaald door verschillende parameters. Bij elke processtap zijn verschillende parameters van invloed op de uitvoering van die betreffende stap. Deze parameters bepalen de werksnelheid, en daarmee de benodigde tijd voor de stap, en in sommige gevallen de uitvoeringsmethode..

De parameters zijn opgedeeld in drie types: systeemparemeter, keuzeparemeter of beide. Systeemparemers zijn de omstandigheden waarop de aannemer geen invloed kan uitoefenen, bijvoorbeeld de bestaande wegverharding. Op de keuzeparameters heeft de aannemer wel invloed, bijvoorbeeld de ingezette resources. Tot slot zijn er nog parameters die beide types kunnen zijn afhankelijk van het project. Een voorbeeld hiervan is de sectieverdeling van het project. Vaak heeft de opdrachtgever hier strikte eisen aan gesteld en ligt deze verdeling vast. Als de aannemer echter een eigen uitvoeringsplanning mag indienen kan hier in meer of mindere mate een keuze in gemaakt worden.

4.2.1 Verwijderen wegverharding

Processtap	Parameters	Parametertype
Afzetten werkgebied Het afzetten van het werkgebied.	- Type afzetting - Omvang werkgebied	- Beide - Beide
Plaatsen grondwaterbemaling Het aanbrengen van grondwaterbemaling indien vereist. Kan op verschillende momenten in het proces plaatsvinden.	- Type bemaling - Capaciteit bemaling	- Keuze - Keuze
Verwijderen wegverharding Het verwijderen van de bestaande wegverharding, indien nodig. De activiteit is afhankelijk van het type wegverharding. Indien asfalt:	- Lengte wegvak - Breedte wegvak - Type verharding - Dikte asfaltaag	- Beide - Systeem - Systeem - Systeem
Uitzetten kabels en leidingen Het aangeven van de locatie van in de ondergrond aanwezige kabels en leidingen door de uitvoerder. Kan op verschillende momenten in het proces plaatsvinden.	- Hoeveelheid kabels en leidingen (k & L) - Ligging k & L - Type k & L	- Systeem - Systeem - Systeem

Tabel 4-1 Processtappen en parameters van het subproces "verwijderen wegverharding"

4.2.2 Renovatie hoofdriool

Processtap	Parameters	Parametertype
Graven sleuf Het graven van de rioolsleuf door een graafmachine. Eventuele in de grond aanwezige obstakels vertragen de activiteit.	- Hoeveelheid grondverzet - Bestaand riool - Hoeveelheid, type en ligging k & l en overige objecten in de grond - Type materieel - Afvoermethode grond	- Systeem - Systeem - Systeem - Systeem - Keuze - Beide
Afsluiten riool Het tijdelijk afsluiten van het bestaande rioolstelsel ten behoeve van het project.	Type afsluiting	Beide
Aanbrengen sleufbeveiliging Het stutten van de sleuf tegen instortingen indien vereist.	- Type sleufbeveiliging - Omvang beveiliging - Hoeveelheid, type en ligging k & l	- Beide - Beide - Systeem

Verwijderen riool Het verwijderen en afvoeren van de bestaande rioleringselementen, indien aanwezig.	• Specificaties bestaand riool • Afvoermethode bestaand riool • Hoeveelheid, type en ligging k & l	• Systeem • Beide • Systeem
Zandbed prepareren Het uitvlakken en omwoelen van het zandbed ten behoeve van het nieuwe riool.	• Omvang preparatie • Type preparatie • Grondverbetering (ja/nee)	• Systeem • Keuze • Systeem
Rioolfundatie Het aanbrengen van fundering ten behoeve van het nieuwe riool, indien vereist.	• Type rioolfundatie • Omvang rioolfundatie	• beide • beide
Plaatsen riool Het plaatsen van een nieuw riooldeel, hetzij een rioolbuis of een rioolput. Indien put, dan ook de parameters:	• Specificaties nieuw riool • Manier van aanvoer • Kabels en leidingen • Telescoopkraan (ja/nee) • Type aansluitingen	• Systeem • Beide • Systeem • Beide • Beide
Verwijderen sleufbeveiliging Het verwijderen van toegepaste sleufbeveiliging, indien toegepast.	• Type sleufbeveiliging • Omvang sleufbeveiliging • Hoeveelheid, type en ligging k & l	• Beide • Beide • Systeem
1^e zandaanvulling Laagsgewijze aanvulling van de sleuf tot de bovenkant buis van het nieuwe riool, waarbij elke laag apart verdicht wordt.	• Omvang zandaanvulling • Kabels en leidingen • Type materieel • Aanvoermethode grond	• Systeem • Systeem • Keuze • Beide

Tabel 4-2 Processtappen en parameters van het subproces "Renovatie hoofdriool"

4.2.3 Renovatie rioolaansluitingen

Processtap	Parameters	Parametertype
Renoveren aansluitingen Het vervangen van regenwater- en huisaansluitingen van het riool	• Specificaties aansluitingen • Type materieel • Hoeveelheid, type en ligging k & l	• Systeem • Keuze
2^e zandaanvulling Het aanvullen van de sleuf tot het maaiveld. De aanvulling gebeurt laagsgewijs waarbij elke laag apart verdicht wordt. De laatste laag wordt uitgevlakt en verdicht ten behoeve van aan te brengen wegverharding	• Omvang zandaanvulling • Hoeveelheid, type en ligging k & l • Type materieel • Aanvoermethode grond	• Systeem • Systeem • Keuze • Beide
Rioolinspectie Inspectie van het nieuwe riool door een externe dienst. Kan op verschillende momenten in het proces plaatsvinden.	• Type inspectie • Lengte riool • Aantal putten	• Beide • Systeem • Systeem
Verwijderen grondwaterbemaling Het verwijderen van grondwaterbemaling indien vereist. Kan op verschillende momenten in het proces plaatsvinden.	• Type bemaling • Capaciteit bemaling	• Keuze • Keuze

Tabel 4-3 Processtappen en parameters van het subproces "Renovatie rioolaansluitingen"

4.2.4 Aanbrengen wegverharding

Processtap	Parameters	Parametertype
Aanbrengen wegverharding Het aanbrengen van de nieuwe wegverharding Indien asfalt:	• Type verharding • Lengte sectie • Breedte sectie • Asfalt dikte	• Systeem • Beide • Systeem • Systeem
Werkgebied openstellen Het openstellen van het werkgebied.	• Type afzetting • Omvang werkgebied	• Beide • Beide

Tabel 4-4 Processtappen en parameters van het subproces "Aanbrengen wegverharding"

4.3 Procesoptimalisaties

Voor de uitvoering van rioleringsprojecten zijn er vele alternatieven en keuzes aangezien elk project zijn eigen kenmerken en eigenaardigheden heeft (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012). Dit onderzoek richt zich op de belangrijkste alternatieven. Dit zijn de meest voorkomende resourcescenario's en de belangrijkste keuzes met betrekking tot materieel en planning. Deze factoren hebben namelijk de grootste invloed op de kosten en komen regelmatig voor. Het blijft aan de praktijkdeskundigen zoals uitvoerders en projectmanagers om de beste combinatie van kostenoptimalisatie en robuustheid van de planning te identificeren. Een simulatiemodel is hierbij een hulpmiddel voor deze praktijkprofessionals.

4.3.1 Resourcescenario's

Er kan op twee manieren gestuurd worden op het optimaliseren van de inzet van resources. De eerste manier is afstemming van alle resources op elkaar en de projectomstandigheden. Het doel hiervan is het maximaliseren van de utilisatie van alle resources, anders gezegd het minimaliseren van de stilstand van alle resources. De andere optie is het sturen op maximale utilisatie van de duurste resources. Dit zijn bij rioolwerken de grote machines als rupskranen en shovels. Voor de inzet van resources zijn vier scenario's geïdentificeerd, aan de hand van de projectbezoeken en gesprekken met praktijkdeskundigen.

Scenario één: "grote ploeg"

In dit scenario worden alle werkzaamheden aan het riool uitgevoerd door één "grote" ploeg. Alleen de werkzaamheden aan de wegverharding worden door aparte ploegen uitgevoerd. Dit scenario komt voornamelijk voor bij kleinschalige rioleringsprojecten.

Scenario twee: "grote & kleine ploeg"

Bij deze uitvoeringsmethode wordt er gewerkt met een "grote" en een "kleine" ploeg. De eerste "grote" ploeg legt hierbij het hoofdriool waarna de "kleine" ploeg de rioolaansluitingen aanlegt. Hierna begint de grote ploeg met een nieuwe cyclus van ontgraven, buis verwijderen, bed voorbereiden, riool plaatsen en zand aanvullen voor de volgende buis. De ploegen werken hierbij parallel aan elkaar. De kleine ploeg arriveert dan ook meestal later op het project.

Dit scenario wordt veel toegepast omdat de benodigde graafmachine voor het plaatsen van de buizen en putten van het hoofdriool de meest dure resource is. Door deze manier van werken kan deze graafmachine veel meters riool aanleggen terwijl de kleinere aansluitingen gemaakt worden met een minikraan. Dit scenario is zichtbaar op de titelpagina van dit verslag. Het hoofdriool is al aangelegd en de standpijpen zijn al geplaatst op de rioolbuizen, maar de huis- en regenwater aansluitingen moeten nog aangelegd worden.

Scenario drie "grote ploeg plus" en vier "grote & kleine ploeg plus".

Vaak is de aanleg van riolering niet de enige activiteit op een bouwplaats. Hierdoor komt het regelmatig voor dat er naast de ploeg(en) voor het riool er nog overige resources beschikbaar zijn voor niet rioleringsgerelateerde activiteiten. Hierbij valt te denken aan grondwerkers of een extra (mobiele) graafmachine. Indien deze resources tijdelijk ongebruikt zijn, of wanneer er op de planning ingelopen moet worden, kunnen deze resources ook ingezet worden voor het rioleringswerk. Indien er sprake is van grote vertraging kan het ook zijn dat er extra resources op het werk ingezet worden. Vaak is dit een mobiele graafmachine met één of meerdere grondwerkers. Deze resources vormen de derde ploeg en worden vaak ingezet voor verschillende hand en span diensten. Een veelvoorkomende activiteit is het aanvullen van de sleuf nadat de aansluitingen zijn aangelegd. Deze sleuf is dan door de grote of kleine ploeg open gelaten. De extra resources vullen de sleuf laagsgewijs aan met verdichting en vlakken deze op de juiste hoogte uit. Het inzetten van deze derde ploeg levert scenario drie of vier op, afhankelijk van of een kleine ploeg ingezet wordt.

Rioolsectie	Parallele uitvoering
Scenario 1	Geen
Scenario 2	De activiteiten "rioolaansluitingen" en "tweede zandaanvullingen" worden parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de kleine ploeg.
Scenario 3	De "tweede zandaanvulling" wordt parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de extra resource
Scenario 4	De "rioolaansluitingen" worden parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de kleine ploeg. De "tweede zandaanvulling" wordt parallel aan het hoofdriool en de aansluitingen uitgevoerd

Tabel 4-5 Resultaten simulatie van scenario's fictief project

4.3.2 Afwegingen

Naast deze scenario's heeft de aannemer verschillende keuzemogelijkheden voor de uitvoering van een project. Deze volgen uit de keuzeparameters van de processtappen, zoals het ingezette type materieel. Daarnaast zijn er parameters die afhankelijk van het project vast kunnen liggen of een keuze kunnen zijn. Voorbeelden hiervan zijn de indeling van de wegvakken of het al dan niet toepassen van sleufbeveiliging. De afweging hierbij is welke werkwijze sneller en daarmee goedkoper is.

Ook de keuze van het moment wanneer werk aan een volgende sectie gestart wordt, kan een afweging zijn. Dit kan vastliggen door beperkingen vanuit de opdrachtgever of wetten met betrekking tot bereikbaarheid zijn ook hier keuzemogelijkheden. Maar er kan ook in verband met overlastbeperking gekozen worden om pas aan de volgende sectie te beginnen nadat de voorgaande sectie geheel voltooid is. Daarentegen kan men er ook voor kiezen om meteen met de volgende sectie te starten zodra de benodigde resources daarvoor beschikbaar zijn.

Een tussenvorm hiervan is de aanleg van een tijdelijke bouwweg over delen van het project voor de bereikbaarheid. Zodoende hoeft er slechts eenmaal een asfaltrees en/of asfaltset ingezet te worden. Hier tegenover staan de kosten van de werkzaamheden voor het berijdbaar maken van de wisselende bouwwegen.

4.4 Resources

Voor het uitvoeren van rioolprojecten worden verschillende resources ingezet. De soort en het aantal resources dat ingezet wordt is afhankelijk van de projectkenmerken zoals de omvang van het werk en het type wegverharding en keuzes van de aannemer.

Bij een bestaande asfaltverharding wordt gebruik gemaakt van een asfaltrees om deze te verwijderen, bij bestrating wordt een shovel of mobiele graafmachine ingezet. Voor het aanbrengen van asfaltverharding wordt een asfaltset bestaande uit een spreidmachine en meerdere walsen ingezet. Voor bestrating wordt een shovel of mobiele graafmachine ingezet voor mechanisch straten en enkele stratenmakers voor het handwerk. De



Figuur 4-4 Grote ploeg in actie

rioolinspectie wordt uitgevoerd door een externe partij.

Het rioleringswerk wordt uitgevoerd door rioleringsploegen. Deze zijn op te delen in “grote ploegen” en “kleine ploegen”. De grote ploeg bestaat normaliter uit een graafmachine en een aantal grondwerkers. De keuze voor het type en de grootte van de graafmachine hangt af van de omvang van het project en de dimensies van het riool. Het aantal grondwerkers hangt af van de hoeveelheid vereist handwerk en is normaliter 2 a 3 personen. Deze ploeg is afhankelijk van het resourcescenario (zie volgende paragraaf) verantwoordelijk voor alle rioleringsactiviteiten of voor het subproces “renovatie hoofdriool”.

Een “Kleine ploeg” bestaat normaliter uit een mobiele graafmachine en 1 á 2 grondwerkers. Indien deze ploeg ingezet wordt is deze verantwoordelijk voor de renovatie van de huisaansluitingen en regenwateraansluitingen op het hoofdriool. Deze ploeg werkt hierbij parallel aan de “grote ploeg”. Ten slotte kan er nog een losse mobiele graafmachine met eventueel één of meerdere grondwerkers ingezet worden voor overige hand en span diensten op een project. Verder kunnen bij zeer grote projecten meerdere “grote” en “kleine” ploegen ingezet worden welke parallel aan elkaar werken op verschillende locaties.

4.5 Samenvatting

In dit hoofdstuk is de geïdentificeerde proceslogica gepresenteerd. Het proces bestaat uit vier subprocessen welke bestaan uit meerdere processtappen. De uitvoering van deze stappen wordt bepaald door de bijbehorende parameters. Daarnaast zijn de meest gebruikte resources gepresenteerd evenals de toegepaste optimalisaties zoals resourcescenario's.

Uit vergelijking van de theorie (ONRI-werkgroep Riolerings , 2009) met de praktijk blijkt dat het uitvoeringsproces met de subprocessen, processtappen en de gebruikte resources generaliseerbaar zijn voor Nederland. De procesoptimalisaties zijn niet noodzakelijkerwijs generaliseerbaar voor andere aannemers.

5. Hoe kan de proceslogica gesimuleerd worden?

In dit hoofdstuk wordt het simulatiemodel behandeld. Dit model is het resultaat van de modelontwikkeling zoals behandeld in bijlage 2.2. Dit heeft plaatsgevonden aan de hand van verschillende eisen welke behandeld worden in paragraaf 5.1. De manier waarop het model de proceslogica simuleert wordt vervolgens behandeld in paragraaf 5.2. Hierna volgen de kort de abstracties en beperkingen van het simulatiemodel. Ten slotte komt het gebruiksproces van het model kort aan bod. Een uitgebreide beschrijving van het simulatiemodel en de ontwikkeling daarvan is bijgevoegd in als bijlage 6.

5.1 Eisen aan het simulatiemodel

Naast het feit dat het simulatiemodel de werkelijkheid op een voldoende accurate manier moet modeleren zijn er ook vanuit het beoogde gebruik verschillende eisen en wensen aan het model. Deze komen voort uit het doel van dit onderzoek en de gehouden interviews. Deze eisen worden hier behandeld. Ook komt het spanningsveld aan bod dat bestaat tussen de verschillende eisen en wensen, en tussen de eisen en wensen en de scope van het project.

De belangrijkste eis volgt uit het doel van dit onderzoek. Namelijk het ontwikkelen van een simulatiemodel ter ondersteuning van beslissingen m.b.t. de uitvoering van rioleringsprojecten. Hieruit volgen enkele eisen:

- Het model dient de werkelijkheid voldoende accuraat te simuleren voor het doel.
 - Het model dient valide te zijn.
 - Het detailniveau moet voldoende zijn om individuele activiteiten te optimaliseren.
- De invoer, werking en uitvoer van het model dient bruikbaar te zijn voor de doelgroep.
 - Het model moet gemakkelijk en snel in gebruik zijn.
 - De resultaten dienen helder weergegeven te worden.
 - De resultaten dienen bruikbaar te zijn voor het optimaliseren van planningen.

Daarnaast volgen er enkele eisen vanuit het feit dat dit onderzoek deel uit maakt van een overkoepelend onderzoek. Ook hieruit volgen enkele eisen:

- Het model dient inpasbaar te zijn in het beoogde geïntegreerde softwaremodel.
 - Het model moet in Java ontwikkeld worden.
 - De opbouw en samenhang van de code dient logisch, simpel en goed gedocumenteerd te zijn.

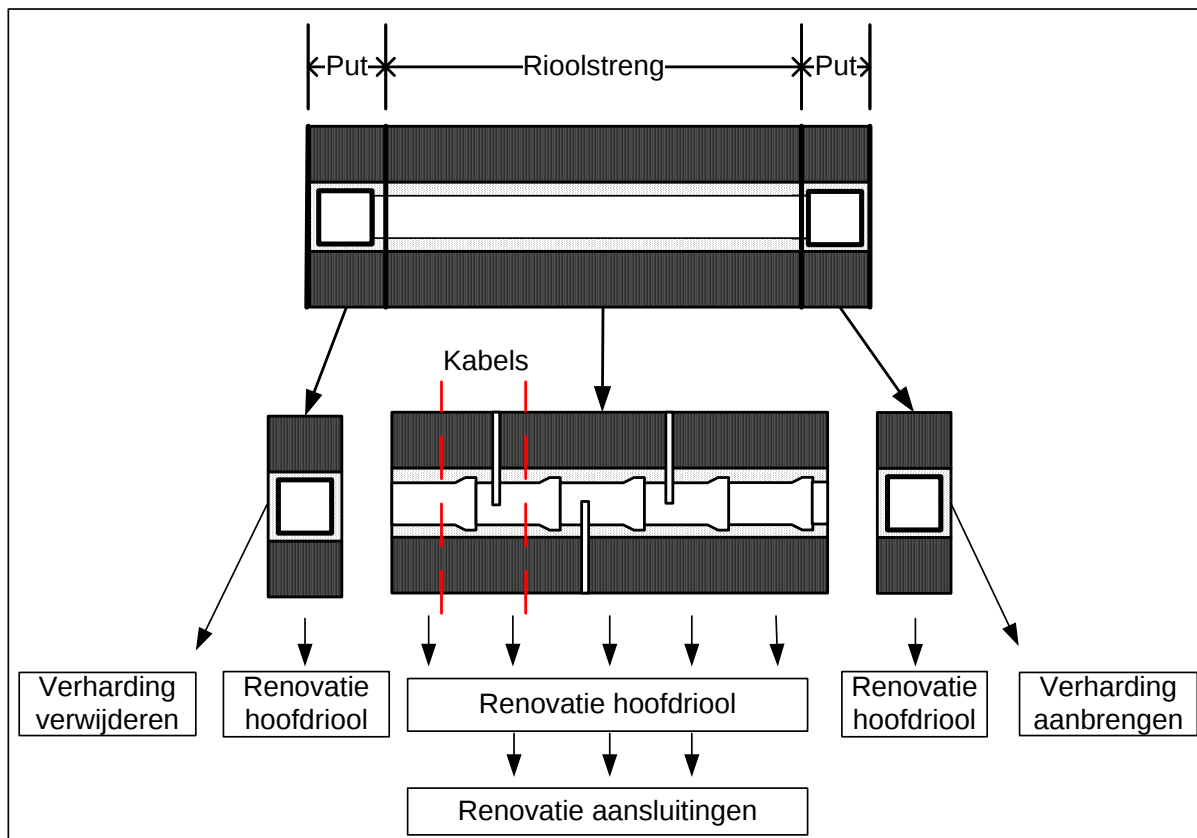
Tegenover deze eisen staat de scope van het onderzoek. Dit behelst een afstudeerproject dat in een half jaar uitgevoerd moet worden door één persoon. Daar komt bij dat de programmeerkennis van de onderzoeker beperkt was.

Deze beperkingen in de scope aan de ene kant en eisen aan het model aan de andere kant leiden tot een spanningsveld. Daarom is ervoor gekozen om de nadruk op de validiteit van het interne simulatiemodel te leggen. Daarnaast is, met het oog op de toekomstige inpasbaarheid en uitbreidingsmogelijkheden, het model in Java geprogrammeerd. Minder aandacht is besteed aan de invoer en uitvoer methoden vanwege de verwachte toekomstige inpassing in een groter geheel.

5.2 Werking van het simulatiemodel

In deze paragraaf wordt behandeld hoe het ontwikkelde simulatiemodel de werkelijkheid modelleert. Het ontwikkelde programma bestaat uit het simulatiemodel dat de in hoofdstuk 4 behandelde proceslogica modelleert met een softwareschil daaromheen. Deze schil bestaat uit verschillende ondersteunende modules voor de in- en uitvoer van het simulatiemodel. Een overzicht van het softwareprogramma is weergegeven in figuur 5-2. In deze paragraaf wordt de manier waarop het simulatiemodel de werkelijkheid modelleert behandeld. Bij het ontwerpen van het simulatiemodel zijn diverse afwegingen en keuzes gemaakt, deze ontwerpafwegingen zijn bijgevoegd in bijlage 6.1.

Figuur 5-1 geeft schematisch weer hoe het model een project bestaande uit twee rioolputten en één streng rioolbuizen modelleert. Hiertoe wordt het project door de gebruiker, bij het invoeren van de gegevens opgesplitst in drie wegvakken. Hierbij worden de geometrische gegevens per wegvak bepaald en ingevoerd. Deze gescheiden wegvakken vormen samen het gehele project. Voor de simulatie wordt elke rioolput en elke streng buizen tussen twee putten in, beschouwd als een apart wegvak.



Figuur 5-1 schema simulatie van een rioleringsproject.

De uitvoering van elk van deze wegvakken wordt apart gemodelleerd tijdens de simulatie. Ten eerste wordt het subproces “verwijderen wegverharding” uitgevoerd indien dit vereist is. Zoals in figuur 5-1 zichtbaar is wordt dit subproces slechts eenmaal uitgevoerd voor het eerste wegvak. Dit subproces wordt zodanig gemodelleerd dat de wegverharding van het totale project in één keer wordt verwijderd.

Vervolgens wordt er een versie van de cyclus “renovatie hoofdriool” voor de simulatie van de constructie van een rioolput uitgevoerd. Het subproces “aanbrengen wegverharding” wordt niet uitgevoerd aangezien dit pas aan het eind van het project plaatsvindt.

Vervolgens volgt er een wegvak met een streng rioolbuizen. Bij dit wegvak wordt vervolgens serieel voor elke rioolbuis een cyclus “renovatie hoofdriool” gestart en uitgevoerd. Voor elke rioolbuis die een aansluiting heeft wordt na voltooiing van de betreffende cyclus een cyclus “renovatie aansluiting” opgestart. Indien er een kleine ploeg worden ingezet wordt deze cycli parallel uitgevoerd aan de cycli van het hoofdriool. De subprocessen voor het verwijderen en aanbrengen van wegverharding vinden niet plaats.

Ten slotte volgt weer een wegvak met een rioolput. Ook hier wordt weer een cyclus “hoofdriool” gestart waarbij een versie van het subproces “renovatie hoofdriool” wordt gemodelleerd voor het aanleggen van een rioolput. Na voltooiing hiervan wordt het subproces “aanbrengen wegverharding” gestart binnen de cyclus van dit wegvak aangezien dit het laatste wegvak van het project is.

Zoals behandeld in paragraaf 3.1 bestaat elk subproces uit één of meerdere activiteiten. Uit de ingevoerde parameters volgt niet alleen hoeveel en welke wegvakken er zijn en welke subprocessen hierbij gesimuleerd moeten worden, maar ook welke activiteiten binnen deze processen plaatsvinden. Zo wordt bijvoorbeeld ingevoerd of het project een nieuwbouw of renovatie project betreft en of er sleufbeveiliging wordt toegepast. Elk van deze activiteiten wordt gesimuleerd door de voor die activiteit vereiste resources voor een bepaalde periode vast te houden. Aangezien de volgende activiteiten niet plaats kunnen vinden voor de resources weer zijn vrijgegeven moeten deze activiteiten hierop wachten. Op die manier wordt het rioleringsproces activiteit voor activiteit gesimuleerd. Indien het gekozen resourcescenario dit toestaat worden activiteiten parallel uitgevoerd. Zo kunnen werkzaamheden aan het hoofdriool en aan rioolaansluitingen parallel plaatsvinden indien hiervoor aparte resources ingezet worden.

De tijd dat een activiteit resources vasthoudt tijdens de simulatie van die activiteit, wordt bepaald aan de hand van de ingevoerde parameters. Deze parameters kunnen per project of zelfs per sectie verschillen. In paragraaf 4.2 is gesteld dat bij de stap “graven rioolsleuf” de parameters type riool, diameter van het riool en de diepte van het riool een rol spelen. Deze parameters beïnvloeden de uit te graven hoeveelheid grond. Ook van belang is of het project een nieuwbouw of een renovatieproject is en de grondsoort, deze parameters bepalen de productiesnelheid waarmee het uitgraven plaatsvindt. De productiesnelheid wordt op basis van deze parameters bepaald in een bibliotheek van kengetallen. De uit te graven hoeveelheid grond gedeeld door de productiesnelheid leidt tot de duur van de activiteit “graven sleuf”. Op deze manier wordt voor elke cyclus voor elke activiteit de duur bepaald.

Daarnaast waren er bij DVI Oost geen kengetallen beschikbaar voor de duur van activiteiten. Deze zijn daarom vergaard van bouwkostenonline.nl (Archidat, 2013) en van gwwkosten.nl (Sdu uitgevers, 2013). De correctheid van deze kengetallen is niet verder geëvalueerd. De bibliotheek is gevuld met deze kengetallen.

Software architectuur

De software (figuur 5-2) die de simulaties mogelijk maakt bestaat uit meerdere bouwstenen. In de software staat het simulatiemodel centraal, dit model bestaat zelf ook uit verschillende blokken software. Om het simulatiemodel heen werken ondersteunende classes samen met het simulatiemodel om de simulatie uit te voeren. Zo dienen de classes Project, Scenario en Section voor de input van projectgegevens in het simulatiemodel. De class SewerExperiment verzorgt verschillende simulatietaken, het meten van relevante gegevens en het rapporteren daarvan. De Activitymessage class verzorgt de interne communicatie binnen het model. De overige classes dienen samen voor de verwerking en opslag van de gegevens die de Activitymessage class aanlevert. De Ganttrenderer class creëert ten slotte een Gantt chart op basis van de simulatie. Een uitgebreidere beschrijving van de technische werking van het simulatiemodel wordt behandeld in bijlage 6.2, de technische werking van de softwareschil wordt behandeld in paragraaf 6.3.

Modellering van de werkelijkheid

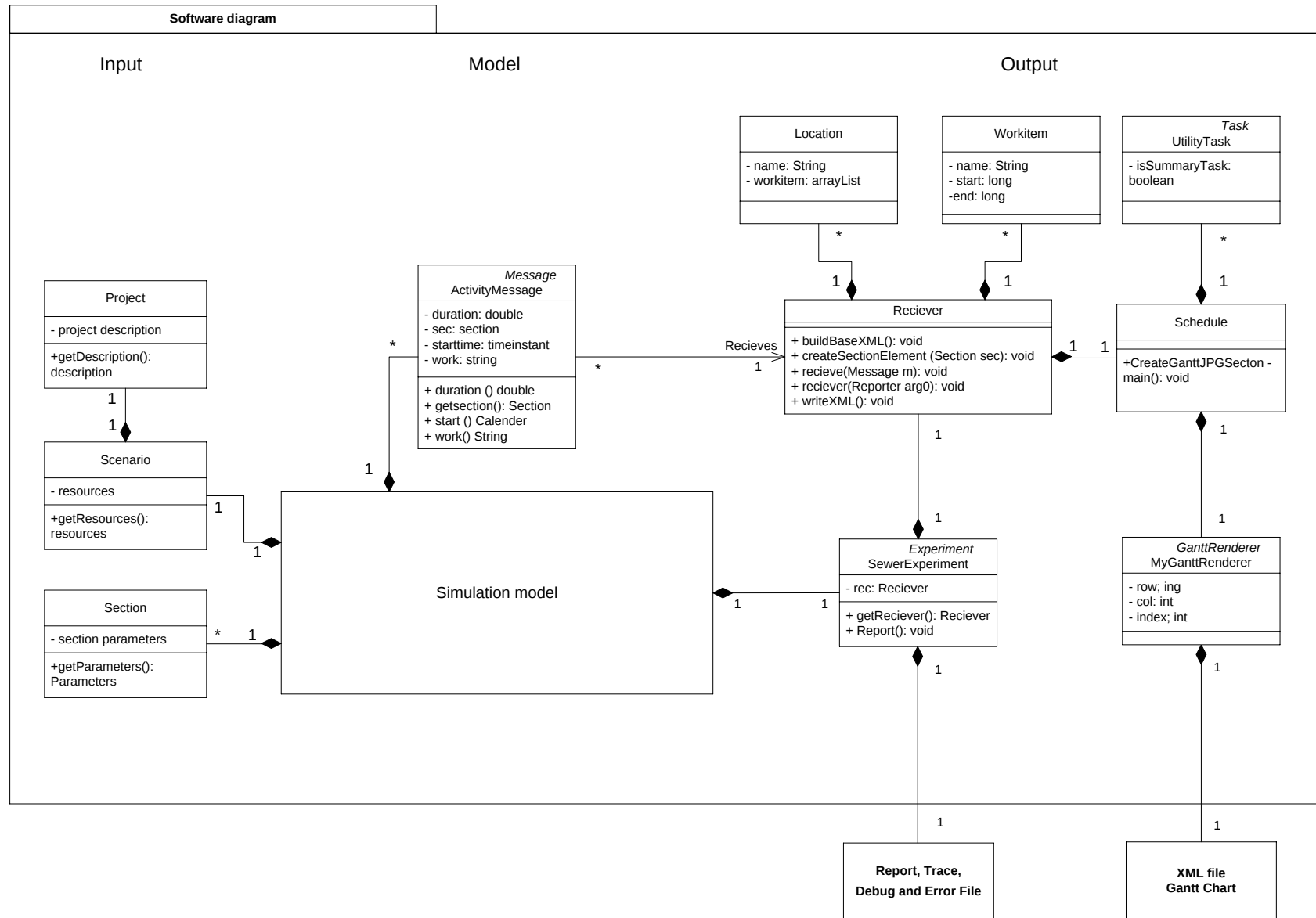
Naast het modeleren van de individuele activiteiten zijn er diverse artificiële regels toegepast in het model. Deze logica dient om de werkelijkheid accuraat na te bootsten. Dit is nodig omdat de proceslogica hard geprogrammeerd is. De taak van deze regels is het verzorgen van een simulatieverloop volgens de opgestelde proceslogica. Dit gebeurt door de prioriteit qua uitvoeren van de verschillende stappen te reguleren. Een uitgebreidere beschrijving van de hiervoor toegepaste logica is bijgevoegd in bijlage 6.4

5.3 Gebruiksproces simulatiemodel

In de vorige paragraaf is ingegaan op de interne werking van het simulatiemodel, interne werking is echter weinig relevant voor de gebruiker van het simulatiemodel. Voor de gebruiker is het gebruik van het model veel meer extern gefocust via de input en output van het model. Hierbij is de interne werking van het model een black box. Deze externe werking van het model voor de gebruiker wordt in deze paragraaf behandeld.

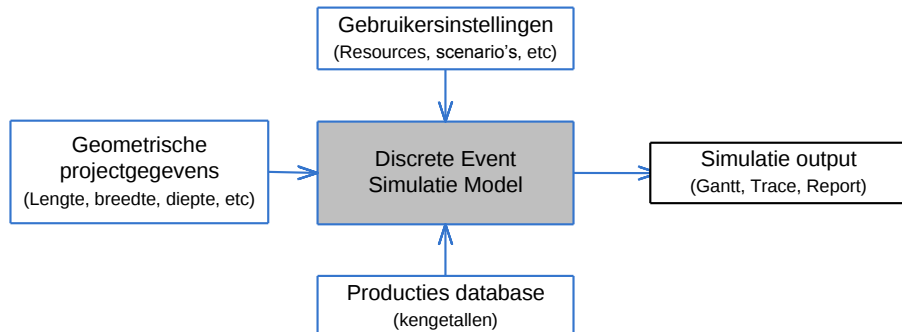
De modelinput bestaat uit drie categorieën, de geometrische projectgegevens, gebruikersinstellingen en de producties. De geometrische projectgegevens zijn de vastliggende gegevens van het project, zoals de dimensies. De gebruikersinstellingen zijn de instellingen die de gebruiker kan variëren zoals de resources, scenario's en het detailniveau van de uitvoer. Hiermee kan de gebruiker uitvoeringsalternatieven simuleren. De producties zijn de kengetallen waarmee de productiesnelheden van de activiteiten bepaald worden aan de hand van de sectieparameters. Deze drie inputopties leveren informatie aan het simulatiemodel over het project. De invoer wordt handmatig in de programmacode ingevoerd te worden. Vanwege de focus van dit onderzoek op het interne simulatiemodel is ervoor gekozen om deze invoermethode niet te optimaliseren. De inputparameters van het simulatiemodel zijn bijgevoegd als paragraaf 6.7 van het bijlagendossier.

De gebruiker heeft verschillende mogelijkheden om experimenten met de simulatie uit te voeren, om zo de gewenste informatie te vergaren. Dit gebeurt door manipulatie van de zogeheten gebruikersinstellingen waardoor alternatieve simulaties gegenereerd worden. Door middel van deze alternatieven kan de gebruiker testen wat de optimale uitvoering van het project is. Zo kan met behulp van deze alternatieven bijvoorbeeld het optimale resourcescenario of het optimale inzetmoment van de tweede ploeg bepaald worden. Ook kunnen resources geoptimaliseerd worden en wat-als analyses uitgevoerd worden.



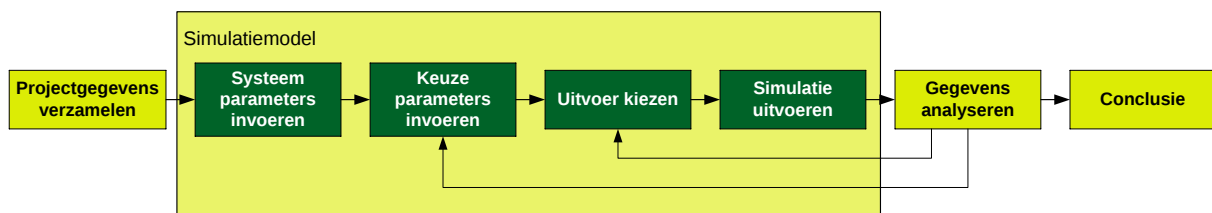
Figuur 5-2 Class diagram van het Softwaremodel

De uitvoer van het simulatiemodel geeft de resultaten van de uitgevoerde simulatie weer. Deze uitvoer bestaat uit verschillende rapporten en een Gantt chart. De belangrijkste uitvoer is de weergave van het gesimuleerde project in een Gantt Chart. Een voorbeeld van deze uitvoer is weergegeven in figuur 6-2. Het detailniveau van deze uitvoer is in te stellen door de gebruiker. Naast deze uitvoer wordt een rapport gegenereerd met het utilisatiepercentage van de resources en de gemiddelde wachttijd van een activiteit op de resources. Ten slotte wordt een trace bestand gegenereerd met een gebeurtenissenlijst van de uitvoering van de simulatie. Dit bestand bevat een exacte reconstructie van de gedraaide simulatie. De interactie tussen de gebruiker en het simulatiemodel is in figuur 5-3 weergegeven.



Figuur 5-3 Gebruiker-simulatiemodel interactie

Uit deze interactie tussen de gebruiker en het model volgt een gebruiksproces voor de toepassing van het model. Dit deels cyclische proces bestaat uit zeven stappen. De gebruiker verzamelt de benodigde gegevens, en voert deze vervolgens in. Vervolgens wordt de simulatie uitgevoerd waarna de output geanalyseerd wordt. Op basis van deze analyse kan besloten worden een alternatieve simulatie uit te voeren. Het gebruiksproces is weergegeven in figuur 5-4. Een uitgebreidere beschrijving van het gebruiksproces van het simulatiemodel is bijgevoegd in paragraaf 6.5 van het bijlagendossier.



Figuur 5-4 Gebruiksproces simulatiemodel

5.4 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn de eisen aan het simulatiemodel aan bod gekomen. Op basis van deze eisen en de proceslogica en conceptuele modellen is het simulatiemodel ontwikkeld. De focus van dit ontwikkelingsproces is een valide simulatiemodel geweest. Vervolgens is de manier waarop het simulatiemodel de proceslogica modelleert behandeld. Dit doet het model door het te simuleren project op te splitsen in wegsecties. Het simulatiemodel modelleert de constructie van elk van deze wegsecties, door het simuleren van de daarvoor benodigde subprocessen. De constructie van de secties wordt achterelkaar gesimuleerd, om zodoende het totale project te simuleren, waarbij indien mogelijk activiteiten parallel gesimuleerd worden.

Voor de gebruiker is de interne werking van het model minder relevant. In paragraaf 5.3 is het gebruiksproces van het simulatiemodel voor de gebruiker beschreven. Dit bestaat uit het identificeren van alle relevante gegevens, het invoeren van deze gegevens, het kiezen en uitvoeren van de gewenste simulatie om ten slotte de resultaten hiervan te analyseren. Een uitgebreide beschrijving van het simulatiemodel is bijgevoegd in bijlage 6.

6 Hoe werkt dit in de praktijk?

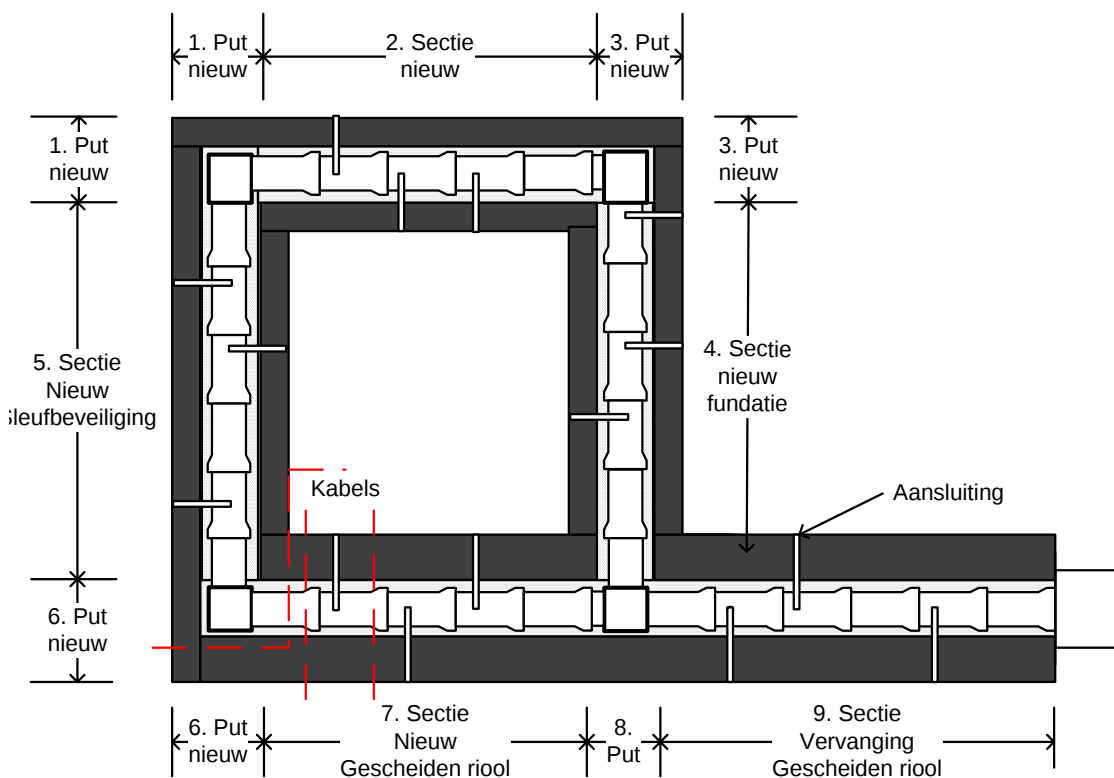
Naast de interne controle van het simulatiemodel door middel van verificatie is het model ook gevalideerd door het in praktijk te testen zoals behandeld in paragraaf 2.3. Het simulatiemodel wordt in deze paragraaf bediscussieerd aan de hand van deze tests. Validatie is het aantonen dat het systeem zich op alle relevante aspecten gedraagt zoals de werkelijkheid.

Zoals behandeld in paragraaf 2.5 is gekozen voor het (deels) uitvoeren van het validatie proces door middel van kennis gebaseerde validatie (Min, Yang, & Wang, 2010). Dit is gedaan door de uitkomsten van het simulatiemodel te evalueren met ervaringsdeskundigen. Dit maakt het mogelijk om de verschillende gesimuleerde delen van het uitvoeringsproces te beoordelen. De eerste testcase betreft een fictief project, de tweede case het project Bedrijvenpark A1 Deventer. In bijlage 7 wordt uitgebreider ingegaan op de case studies, simulatie instellingen en de resultaten. Daarnaast is het simulatiemodel opgeleverd met de instellingen om de uitgevoerde simulaties te herhalen.

6.1 Case: Fictief project

De eerste test van het model heeft plaatsgevonden door het beoordelen van de uitkomsten van het model voor een fictief project. Het doel van deze test was het controleren van de uitkomsten van het model onder verschillende omstandigheden. Hierbij zijn de verschillende scenario's, opties en uitvoermogelijkheden van het model geëvalueerd. Er is gekozen voor een fictief project omdat dit de mogelijkheid bood om alle scenario's en opties in één project te testen, en snel uitvoerbaar was. Het fictieve project is afgebeeld in figuur 6-1.

De rioolstrengen bestaan elk uit vijf of zes rioolpijpen en drie aansluitingen. De putten hebben twee aansluitingen, op één put na welke drie aansluitingen heeft. Rioolsectie 2 en 3 dienen als basis units met het basis uitvoeringsproces. Bij de andere putten en rioolstrengen zijn verschillende opties van het simulatiemodel toegepast. Daarnaast is ook de invloed van verschillende waarden van geometrische parameters getest. Zo is één wegvak breder dan de overige, en zijn er op één plek in het project kruisende kabels en leidingen geplaatst. Alle toegepaste afwijkingen zijn weergegeven in tabel 6.3. Daarbij zijn de gevolgen die op zouden moeten treden vanwege deze afwijkingen weergegeven.



Figuur 6-1 Voorbeeld project rioolaanleg

Resultaten

Voor het controleren van de uitkomsten van de simulaties is gebruik gemaakt van de uitvoer van het model. De uitvoering en resultaten, in de vorm van Gantt charts, van deze simulaties zijn bijgevoegd in bijlage 7.1 en worden hier samengevat. Naast de Gantt charts is voor de controles gebruik gemaakt van de Trace en Report bestanden van de verschillende simulaties.

Basisproces

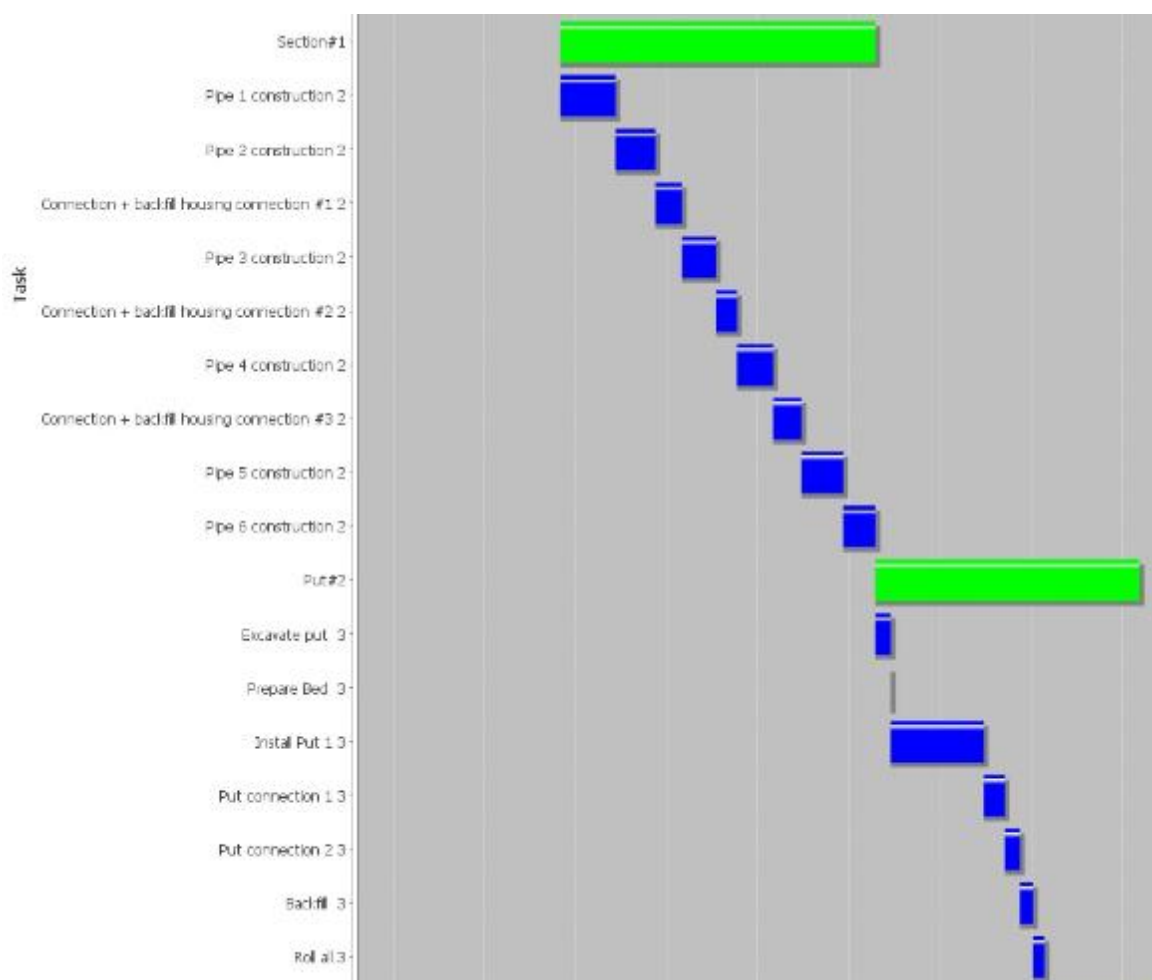
Allereerst is gecontroleerd of het basisproces plaatsvindt zoals in de werkelijkheid door het simuleren van de fictieve rioolstreng van sectie 2 en rioolput 3 in figuur 6-1. Hierbij is gebruik gemaakt van scenario 1, waarbij één ploeg alle rioolwerkzaamheden uitvoert. De resulterende activiteiten van zijn weergegeven in tabel 6-1 en 6-2. Op basis van deze controle van de uitvoer met de verwachte activiteiten op basis van de proceslogica is geconcludeerd dat het basis proces accuraat gesimuleerd wordt. In figuur 6-2 is de Gantt chart afgebeeld waarin de gesimuleerde activiteiten van beide wegvakken zijn afgebeeld.

Activiteit	Activiteit rioolbuis
1	Weg openbreken
2	Sleuf uitgraven
3	Zandbed prepareren
4	Buis plaatsen
5	Eerste zandaanvulling
6	Huisaansluiting plaatsen
8	Tweede zandaanvulling
9	Voorbereiding wegverharding
10	Wegverharding

Tabel 6-1 Resultaten simulatie rioolstreng 2

Activiteit	Activiteit Rioolput
1	Weg openbreken
2	Sleuf uitgraven
3	Zandbed prepareren
4	Put plaatsen
5	Put aansluitingen maken
6	Zandaanvulling
8	Voorbereiding wegverharding
9	Wegverharding

Tabel 6-2 Resultaten simulatie rioolput 3



Figuur 6-2 Gantt Chart sectie 2 en 3 fictief project

Procesuitbreidingen

Na de controle van het basisproces zijn de uitbreidingen gecontroleerd. De toegepaste uitbreidingen en verwachte resultaten zijn weergegeven in tabel 6-3. Na de simulatie is gecontroleerd of de aangebrachte afwijkingen verwachte gevolgen daadwerkelijk veroorzaakten. De resultaten zijn samengevat in tabel 6-4. Zie bijlage 7.1 voor gedetailleerde Gantt charts per sectie. De extra tijdsduur is weergegeven in simulatie-eenheden aangezien de kengetallen niet gevalideerd zijn. Op basis van deze controles is door de onderzoeker geconcludeerd dat de uitbreidingen accuraat gesimuleerd worden. De verwachte extra activiteiten werden op de juiste plaats in de uitvoer gegenereerd en de verwachte langere duur werd gerealiseerd.

Sectie	Uitbreidingen	Verwacht resultaat	Resultaat
Put 3	Geen	-	Duur: 80
Put 1	Asfalt verwijderen van alle secties en afsluiten van het riool.	Extra actie	Extra actie: asfalt frezen en afsluiten van het riool Duur: 109.
Put 6	Bredere weg en kabels en leidingen	Extra tijdsduur	Duur: 124
Put 8	Bredere weg en extra aansluiting en gescheiden riool	Extra tijdsduur en extra acties	Extra acties: 3e putaansluiting, Extra acties: dubbele plaatsing put Duur: 160
Sectie 2	Geen	-	Duur: 151
Sectie 4	Rioolfundatie	Extra actie	Extra actie: Rioolfundatie Duur: 293
Sectie 5	Sleufbeveiliging	Extra actie	Extra actie: Sleufbeveiliging Duur: 144
Sectie 7	Bredere weg, kabels en leidingen en gescheiden riool	Extra tijdsduur en extra actie	extra acties: dubbele aanleg riool Duur: 282
Sectie 9	Bredere weg, rioolvervanging i.p.v. nieuwbouw, gescheiden riool en asfalteren	Extra acties	Extra acties: verwijderen oud riool Extra acties: dubbele aanleg riool Extra acties: asfalteren Duur: 548

Tabel 6-3 Beschrijving rioolsecties fictief project en verwachte en gerealiseerde resultaten

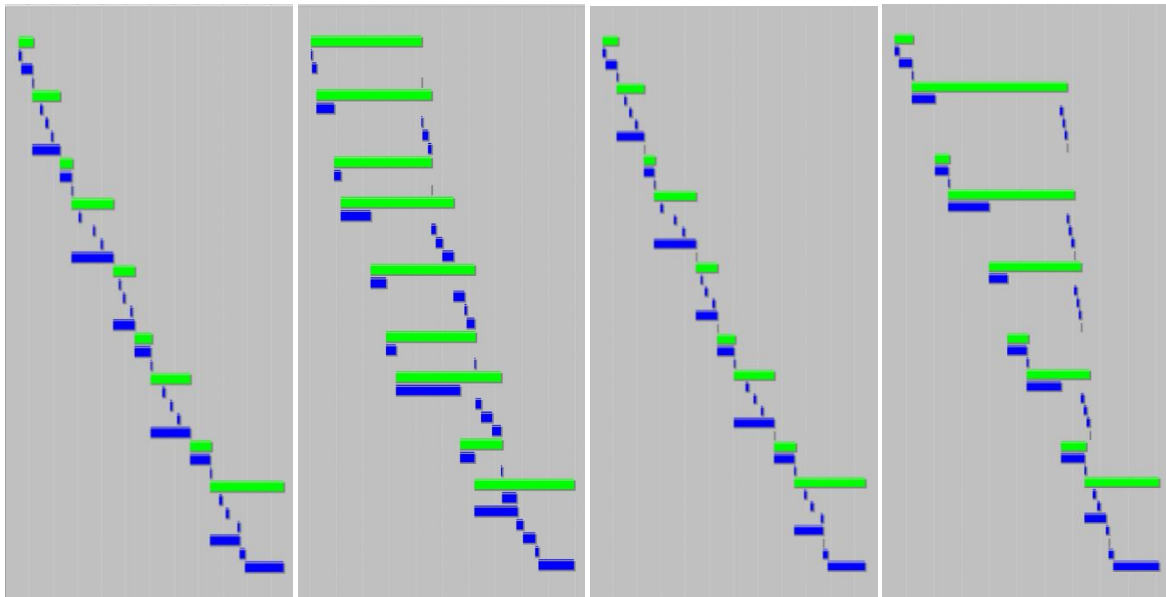
Scenario's

Voor het controleren van de simulatie van de verschillende resourcescenario's is het project gesimuleerd voor elk van deze scenario's. Daarbij is gecontroleerd of de uitvoeringsvolgorde van de verschillende secties en activiteiten overeenkomen met het betreffende scenario. Deze volgorde verschilt per scenario door parallelle uitvoering van activiteiten. De resultaten zijn samengevat in tabel 6-4 en weergegeven in figuur 6-3.

Rioolsectie	Parallele uitvoering
Scenario 1	Geen
Scenario 2	De rioolaansluitingen en tweede zandaanvullingen worden parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de kleine ploeg.
Scenario 3	De tweede zandaanvulling wordt parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de extra resource
Scenario 4	De rioolaansluitingen worden parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de kleine ploeg. De tweede zandaanvulling wordt parallel aan het hoofdriool en de aansluitingen uitgevoerd

Tabel 6-4 Resultaten simulatie van scenario's fictief project

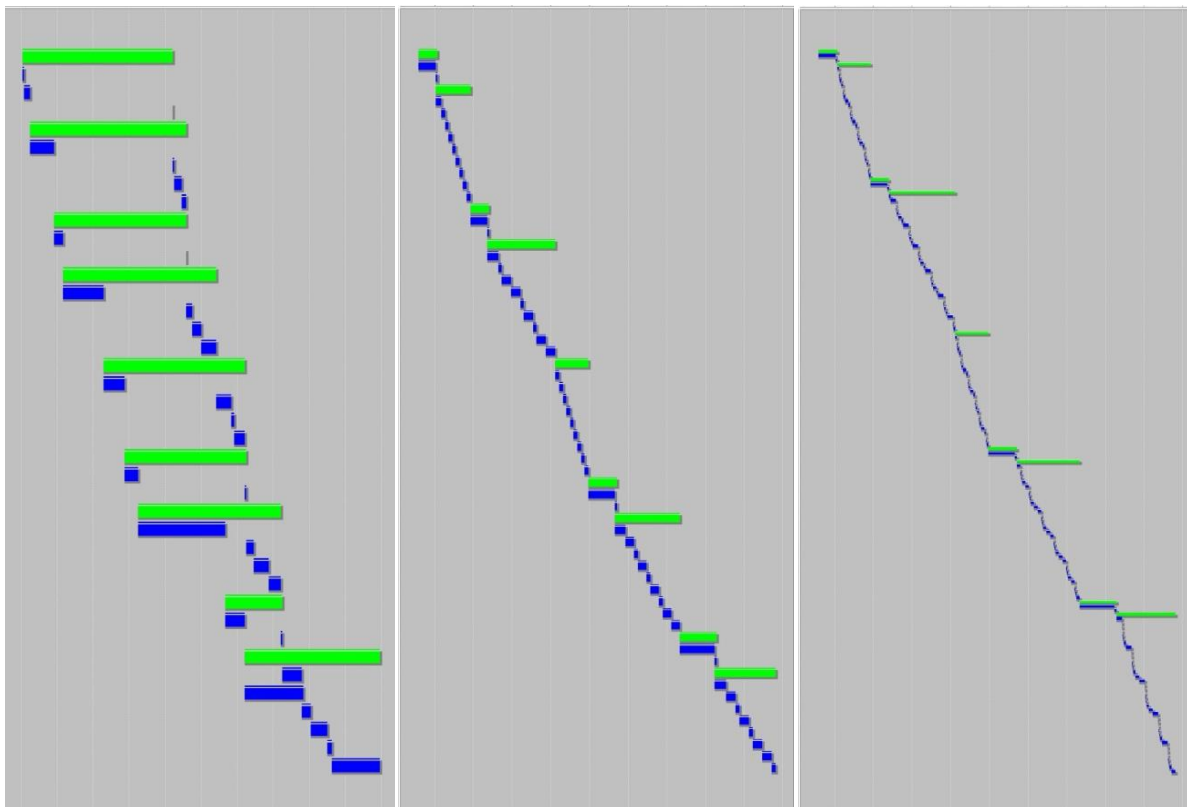
Figuur 6-3a geeft de simulatie van bij scenario 1 weer in een Gantt chart. De kort blauwe balkjes zijn de rioolaansluitingen die uitgevoerd worden door de "grote ploeg". In figuur 6-3b is scenario 2 afgebeeld. Hierin is zichtbaar hoe de "kleine ploeg" later aan het werk gaat dan de "grote ploeg". Tussen de activiteiten aan de eerste 8 secties zit namelijk een gat waarin geen werk wordt uitgevoerd aan de betreffende sectie. De activiteiten voor dit gat zijn die van het hoofdriool, die worden uitgevoerd door de "grote ploeg". Vervolgens voltooit de "kleine ploeg" het werk aan de secties door constructie van de rioolaansluitingen. Het startmoment van de "kleine ploeg" is in dit geval zodanig geoptimaliseerd dat deze enerzijds nauwelijks hoeft te wachten op de grote ploeg. Anderzijds komt de ploeg bij de laatste sectie direct achter de grote ploeg aan zodat de duur van het project dus minimaal is. Figuur 6-3 c en d geven respectievelijk scenario 3 en 4 weer waarbij de tweede zandaanvulling uitgevoerd wordt door een extra resource en daarom een eigen kort blauw balkje heeft.



Figuur 6-3 a) scenario 1 b) scenario 2 c) scenario 3 d) scenario 4

Uitvoermogelijkheden

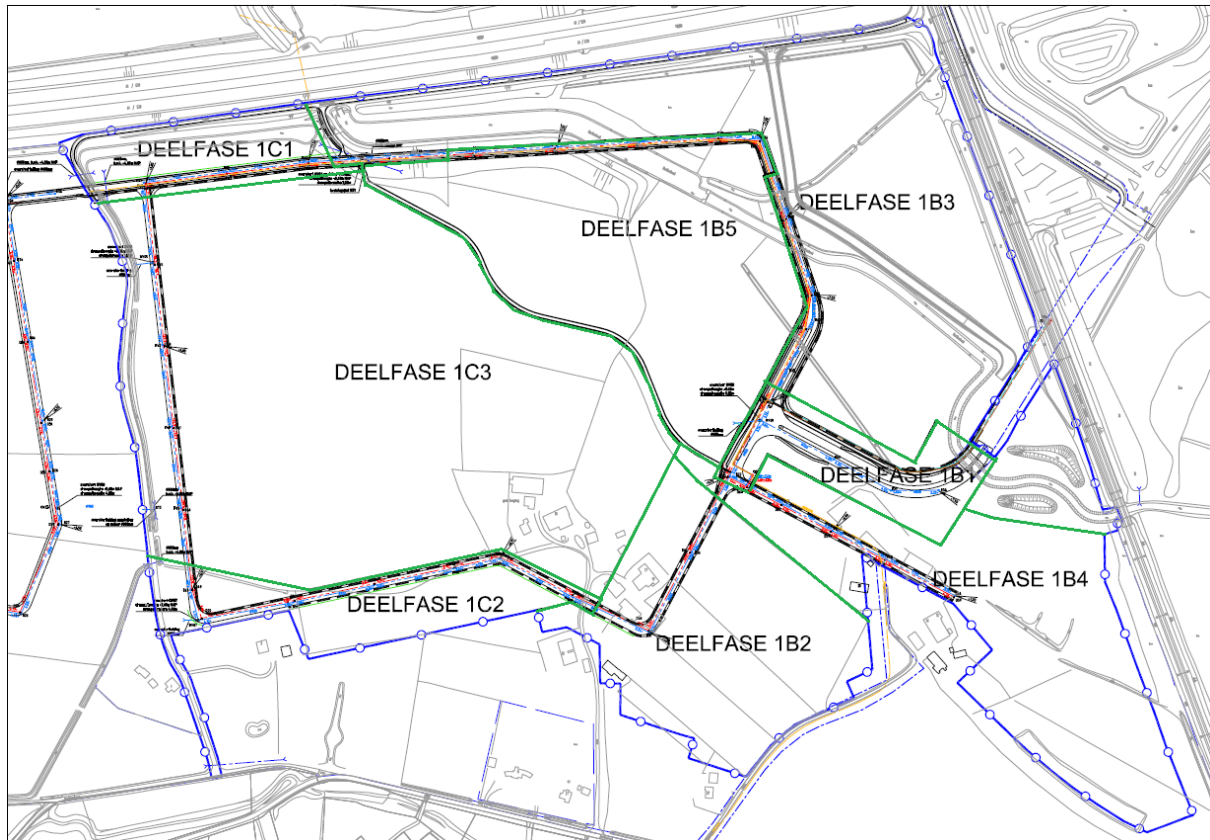
Ten slotte zijn de uitvoermogelijkheden gecontroleerd. Dit is gedaan door de simulatie meerdere malen uit te voeren, waarbij de detailniveaus van de uitvoer van de rioolstrengen, putten en aansluitingen werden aangepast. Hierbij is gecontroleerd of deze aanpassingen de verwachte detailniveaus opleverden in de Gantt charts. Zie bijlage 7.1 voor de Gantt charts. Op basis van deze controles is door de onderzoeker geconcludeerd dat de verschillende niveau-instellingen de verwachte resultaten genereren. In figuur 6-4 zijn enkele Gantt charts weergegeven van de verschillende niveau instellingen voor de rioolstrengen. De niveau instellingen voor de aansluitingen en rioolputten zijn hierbij gelijk gehouden. In het eerste diagram is de uitvoering gesimuleerd met scenario 2, in de andere diagrammen met scenario 1. Het hoogste detailniveau geeft een volledig overzicht van alle activiteiten, maar voor een snel en efficiënt overzicht is het laagste niveau het meest geschikt.



Figuur 6-4 Weergave van detailniveau 1 tot en met 3 voor rioolstrengen

6.2 Case: Bedrijvenpark A1- Deventer

Om het simulatiemodel in de praktijk te testen is gebruikgemaakt van een project van Dura Vermeer Infrastructuur Oost. Dit project betreft het bouwrijp maken van Bedrijvenpark A1-Deventer. Dit project is gesimuleerd met het simulatiemodel waarna de resultaten zijn geëvalueerd met enkele personen die betrokkenen zijn bij het project. Het project is afgebeeld in figuur 6-5, een uitgebreid overzicht van de case wordt weergegeven in bijlage 7.2.



Figuur 6-5 Situatie waterhuishouding project bedrijvenpark A1

Resultaten

De toepassing van het simulatiemodel op de praktijkcasus heeft verschillende resultaten opgeleverd. Ten eerste kwamen, tijdens het verzamelen en invoeren van de geometrische projectgegevens voor de simulatie, enkele tekortkomingen van het model aan het licht. Daarnaast is het model gevalideerd met de uitkomsten van de simulaties. Ten slotte is de bruikbaarheid van het model geëvalueerd. De uitvoering, instellingen en resultaten van deze simulaties zijn bijgevoegd in bijlage 7.2 en worden hier samengevat. De gebruikte simulatiegegevens zijn ook mee opgeleverd met het digitale simulatiemodel zodat de simulaties herhaald kunnen worden. Ook de gebruiksvriendelijkheid van het model komt aan bod in bijlage 7.2.

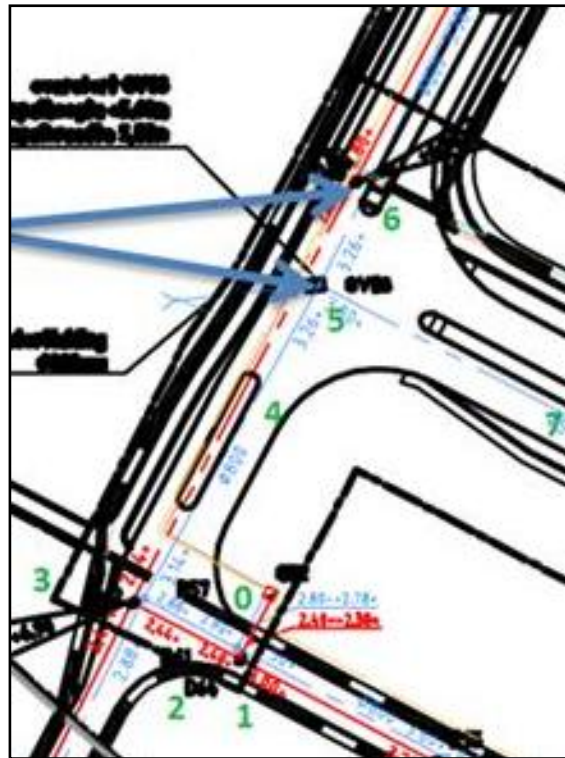
Invoer

Bij het verzamelen van de gegevens en het invoeren van deze gegevens in het simulatiemodel kwamen enkele situaties aan het licht waar het model afweek van de werkelijkheid. Deze afwijkingen zijn deels verholpen door aanpassingen in het model, en deels door het toepassen van workarounds. Deze afwijkingen worden hier behandeld en komen meer uitgebreid aan de orde in bijlage 6.5.

De meeste afwijkingen zijn een gevolg van het feit dat de aanleg van een gescheiden riool in het model gemodelleerd wordt als één rioolstreng in plaats van twee afzonderlijke strengen. In het model wordt vervolgens per buislengte, de verwijdering en plaatsing van twee buizen gemodelleerd. Bij een rioolput wordt de verwijdering en plaatsing van de put tweemaal uitgevoerd.

Deze manier van modelleren leidt tot diverse afwijkingen ten opzichte van de werkelijkheid. Zo werkte het model met slechts één maat voor beide rioolstrengen, terwijl deze vaak afwijkend zijn. Dit is opgelost door parameters te introduceren voor de afmetingen van beide oude en nieuwe strengen.

Daarnaast veronderstelde deze manier van modelleren dat de lengtes van beide rioolstrengen gelijk zijn en de rioolputten van beide strengen op dezelfde plek liggen. Dit is echter niet altijd het geval. Een voorbeeld van deze situatie is weergegeven in figuur 6-6 met de blauwe pijlen. Bij de pijlen ligt in slechts één van de beide strengen een rioolput. Dit verschil tussen simulatie en praktijk is opgelost door middel van een workaround. Op de plaats van deze rioolput worden beide rioolstrengen opgeknipt in twee secties met daartussen een wegsectie voor een put. Deze put wordt gemodelleerd als gemengd riool zodat de plaatsing van slechts één put werd gesimuleerd.



Figuur 6-6 Overzicht deelfase 1B1 bedrijvenpark A1

Ten slotte kon het model maar één rioolaansluiting per buislengte verwerken. In de realiteit kan bij een gescheiden riool de buis van beide rioolstrengen een aansluiting hebben. Ook is mogelijk dat op één buis meerdere aansluitingen geplaatst worden. Het model is aangepast om dit mogelijk te maken.

Naast deze afwijkingen is ook de fasering van het model niet volledig. De huidige fasering richt zich volledig op ruimtelijke fasering. In de werkelijkheid is er ook vaak sprake van een bouwrijp en woonrijp fasering. In het huidige model is fasering in de tijd niet mogelijk. Dit is voor de aanleg van rioleringswerken geen groot probleem aangezien dit bijna volledig tijdens de bouwrijpfase aangelegd wordt. Wel worden tijdens de woonrijpfase vaak de putdeksels en laatste kolken geplaatst.

Validatie

De validatie van het simulatiemodel aan de hand van het project Bedrijvenpark A1 – Deventer is uitgevoerd door kennisgebaseerde validatie. Dit is uitgevoerd door de resultaten van de simulaties van deelfases 1b1 en 1b2 te evalueren met bij het project betrokken praktijkprofessionals. Deze validatie is kwalitatief van aard geweest. Een uitgebreide beschrijving van deze validatie en de daarvoor gebruikte simulatie instellingen en resultaten is bijgevoegd in bijlage 7.2.

Deze validatie kende enkele beperkingen. Zo was er tijdens dit onderzoek nog geen definitieve projectplanning beschikbaar voor vergelijking met de simulaties. Hierdoor was het niet mogelijk om het simulatiemodel kwantitatief te toetsen aan de planning van dit project. Daarnaast behelsde het project niet alleen rioleringsactiviteiten maar ook niet-rioleringsgerelateerde activiteiten zoals een persleiding, een rioolgemaal, een tunnel en overige nutsvoorzieningen. Deze overige activiteiten zijn van invloed op het uitvoeringsproces van de rioleringsactiviteiten maar konden niet gemodelleerd worden met het simulatiemodel.

Uit de discussie met de praktijkdeskundigen bleek dat het model een accuraat resultaat levert voor het geïdentificeerde basisproces van de rioleringsactiviteiten aan zich. Ook de mogelijke uitbreidingen op dit proces resulteren in een juiste uitvoeringsvolgorde. De volgorde van activiteiten komt overeen met de werkelijkheid. Ook de simulatie van parallelle uitvoering, bij scenario's die dit toestaan, levert een plausibel resultaat.

Een uitzondering is de activiteit “afsluiten riool”, deze wordt in het huidige model altijd uitgevoerd terwijl bij nieuwbouw van het riool, zoals in dit project, het huidige riool niet afgesloten hoeft te worden. De functie in het simulatiemodel om alle secties aan het eind pas te asfalteren bleek erg nuttig. In het project worden namelijk alle secties die uitgevraagd zijn door de gemeente in één keer geasfalteerd om zo te besparen op de kosten van de asfaltset.

Een belangrijke aanmerking op het model is dat de resultaten van het simulatiemodel weinig relevant zijn zodra andere, niet-rioleringsgerelateerde, activiteiten van invloed zijn op het uitvoeringsproces van de riolering. Dit omdat het model hier niet mee om kan gaan. Zodra dit aan de orde is, zoals bij het project Bedrijvenpark A1 – Deventer het geval is, zijn de simulaties niet representatief voor het betreffende project. Bijvoorbeeld bij dit project wordt er tussen verschillende fases een persleiding aangelegd. Vergroting van de flexibiliteit van het model in de omgang met niet-rioleringsgerelateerde activiteiten is dan ook gewenst.

Voor wat betreft de hiervoor behandelde invoerproblemen in deelfase 1b1, is het model goed in staat om deze fase te modelleren. De aanpassingen aan het simulatiemodel en toegepaste workarounds bleken goed te werken. Wel is het zo dat indien het model ingezet zou worden voor visualisatie de workaround minder goed voldoen aangezien de visualisatie dan niet overeenkomt met de werkelijkheid

6.3 Samenvatting

In dit hoofdstuk is de kwalitatieve validatie van het simulatiemodel door middel van twee casestudies behandeld, kwantitatieve validatie is niet uitgevoerd. Ten eerste is een casestudie op basis van een fictief project uitgevoerd. Hieruit bleek dat het simulatiemodel in een fictieve setting accurate simulaties oplevert voor de verschillende uitvoeringsmogelijkheden en scenario's. Vervolgens is een case studie op een echt rioleringsproject uitgevoerd. Tijdens deze studie is het model onderzocht op verschillende vlakken. Zo zijn de validiteit en de bruikbaarheid van de resultaten van het model en de gebruiksvriendelijkheid van het model beoordeeld. De praktijk blijkt weerbarstiger te zijn dan de fictieve setting van de eerste case studie. Er deden zich enkele verschillen voor tussen de simulaties en de praktijk. Met workarounds zijn sommige van deze verschillen te omzeilen, andere zijn dat met het huidige simulatiemodel niet. De beperkingen volgen voornamelijk uit het gebrek aan flexibiliteit van het simulatiemodel in de omgang met niet-rioleringsgerelateerde activiteiten. Het rioleringsproces an sich werd ook in deze case valide gesimuleerd. De gevonden resultaten worden in het volgende hoofdstuk bediscussieerd.

7. Discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van dit onderzoek bediscussieerd. Deze resultaten zijn tweeledig, allereerst is er de proceslogica van de uitvoering van rioleringsprojecten. Daarnaast is er het op basis daarvan ontwikkelde simulatiemodel dat een tool vormt ter ondersteuning van de planning en werkvoorbereiding van deze projecten. Deze discussie richt zich daarbij op de toepassingsmogelijkheden en op de validiteit van deze producten. Ten eerste komt in paragraaf 7.1 de proceslogica aan bod waarna in paragraaf 7.2 het simulatiemodel behandeld wordt. Ten slotte volgt een korte samenvatting in paragraaf 7.3.

7.1 Proceslogica rioleringsprojecten

De geïdentificeerde proceslogica is behandeld in hoofdstuk 3. Deze logica bestaat uit een beschrijving van de generieke activiteiten die plaats (kunnen) vinden bij een rioleringsproject en de daarbij van belangzijnde parameters. Daarnaast zijn de gebruikte resources, resourcescenario's en optimalisatiemogelijkheden van de aannemer bij deze projecten in kaart gebracht.

7.1.1 Toepassingen

De proceslogica kent verschillende mogelijke toepassingen voor verschillende doeleinden. Ten eerste is de logica in het kader van dit onderzoek ingezet als basis voor de ontwikkeling van het simulatiemodel. Daarnaast heeft de proceslogica echter ook verschillende toepassingen als stand-alone product. Deze mogelijke toepassingen worden hier toegelicht.

Procesmatige calculatie en werkvoorbereiding

Zoals aangegeven in het onderzoekskader wordt bij het huidige calculatieproces en bij de werkvoorbereiding gewerkt op basis van kenniservaring. Er is gesteld dat dit suboptimaal is. De proceslogica kan ingezet worden als template voor de uitvoering van deze projecten en daarmee voor stapsgewijze calculatie en werkvoorbereiding. Door de uitvoering van een rioleringsproject activiteit voor activiteit te benaderen tijdens de calculatie en werkvoorbereiding, kan voor welke activiteit de duur en de kosten bepaald worden. Daarbij kan voor elke activiteit bepaald worden wat de invloed is van de verschillende parameters is op deze duur en kosten. Samengevoegd levert dit een totaal op per subprocess wat samengevoegd een totaalplaatje oplevert voor het hele proces. Werken volgens deze methode ontstaat er waarschijnlijk een meer accuraat beeld van het project dan op basis van aannames op basis van kenniservaring. Ook neemt de kans op het missen van kostenposten en risico's af.

Projectoptimalisatie

De proceslogica kan ingezet worden voor het optimaliseren van de planning van het uitvoeringsproces van projecten. Het simulatiemodel is een implementatie van de proceslogica dat deze optimalisaties faciliteert, deze toepassingsvorm wordt daarom behandeld bij de toepassingen van het simulatiemodel.

Domein optimalisatie

Naast het verbeteren van de prestaties op projectniveau kunnen ook op strategisch niveau optimalisaties gemaakt worden op het domein van rioleringsprojecten. Hierbij dient de proceslogica, als template van de huidige werkwijze en gemaakt afwegingen, als startpunt voor verbetering. Het procesmatig werken door het inzetten van de proceslogica als template voor calculatie en werkvoorbereiding is een voorbeeld van zo een strategische procesoptimalisatie.

Hiernaast kunnen bijvoorbeeld de huidige processen en daarbij gesignaleerde knelpunten binnen deze processen geanalyseerd worden. Op basis hiervan kunnen mogelijk procesverbeteringen geïnitieerd worden.

Opleiding

Een afgeleide toepassing van de proceslogica kan het opleiden van personeel zijn. De proceslogica kan ingezet worden voor een eerste kennismaking met, of opfrissing van, kennis van rioleringsprojecten. Dit kan met name van toepassing zijn voor nieuw personeel, stagiairs of personeel dat van functie of werkgebied verandert.

7.1.2 Validiteit

De validiteit van de proceslogica is op verschillende manieren gewaarborgd. Dit is ten eerste gewaarborgd door het gebruik van verschillende bronnen namelijk: literatuur, praktijkdeskundigen en projectbezoeken. Daarbij is, zoals behandeld in paragraaf 2.5, gebruik gemaakt van meerdere bronnen per domein. Voor de praktijkbronnen is dit uitgevoerd worden door meerdere personen te interviewen en meerdere projecten te gebruiken als onderzoeksmateriaal. Aangezien de beschikbare tijd voor het onderzoek beperkt was is hierin een afweging gemaakt tussen efficiency en betrouwbaarheid. Hierbij zijn alle bronnen vastgelegd zodat achteraf controle mogelijk is. Voor de verwerking van interviews is gebruik gemaakt van interviewprotocollen en zijn de interviews opgenomen. Daarnaast zijn de opgestelde proceslogica, parameters, keuzes en scenario's voorgelegd aan praktijkdeskundigen. Hieruit bleek dat de opgestelde proceslogica valide is. Ten slotte volgt de validiteit van de proceslogica uit de validiteit van het ontwikkelde simulatiemodel aangezien dit model werkt op basis van deze proceslogica. De validiteit van het simulatiemodel wordt in de volgende paragraaf behandeld.

Een kanttekening hierbij is dat specifieke projectkenmerken en parameters regelmatig resulteren in een afwijkend uitvoeringsproces. Dit vanwege het feit dat de aard van het werk in de realiteit vaak chaotischer is dan de hier lineair of cyclisch voorgestelde theoretische processen. Daarnaast spelen bij veel projecten andere (niet-rioolgerelateerde) activiteiten een rol in het uitvoeringsproces waardoor dit anders verloopt dan puur op basis van de proceslogica verwacht zou worden. Daarnaast is alleen de proceslogica bij Dura Vermeer onderzocht, deze zou bij andere aannemers kunnen afwijken.

Ook de conceptuele modellen zijn geverifieerd en gevalideerd. Bij de verificatie is gecontroleerd of de modellen de geïdentificeerde proceslogica en uitvoeringsparameters correct weergeven door deze voor te leggen aan praktijkdeskundigen. Dit is een iteratief proces geweest waarbij de modellen verschillende revisies zijn ondergaan. Een manco van het toestandsdiagram van de sectie is dat afhankelijk van het resource scenario verschillende stappen parallel uitgevoerd kunnen worden. Dit wordt niet weergegeven door het diagram.

Nadat de modellen voldeden aan de verificatie is er een validatie uitgevoerd. Validatie controleert of de modellen de werkelijkheid die beoogd wordt te beschrijven daadwerkelijk voldoende correct beschrijven. De validatie van de modellen is uitgevoerd door het model voor te leggen aan, en te bespreken met ervaringsdeskundigen. De belangrijkste conclusie was dat de modellen valide zijn maar ingewikkelder overkwamen dan de proceslogica van het uitvoeringsproces. Ook werd, net als bij validatie van de proceslogica, aangetekend werd dat de praktijk vaak weerbarstiger is dan dat in de rigide modellen weergegeven wordt.

7.2 Simulatiemodel

Het ontwikkelde simulatiemodel is behandeld in hoofdstuk 5. Dit model modelleert de uitvoering van een rioleringsproject door middel van de simulatie van de opgestelde proceslogica. Hierbij wordt de simulatie van het betreffende project gerealiseerd door het uitvoeren van deze simulatie op basis van de ingevoerde geometrische projectgegevens. Het simulatiemodel is zover ontwikkeld dat het valide resultaten genereert voor de simulatie van rioleringsprojecten. Het gebruiksgemak en de mogelijkheden voor simulatie van andere activiteiten kunnen nog vergroot worden. Het model is dan ook nog niet voltooid. Dit model kent diverse toepassingsmogelijkheden welke hier behandeld worden. Deels zijn deze toepassingen nu al mogelijk, deels moeten ze nog gerealiseerd worden, daarom komt ook de stand van zaken van het model aan de orde en wordt een toekomstvisie gepresenteerd.

7.2.1 Toepassingen

Aangezien het simulatiemodel een implementatie is van de proceslogica komen de mogelijke toepassingen van het simulatiemodel grotendeels overeen met die van de proceslogica. De belangrijkste mogelijke toepassingen van het simulatiemodel zijn het faciliteren van optimalisatie van de uitvoeringsplanning en het communiceren hiervan plannings. De waarde van deze toepassingen nemen toe door het realiseren van de toekomstvisie van het model.

Optimalisatie uitvoeringsplanning

Het simulatiemodel biedt verschillende mogelijkheden voor het optimaliseren van de uitvoeringsplanning. De gebruiker heeft verschillende mogelijkheden om de uitvoering van de simulatie te beïnvloeden. Dit heeft als doel om informatie te vergaren, ter ondersteuning van het nemen van beslissingen m.b.t. de uitvoering van het gesimuleerde project. Door het aanpassen van instellingen kan de gebruiker testen wat de invloed hiervan is op de uitvoering van het project. De mogelijkheden hiervoor worden hier behandeld.

- **Keuze resourcescenario's**

Zoals in paragraaf 4.3 is behandeld zijn er meerdere resourcescenario's mogelijk welke met het model gesimuleerd kunnen worden. De keuze voor deze scenario's wordt gemaakt op basis van de kosten en projectrestricties. Het parallel uitvoeren van activiteiten resulteert in een snellere uitvoering maar kost vanwege de extra benodigde resources meer geld per tijdseenheid. Op basis van de resultaten die deze simulaties opleveren kan er een afgewogen keuze gemaakt worden voor één van deze scenario's. Hieruit volgt welke ploegen er ingezet worden.

- **Optimalisatie uitvoeringsafwegingen**

Daarnaast kan het simulatiemodel ingezet worden voor het afwegen van uitvoeringskeuzes. Zo kan het toepassen van sleufbeveiliging in plaats van een bredere sleuf met talud een afweging zijn.

Ook kan na de keuze voor een resourcescenario het in te zetten aantal resources verder geoptimaliseerd worden. Indien er afhankelijk van de hoeveelheid kabels en leidingen een grondwerker aan een ploeg meer of minder toegevoegd worden vanwege de hoeveelheid handwerk. Anderzijds kan de optimale capaciteit van een graafmachine bepaald worden aan de hand van de hoeveelheid te verzetten grondwerk.

Ook de keuze voor wanneer het werk aan een volgend wegvak start kan op deze wijze gemaakt worden. Binnen de beperkingen vanwege regels van de opdrachtgever en wet- en regelgeving met betrekking tot bereikbaarheid, bestaan ook hier keuze mogelijkheden. Zo kan ervoor gekozen worden om alle secties in één keer op te breken. Hierbij kan een tijdelijke bouwweg over delen van het project gebruikt worden voor de bereikbaarheid. Daardoor hoeft er slechts eenmaal een asfaltrees en/of asfaltset ingezet te worden voor respectievelijk het verwijderen en aanbrengen van de verharding. Tegenover dit voordeel staan de werkzaamheden en kosten voor het aanleggen van de bouwwegen met rijplaten.

- **Kritieke activiteiten**

Het model heeft geen functionaliteit om kritieke pad analyses uit te voeren. Het kritieke pad is echter bij rioleringsprojecten minder interessant dan bij andere bouwwerkzaamheden door de zeer lineaire uitvoering. Desondanks zijn er enkele activiteiten die parallel plaats kunnen vinden en die op elkaar afgestemd kunnen worden. Zo kan het optimale inzetmoment van de kleine ploeg bepaald worden. Dit moment dient zodanig gepland te worden dat de "kleine" ploeg enerzijds niet op de grote ploeg hoeft te wachten, maar anderzijds zo snel mogelijk na de "grote" ploeg klaar is met een wegvak. In figuur 6-3b is te zien hoe de kleine ploeg (weergegeven door de series van drie korte blauwe balken) later ingezet wordt en inloopt op de grote ploeg (weergegeven door de langere blauwe balken). De gebruiker heeft de mogelijkheid om het optimale inzetmoment van de kleine ploeg met trial & error te bepalen.

Ook de inzetmomenten van onderaannemers, ketenpartners of externe stakeholders zoals nutsbedrijven kunnen op deze manier bepaald worden.

- **Wat-als scenario's**

Het model kan ingezet worden voor het beoordelen van wat/als scenario's. Hierbij kunnen gebruikers bijvoorbeeld testen wat de invloed van onbekende kabels en leidingen op de uitvoeringsplanning kan zijn. Dit kan de gebruiker doen door fictieve kabels en leidingen in de geometrie van het project te introduceren. Hierna kan de gebruiker het effect hiervan op de resultaten evalueren. Zodoende kan een robuuste uitvoeringsplanning opgesteld worden (König, 2011). Robuust betekent in deze dat normale project variaties geen significant effect hebben op de planning en project doelen. Om dit te bepalen is het nodig verschillende veel voorkomende verstoringen te simuleren. Uit meerdere valide planningen wordt dan de planning gekozen die bijna optimaal is, en zeer robuust. Het opstellen van een robuuste planning betekent dat er niet het onderste uit de kan wordt gehaald qua planningsoptimalisatie. Het is aan de aannemer om een afweging te maken tussen optimalisatie en robuustheid van de planning op basis van de geïdentificeerde risico's.

- **Lean bouwen**

Doordat het simulatiemodel de uitvoering stap voor stap simuleert wordt er een hoog detailniveau bereikt qua planning. Dit maakt het mogelijk om resources optimaal in te zetten en daardoor verspilling te minimaliseren. De bovengenoemde optimalisaties van resource scenario's, de aantallen in te zetten resources en het moment van inzet van deze resources zijn voorbeelden van hoe het simulatiemodel bij kan dragen aan lean bouwen.

Communicatie uitvoeringsplanning

Naast optimalisatie van de uitvoering kan het simulatiemodel en haar resultaten ook ingezet worden als communicatiemiddel.

- **Interne communicatie en communicatie met onderaannemers en ketenpartners.**

Tijdens de tenderfase, de werkvoorbereidingsfase en de uitvoering kunnen simulaties ingezet worden als communicatiemiddel, zowel intern als met onderaannemers en ketenpartners. Zeker wanneer de simulatie gecombineerd wordt met een visualisatie kan op die manier een goed beeld gevormd worden van de uitvoering van het project. Dit kan bijvoorbeeld door het identificeren van de optimale inzet momenten van de verschillende partijen zoals hierboven behandeld. De communicatiekracht van het model volgt hierbij uit het feit dat elke partij een goed beeld krijgt van welke activiteit wanneer door wie wordt uitgevoerd. Zo kunnen mogelijke conflicten, risico's en raakvlakken tijdig geïdentificeerd worden.

- **Communicatie met opdrachtgevers en overige stakeholders.**

De resultaten van het simulatiemodel kunnen, zeker in combinatie met visualisatie daarvan, ingezet worden voor communicatie met opdrachtgevers en overige stakeholders. Tijdens de aanbestedingsfase kunnen visualisaties ingezet worden om de opdrachtgever een goed beeld te geven van de uitvoering van het project. Zo kan de fasering en impact van het project op de omgeving weergegeven worden.

Bij gunning van een project kan de aannemer deze visualisaties inzetten voor communicatie met de overige stakeholders van het project. Zodoende kan begrip gecreëerd worden van de uitvoering van het project en de gevolgen daarvan. Deze stakeholders zijn bijvoorbeeld omwonenden, maar ook nutsbedrijven met (ondergrondse) in de nabijheid van het project.

7.2.2 Stand van zaken

De bovengenoemde toepassingen maken het simulatiemodel van grote potentiële waarde. Het simulatiemodel is echter nog geen definitief product. Zoals aangegeven in paragraaf 6.1 heeft dit onderzoek zich gericht op het ontwikkelen van een valide simulatiemodel voor binnenstedelijke rioleringsprojecten. Uit de case studies is gebleken dat dit geslaagd is, echter zijn er uit de cases ook diverse mogelijkheden voor verbetering naar voren gekomen. Dit volgt mede uit de scope en de gemaakte keuzes van de ontwikkeling van het model.

Naast het valideren van het model is ook de bruikbaarheid van het model beoordeeld. De bruikbaarheid van het model kan opgedeeld worden in het gebruiksgemak van het model en het nut voor de gebruiker van het model. Het nut van het gebruik van het model moet hierbij opwegen tegen de moeite die hiervoor nodig is. Deze stand van zaken wordt hier kort gepresenteerd. De uitgebreide resultaten van de case studies met betrekking tot de bruikbaarheid zijn bijgevoegd in bijlage 7.2.3.

Validiteit

Het valideren van het simulatiemodel heeft plaatsgevonden door middel van de case studies en discussie van de resultaten hiervan. Voor de discussie is de uitvoer van het model gebruikt om het model te beoordelen. Zoals behandeld in paragraaf 2.5 zijn er twee case studies uitgevoerd, één op basis van een fictief project en één op basis van een echt project. De uitvoering van deze casestudies en de resultaten daarvan zijn behandeld in hoofdstuk 6.

Uit de eerste case studie is gebleken dat het simulatiemodel in een fictieve setting valide resultaten genereert voor de uitvoering van het basisproces van rioleringsprojecten en de optionele uitbreidingen op dit basisproces. Ook reageert het model naar verwachting op aanpassingen van de invoerwaarden van de parameters van het simulatiemodel. Het model is verder in staat om de uitvoering van het fictieve project te simuleren op basis van de vier geïdentificeerde resource scenario's.

Uit de tweede casus is gebleken dat het model ook bij een project uit de praktijk plausibele resultaten genereert. Uit de discussie bleek dat het model een accuraat resultaat levert voor de verschillende resourcescenario's van het basisproces van de rioleringsactiviteiten en de uitbreidingen op dit proces.

Een belangrijke aanmerking op basis van deze casus is dat de resultaten van het simulatiemodel minder relevant zijn zodra andere activiteiten van invloed zijn op het uitvoeringsproces van de riolering. Dit omdat het model niet met deze activiteiten, behalve activiteiten aan de wegverharding, om kan gaan. In de casus wordt een tussen de rioleringsactiviteiten een persleiding en gemaal aangelegd, doordat het model dit niet simuleert zijn de simulaties niet representatief voor het betreffende project.

Voor wat betreft de afwijkingen in deelfase 1b1 is het model verder goed in staat om delen van deze fase te modelleren met gescheiden riool en delen met alleen HWA riool. Verder bleken de toegepaste workarounds goed te werken. Indien het model ingezet zou worden voor visualisatie zal de workaround van het uitmiddelen van de locaties van de putten minder goed voldoen aangezien de visualisatie dan niet overeenkomt met de werkelijkheid. In dit geval kan beter de andere workaround toegepast worden.

Concluderend kan gesteld worden dat het model de uitvoering van rioleringsprojecten kwalitatief valide simuleert maar dat ondersteuning van niet rioleringsgerelateerde activiteiten gewenst is. De kwantitatieve validiteit van het model dient nog beoordeeld te worden en is grond voor verder onderzoek.

De positieve uitkomsten van deze validatie en het feit dat het simulatiemodel ontwikkeld is op basis van de geïdentificeerde proceslogica ondersteund de positieve uitkomsten van de validatie van deze proceslogica.

Gebruiksgemak simulatiemodel

Bij het in kaart brengen van de eisen die gesteld worden aan het simulatiemodel (zie paragraaf 5.1) bleek dat niet alleen de betrouwbaarheid maar ook de bruikbaarheid van het model van belang is. De bruikbaarheid van het model is geëvalueerd als een afweging tussen het nut van de resultaten en de moeite die het kost om deze te verkrijgen.

Tijdens de case studies zijn de invoermethode, het uitvoeren van simulaties en de resulterende output beoordeeld. Waar de validatie de inhoud van de resultaten beoordeeld is hierbij de vorm van de resultaten aan de orde gekomen.

- **Modelinput**

De huidige, handmatige, manier van invoeren van de verschillende parameters voldoet niet voor het gebruiksdoel van het model doordat de methode te arbeidsintensief en omslachtig is.

- **Simuleren**

Het uitvoeren van alternatieve simulaties vindt plaats door het handmatig aanpassen van simulatieparameters om zodoende het optimale alternatief te vinden. Hoewel dit in het ideale scenario (deels) geautomatiseerd plaats vindt, voldoet de huidige handmatige methode.

- **Bruikbaarheid van de resultaten**

De praktijkdeskundigen zijn (nog) sceptisch over de gebruiksdoelen van het simulatiemodel. De genoemde redenen hiervoor is het feit dat de praktijk vaak meer ongeordend is dan de geïdentificeerde proceslogica en scenario's, en de vele projectspecifieke details die van belang zijn voor het maken van afwegingen. Daarom zien de praktijkdeskundigen vooral een rol in de eerdere fases van het planning- en werkvoorbereidingproces waar het abstractieniveau van de planning nog hoger is.

Een belangrijke beperking van het huidige model is dat alleen het proces van rioleringsrenovatie gesimuleerd kan worden terwijl andere activiteiten vaak ook een rol spelen. Deze overige processen resulteren vaak in afwijkingen in het proces van de rioleringsrenovatie. Daardoor is het nut van het huidige model beperkt tot pure rioleringsprojecten. Deze zijn, vooral in stedelijk gebied, zeldzaam.

De uitvoermogelijkheden van het model zijn momenteel erg beperkt qua informatie en overzichtelijkheid. De automatisch gegenereerde bestanden zijn weinig overzichtelijk en bevatten niet altijd de gewenste gegevens voor het identificeren van de optimale alternatieven. Daarnaast biedt de uitvoer geen mogelijkheid om de resultaten van meerdere alternatieve simulaties goed vergelijkbaar weer te geven. Dit beperkt de bruikbaarheid van de resultaten door praktijkprofessionals doordat het vereiste kennisniveau om het model te gebruiken hierdoor hoog ligt.

Met oog op de toekomstige serious game zien de praktijkdeskundigen de mogelijkheden van het model bij projectoverleg met de verschillende stakeholders. Hierdoor kan een beter begrip van het project en van elkaars werkzaamheden worden bereikt. De samenwerking en procescoördinatie kunnen hierdoor verbeterd worden. Hierbij werd echter wel aangemerkt dat hiervoor wel de wil bij alle stakeholders aanwezig moet zijn. De twijfel werd geuit dat dit vaak niet bij alle partijen het geval is.

Visualisatie resultaten

Onderdeel van de nog beperkte bruikbaarheid van de resultaten is het gebrek aan visuele output van het simulatiemodel. Tijdens het onderzoek werd bij de communicatie met de praktijkdeskundigen duidelijk dat men simulatie vaak verward met visualisatie. Er werd vervolgens teleurgesteld gereageerd als men ontdekte dat visualisatie in eerste instantie niet het doel is. Men ziet een grote meerwaarde in de introductie van visualisatie van de simulaties, onder andere voor de toepassingsmogelijkheden ter communicatie.

Uit de gesprekken met de praktijkdeskundigen blijkt dat aannemers erg visueel ingesteld zijn, bouwtekeningen en balkenplanningen hebben sterk de voorkeur boven numerieke representaties. Hetzelfde geldt voor de resultaten van het simulatiemodel. Men ziet de resultaten veel liever via visualisaties van de uitvoering of diagrammen dan via rapportages zoals het huidige bij simulaties gegenereerde rapport en trace bestand.

7.2.3 Toekomstvisie simulatiemodel

Op basis van de stand van zaken van het simulatiemodel is gebleken dat het model kwalitatief valide simulaties oplevert van rioleringsprojecten. Er zijn echter diverse mogelijkheden voor verbetering en uitbreiding van het model. Deze mogelijkheden kunnen geïmplementeerd worden om zodoende de inzetbaarheid en het gebruiksgemak, en daarmee de waarde, van het model te vergroten. Hiertoe is een toekomstvisie voor het model ontwikkeld. Deze toekomstvisie wordt hier kort gepresenteerd en wordt meer uitgebreid behandeld in hoofdstuk 8 van het bijlagendossier. De speerpunten van deze visie zijn:

- Snel en gemakkelijk gebruik van het simulatiemodel door geautomatiseerde gegevensinvoer, simulaties en experimenten. En het toevoegen van overzichtelijke en krachtige uitvoerweergaves voor een snelle en goede interpretatie van de resultaten.
- Een goede betrouwbaarheid van het model door middel van kwantitatieve kalibratie en validatie.
- Verdere uitbreiding van het model met mogelijkheden voor de simulatie van andere activiteiten en processen in de binnenstedelijke infrastructurele bouw, zoals de overige ondergrondse nutsvoorzieningen en de bovengrondse infrastructuur. Dit kan ondersteund worden met een vernieuwde meer flexibele, modulaire opbouw van de software, waardoor zulke toevoegingen gemakkelijker en sneller in het simulatiemodel geïmplementeerd kunnen worden.

7.3 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van dit onderzoek bediscussieerd. Hierbij is ten eerste de proceslogica behandeld waarna het ontwikkelde simulatiemodel aan de orde is gekomen. Beide resultaten zijn geëvalueerd op validiteit en toepassingen. Daarnaast is de stand van zaken van de ontwikkeling van het simulatiemodel gepresenteerd en is een toekomstvisie voor het model gepresenteerd.

De proceslogica geeft een accurate beschrijving van het uitvoeringsproces van rioleringsprojecten. Toepassingen van deze logica zijn procesmatig calculeren en voorbereiden van de uitvoering van rioleringsprojecten, het optimaliseren van de uitvoeringsplanning van deze projecten en het opleiden van personeel.

Het ontwikkelde simulatiemodel genereert valide resultaten bij de simulatie van rioleringsprojecten. Dit model kan ingezet worden voor het maken van afwegingen bij het opstellen van de uitvoeringsplanning door simulaties uit te voeren voor de alternatieven. Daarnaast kan het model ingezet worden voor communicatie met ketenpartners en stakeholders.

Dit onderzoek heeft beoogd een valide simulatiemodel te ontwikkelen. Uit de stand van zaken van het huidige simulatiemodel blijkt dat dit gelukt is maar dat er op andere vlakken ruimte voor verbetering is. Zo kan de gebruiksvriendelijkheid en flexibiliteit van het model nog verbeterd worden. Op basis hiervan is gebleken dat verdere ontwikkeling vereist is om een nuttig en goed inzetbaar beslissingsondersteunend hulpmiddel te realiseren. Om dit te bereiken is een toekomstvisie gepresenteerd met verschillende oplossingsrichtingen.

8 Conclusies en aanbevelingen

In dit verslag is de uitvoering van het onderzoek naar de ontwikkeling van een simulatiemodel voor binnenstedelijke rioleringsprojecten behandeld. Dit onderzoek heeft verschillende producten opgeleverd. Ten eerste de gevalideerde proceslogica en key parameters voor de uitvoering van de rioleringsprojecten. Daarbij zijn ook de beslissingscriteria en keuzemogelijkheden van de aannemer in kaart gebracht en resourcescenario's geïdentificeerd. Daarnaast zijn conceptuele modellen opgesteld op basis van de proceslogica. Ten slotte is een simulatiemodel ontwikkeld dat de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten simuleert aan de hand van ingegeven parameters. Op basis van dit onderzoek en de ontwikkelde producten kunnen enkele conclusies en aanbevelingen gemaakt worden. Hiervoor worden eerst de onderzoeksvragen beantwoord.

8.1 Beantwoording onderzoeksvragen

Bij het opstellen van het onderzoeksplan zijn drie centrale onderzoeksvragen opgesteld, welke tijdens dit onderzoek zijn beantwoord. Deze antwoorden worden hier gepresenteerd.

Hoe ziet een beschrijvend model van het uitvoeringsproces van binnenstedelijke rioleringsprojecten eruit?

De proceslogica van het uitvoeringsproces van rioleringsrenovatie bestaat uit vier subprocessen, te weten: verwijderen wegverharding, renovatie hoofdriool, renovatie aansluitingen, aanbrengen wegverharding. De subprocessen worden cyclisch uitgevoerd per wegvak tot het gehele project voltooid is. Deze subprocessen bestaan elk uit één of meerdere activiteiten. De uitvoering en duur van elk van deze activiteiten is afhankelijk van diverse parameters. Er zijn vier verschillende resourcescenario's welke verschillen qua ingezette resources, van één werkploeg die al het werk doet tot specifieke werkploegen per subproces.

Voor de uitvoering van een project heeft de aannemer verschillende mogelijkheden om de planning te optimaliseren. Zo kan een aannemer kiezen uit verschillende resourcescenario's en afwegingen maken. Deze optimalisaties hebben als einddoel het maximaliseren van de winst door het verlagen van de kosten. Daarbij richten deze optimalisaties zich bijvoorbeeld op het verkorten van de uitvoeringstijd van een project en maximalisatie van de inzet van resources. Deze optimalisaties zijn gebonden aan de projectkenmerken en eisen vanuit de opdrachtgever.

Hoe kan de uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten gesimuleerd worden?

Het ontwikkelde programma bestaat uit een simulatiemodel die de werkelijkheid nabootst met daaromheen een softwareschil die de uitvoering van de simulatie en het experiment mogelijk maakt. Het simulatiemodel modelleert de uitvoering door een project op te knippen in wegvakken van één streng rioolbuizen of één rioolput. Voor elk van deze wegvakken worden de vereiste subprocessen van de proceslogica gesimuleerd. Samen vormen deze afzonderlijke simulaties van de uitvoering van wegvakken de simulatie van het gehele rioleringsproject. Het model simuleert de uitvoering van een rioleringsproject aan de hand van ingevoerde geometrische projectgegevens en gebruikersinstellingen. Belangrijke eisen aan het simulatiemodel vanuit praktijkdeskundigen zijn snel en eenvoudig gebruik van het simulatiemodel qua invoer en simulatie, en overzichtelijke presentatie van de resultaten.

Hoe betrouwbaar is het simulatiemodel als controlemiddel van de uitvoeringsplanning?

Uit verificatie van het simulatiemodel kan geconcludeerd worden dat de relevante proceslogica, parameters en visuele modellen in het simulatiemodel verwerkt zijn. De delen hiervan die niet in het model zijn verwerkt zijn niet of weinig van invloed op de simulatie van het proces, of komen alleen in uitzonderlijke gevallen voor.

Uit de case studies bleek dat het simulatiemodel kwalitatief valide resultaten oplevert voor deze cases. Zo levert het model valide resultaten voor het basisproces en bij de verschillende uitbreidingsmogelijkheden hierop, de resourcescenario's en variaties in de geometrische projectgegevens. Wel bleek bij de simulatie van het project bedrijvenpark A1 Deventer dat de praktijk weerbarstiger is dan de theorie. Zo bleek bij het verzamelen en invoeren van de projectgegevens van het project de geometrische projectgegevens niet altijd overeenkomen met de in wegsecties opgedeeld simulatie. Ook zijn de resultaten van het simulatiemodel weinig relevant zodra andere niet-rioolgerelateerde activiteiten van invloed zijn op het uitvoeringsproces van deze activiteiten. Flexibiliteit in de omgang met zulke activiteiten is dan ook gewenst. Kwantitatieve validatie van het model is niet uitgevoerd.

8.2 Conclusies

Op basis van de resultaten van dit onderzoek, de discussie daarvan en de beantwoording van de onderzoeksvragen kunnen diverse conclusies geformuleerd worden. Ten eerste worden de belangrijkste conclusies op basis van de resultaten van dit onderzoek en de toepassingsmogelijkheden daarvan behandeld. De resultaten van dit onderzoek zijn de proceslogica en het simulatiemodel dat op basis daarvan is ontwikkeld. Vervolgens wordt gereflecteerd op het onderzoeksdoel.

8.2.1 Proceslogica rioleringsprojecten

De tijdens dit onderzoek opgestelde proceslogica is een stapsgewijze procesbeschrijving uitvoering rioleringsprojecten met bij elke stap de bijbehorende parameters. Daarnaast zijn de optimalisatiemogelijkheden van aannemers in kaart gebracht.

Proceslogica

- De proceslogica van het uitvoeringsproces van rioleringsrenovatie bestaat uit vier subprocessen: verwijderen wegverharding, renovatie hoofdriool, renovatie aansluitingen, aanbrengen wegverharding.
- Deze subprocessen bestaan elk uit één of meerdere activiteiten, waarbij enkele activiteiten optioneel voorkomen afhankelijk van het project.
- Deze subprocessen worden cyclisch uitgevoerd per wegvak tot het gehele project voltooid is.
- De uitvoering en duur van elk van de activiteiten is afhankelijk van diverse geometrische projectgegevens.
- Er zijn vier veel toegepaste resource scenario's voor de uitvoering, welke verschillen qua ingezette resources, van één werkploeg die al het werk doet tot specifieke werkploegen per subproces.
- Voor de uitvoering van een project heeft de aannemer verschillende mogelijkheden om de planning te optimaliseren. Zo kan een aannemer kiezen uit de verschillende resource scenario's en afwegingen maken.
- Deze optimalisaties hebben als doel het maximaliseren van de winst door het verlagen van de kosten. Daarbij richten deze optimalisaties zich op het verkorten van de uitvoeringstijd van een project en maximalisatie van de inzet van resources.

De proceslogica kan op verschillende manieren toegepast worden om bij te dragen aan het onderzoeksdoel of om op andere wijze winst te behalen.

Toepassingen

- De proceslogica kan ingezet worden voor het faciliteren van een procesmatige calculatie en werkvoorbereiding door het stapsgewijs volgen van de logica.
- Daarnaast kan de planning en uitvoering van een project geoptimaliseerd worden, bijvoorbeeld met door het uitvoeren van alternatieve simulaties van de uitvoering van het project.
- Ook kan met behulp van de logica gezocht worden naar optimalisaties in de uitvoering van rioleringsprojecten op strategisch niveau.
- Ten slotte kan de logica ingezet worden voor diverse opleidingsdoeleinden.

8.2.2 Simulatiemodel

Op basis van de proceslogica is een simulatiemodel ontwikkeld dat de uitvoering van rioleringsprocessen kan simuleren. Het simulatiemodel is zover ontwikkeld dat kwalitatief valide simulaties van de uitvoering van rioleringsprojecten gegenereerd kunnen worden. Het model is echter nog niet voltooid, er dient verdere ontwikkeling plaats te vinden om het volledige potentieel van het model te realiseren. De werking van het simulatiemodel kan door middel van de volgende conclusies samengevat worden.

Simulatiemodel

- Het ontwikkelde programma bestaat uit een simulatiemodel dat de werkelijkheid nabootst met daaromheen een softwareschil die de uitvoering van de simulatie en het experiment mogelijk maakt.
- Voor een simulatie wordt een project opgeknipt in wegvakken van één streng rioolbuizen of één rioolput. Voor elk van deze wegvakken worden de vereiste subprocessen van de proceslogica gesimuleerd. Samen vormen deze afzonderlijke simulaties van de uitvoering van wegvakken de simulatie van het gehele rioleringsproject.
- Het model simuleert de uitvoering van een rioleringsproject aan de hand van door de gebruiker ingevoerde geometrische projectgegevens en gebruikersinstellingen.
- Belangrijke eisen aan het simulatiemodel vanuit praktijkdeskundigen zijn snel en eenvoudig gebruik van het simulatiemodel qua invoer en simulatie, en overzichtelijke presentatie van de resultaten.

Dit simulatiemodel kan op verschillende manieren toegepast worden om bij te dragen aan het onderzoeksdoel of om op andere wijze winst te behalen.

Toepassingen

- Het simulatiemodel biedt verschillende mogelijkheden voor het optimaliseren van de uitvoeringsplanning. Deze optimalisaties kunnen bereikt worden door analyse van alternatieve simulaties van een project en kunnen zich richten op:
 - De keuze van het resource scenario
 - Optimalisatie van uitvoeringskeuzes zoals fasering, aantallen resources, inzetmomenten van resources en uitvoeringstechnieken
 - Het identificeren en omgaan met risico's door analyse van wat-als scenario's.
 - Het optimaliseren van lean bouwen door het minimaliseren van resource stilstand en de afstemming van werkzaamheden met onderaannemers en ketenpartners.
- Het simulatiemodel kan ook ingezet worden voor communicatiedoelinden.
 - Ten eerste kunnen simulaties en visualisaties van de uitvoering van een project ingezet worden voor communicatie met onderaannemers en ketenpartners. Zo kan een eenduidige visie van de uitvoering gerealiseerd worden bij alle betrokkenen in de uitvoering van het project. Hierdoor worden conflicten, risico's en raakvlakken tijdig geïdentificeerd.
 - Daarnaast kunnen de simulaties en visualisaties ingezet bij een aanbesteding om een goed beeld te geven van het beoogde uitvoeringsproces aan een opdrachtgever.
 - Ten slotte kan dit ingezet worden voor communicatie met opdrachtgevers en overige stakeholders om deze te informeren over de werkzaamheden en zodoende begrip te creëren.

Ter controle van de van het simulatiemodel, en daarmee de proceslogica, zijn twee case studies uitgevoerd. Daarnaast is de stand van zaken van het simulatiemodel beoordeeld op basis van deze case studies.

Stand van zaken simulatiemodel

- Het model simuleert de uitvoering van rioleringsprojecten kwalitatief valide, analyse van de kwantitatieve validiteit van het model dient nog plaats te vinden en is grond voor verder onderzoek.
- De flexibiliteit van het model in omgang met afwijkingen van de geïdentificeerde proceslogica en niet rioleringsgerelateerde activiteiten is laag. Indien deze afwijkingen of activiteiten voorkomen zijn de simulaties mogelijk niet kwalitatief valide.
- De gebruiksvriendelijkheid van het model laat door de huidige invoermethode en experimentmethode nog te wensen over. Ook de presentatie van de resultaten biedt ruimte voor verbetering.

Om de inzetbaarheid van het simulatiemodel te vergroten dienen de tekortkomingen qua validiteit, flexibiliteit en gebruiksvriendelijkheid verholpen te worden. Speerpunten hiervoor zijn een snelle en gemakkelijke gegevensinvoer en uitvoering van simulaties, overzichtelijke presentatie van de resultaten en het verder valideren van de betrouwbaarheid van het model.

8.2.3 Onderzoeksdoel

Het doel van dit onderzoek was als volgt geformuleerd: *“Bijdragen aan een meer gestandaardiseerde analytische werkwijze van planning en werkvoorbereiding van binnenstedelijke rioleringsprojecten door het verder ontwikkelen van het bestaande simulatiemodel tot een beslissingsondersteunend hulpmiddel voor het planning- en werkvoorbereidingproces van deze projecten.”*

Concluderend kan gesteld worden dat dit onderzoek in de vorm van de proceslogica bijdraagt aan een meer gestandaardiseerde analytische werkwijze van planning en werkvoorbereiding van binnenstedelijke rioleringsprojecten. De proceslogica heeft diverse toepassingsmogelijkheden die deze bijdrage realiseren. De implementatie hiervan in het simulatiemodel vormt een verdere toepassing voor het in praktijk brengen van deze werkwijze. Met het ontwikkelen van dit simulatiemodel is de basis gelegd van het beoogde beslissingsondersteunende hulpmiddel. Met de toekomstvisie van het simulatiemodel kan deze tool verder ontwikkeld worden tot een waardevolle toevoeging aan het planning- en werkvoorbereidingproces.

Hiermee stimuleert dit onderzoek verdere professionalisering bij de opdrachtgever door handvatten aan te reiken voor een procesmatige en analytische werkwijze, daarnaast wordt verder onderzoek naar een simulatiemodel van volledige binnenstedelijke gebiedsrenovatie gestimuleerd.

8.3 Aanbevelingen

Op basis van de conclusies worden enkele aanbevelingen gedaan. Deze aanbevelingen aan de opdrachtgever en aan de wetenschap, gaan in op mogelijk te nemen stappen op basis van dit onderzoek. Door de aard van het onderzoek richten deze aanbevelingen zich voornamelijk op onderwerpen voor vervolgonderzoek.

8.3.1 Dura Vermeer

Op basis van dit onderzoek kunnen verschillende aanbevelingen gedaan worden aan de opdrachtgever. Deze worden in onderstaand kader gepresenteerd en vervolgens verder uitgewerkt.

Aanbevelingen aan de opdrachtgever:

Op basis van dit onderzoek kunnen verschillende aanbevelingen worden gedaan:

- Implementeer de proceslogica als basis stappenplan voor procesmatig werken bij de calculatie en werkvoorbereiding van rioleringsprojecten, bijvoorbeeld via het DVI Managementsysteem 2.0.
- Onderzoek mogelijkheden voor strategische optimalisaties in de uitvoering van rioleringsprojecten
- Blijf betrokken bij de verdere ontwikkeling van het simulatiemodel via de stichting Pioneering.

Zoals aangegeven in het onderzoekskader wordt bij het huidige calculatieproces en bij de werkvoorbereiding gewerkt op basis van kenniservaring alleen. Er is gesteld dat dit suboptimaal is. De proceslogica kan ingezet worden als template voor de uitvoering van deze projecten en daarmee voor stapsgewijze calculatie en werkvoorbereiding. Door de uitvoering van een rioleringsproject activiteit voor activiteit te benaderen tijdens de calculatie en werkvoorbereiding, kan voor welke activiteit de duur en de kosten bepaald worden. Dit door voor elke activiteit te bepalen wat de invloed is van de verschillende van belang zijnde parameters op deze duur en kosten. Samengevoegd leveren de duur en kosten van deze afzonderlijke activiteiten een totaal op per subproces. Samengevoegd leveren de subprocessen een totaalplaatje voor het hele project. Werken volgens deze methode levert waarschijnlijk een meer accuraat beeld van het project dan op basis van globale aannames op basis van kenniservaring. Daarnaast neemt de kans op het missen van kostenposten en risico's af.

Naast het verbeteren van de prestaties op projectniveau kan op strategisch niveau gezocht worden naar optimalisaties op het domein van rioleringsprojecten. Hierbij dient de proceslogica, als template van de huidige werkwijze en gemaakt afwegingen, als startpunt voor verbetering. Het procesmatig calculeren op basis van de proceslogica is een voorbeeld van zo een strategische procesoptimalisatie. Hiernaast kunnen bijvoorbeeld de huidige uitvoeringsprocessen en daarbij gesignaleerde knelpunten geanalyseerd worden. Op basis hiervan kunnen mogelijk procesverbeteringen geïnitieerd worden.

Verdere ontwikkeling van het simulatiemodel kan een tool opleveren die van grote waarde is voor het plannings- en werkvoorbereidingsproces. Voor het realiseren van deze waarde is echter wel een match vereist tussen de vanuit de praktijk gevraagde tool en de geleverde tool. Deze match is niet vanzelfsprekend en daarom is het aan te raden een proactieve houding te nemen door invloed uit te oefenen op de verdere ontwikkeling.

8.3.2 Wetenschap

Op basis van dit onderzoek kunnen verschillende aanbevelingen gedaan worden voor vervolgonderzoek. Deze worden in onderstaand kader gepresenteerd en vervolgens verder uitgewerkt.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

- Inventariseer de proceslogica, resource scenario's, afwegingen en procesoptimalisaties bij verschillende aannemers, deze zouden per aannemer kunnen verschillen.
- Onderzoek de kwantitatieve validiteit van het simulatiemodel
- Onderzoek naar de invloed van de uitvoering van niet-rioolgerelateerde activiteiten op de opgestelde proceslogica.
- Ontwikkel het simulatiemodel verder door:
 - Implementatie van een flexibelere opbouw van het simulatiemodel.
 - Verbetering van het gebruiksgemak door geautomatiseerde modelinvoer en uitvoering van experimenten en door verbeterde weergave van simulatieresultaten.
 - Uitbreiding van het model door toevoeging van meer proceslogica zoals werk aan overige nutsvoorzieningen en bovengrondse bouwactiviteiten.
- Toets de toepasbaarheid & effectiviteit van het model en mogelijkheden tot verbetering door toepassing van het model op meerdere projecten en overleg met praktijkdeskundigen.

De huidige proceslogica is opgesteld aan de hand van enkele projectbezoeken en interviews met enkele praktijkdeskundigen bij de opdrachtgever. Ter verdere validatie en uitwerking van de proceslogica zou deze geïnventariseerd kunnen worden bij één of meerdere andere aannemers. Vooral de resourcescenario's, afwegingen en procesoptimalisaties zouden per aannemer kunnen verschillen. Daarnaast zou de invloed van de uitvoering van niet rioolgerelateerde activiteiten op de opgestelde proceslogica onderzocht kunnen worden. Deze invloed is tijdens dit onderzoek niet onderzocht.

De kwalitatieve validatie in dit onderzoek heeft zich gericht op de correctheid van de uitvoeringsvolgorde van de verschillende activiteiten. De duur van deze activiteiten is echter niet gevalideerd. Voordat toepassing van het model mogelijk is dient het eerst kwantitatief gevalideerd te worden om de betrouwbaarheid van het model te garanderen. Dit behelst de controle van de correctheid van de gebruikte kengetallen en de calculatiemethodes van het simulatiemodel.

Dit onderzoek heeft zich uitsluitend gericht op de proceslogica van rioleringsprojecten en derhalve alleen op werkzaamheden die betrekking hebben op de riolering en wegverharding. Bij de case studies bleek echter dat tijdens rioleringsprojecten andere werkzaamheden plaats kunnen vinden welke van invloed zijn op de rioleringswerkzaamheden. Voorbeelden van deze activiteiten zijn werkzaamheden aan de overige (ondergrondse) infrastructuur, grondverzet en bovengrondse bebouwing. De raakvlakken tussen deze verschillende werkzaamheden kunnen onderzocht worden. Het uiteindelijke doel hiervan kan zijn het toevoegen van functionaliteit aan het simulatiemodel om deze werkzaamheden ook te kunnen simuleren.

Daarnaast kunnen er verschillende aanbevelingen gedaan worden voor een vervolg van de ontwikkeling van het simulatiemodel, deze volgen uit de geschetste toekomstvisie.

De eerste stap zou zich bij voorkeur richten op het implementeren van een nieuwe opbouw van het simulatiemodel die de simulatie van nieuwe scenario's eenvoudiger maakt. Constraint-based programming of het gebruik van event scenario's zijn mogelijke opties voor zo'n opbouw. Dit maakt het implementeren van nieuwe scenario's of het uitbreiden van de simulatie met andere niet-rioolgerelateerde proceslogica veel eenvoudiger. Dit zou bij voorkeur de eerste stap moeten zijn, aangezien hierbij de basis van het simulatiemodel aangepast wordt, waarna andere aanpassingen mogelijk opnieuw geïmplementeerd zouden moeten worden.

Een ander belangrijk speerpunt bij verdere ontwikkeling is het gebruiksgemak. Deze aanpassingen richten zich op uitbreiding van de softwareschil om het simulatiemodel heen. Hierbij zou de invoeren van alle parameters van het model eenvoudiger en sneller gemaakt kunnen worden.

Ook zou experimenteren met het simulatiemodel geautomatiseerd kunnen worden, zodat het model automatisch meerdere alternatieve simulatieruns uitvoert op basis van het geselecteerde experiment. Ten slotte kan de weergave van de resultaten verbeterd worden door toevoeging van alternatieve uitvoerweergaves en verbetering van de huidige uitvoer. Deze aanpassingen brengen het model niet alleen

dichter bij gebruik in de praktijk. Ook verder onderzoek en ontwikkeling aan het model wordt hierdoor eenvoudiger, doordat testruns van het model sneller uitgevoerd en eenvoudiger beoordeeld kunnen worden. Ten slotte zou het model verder uitgebreid kunnen worden. Hierbij kunnen de bestaande abstracties weggenomen worden door toevoeging van extra rioleringsgerelateerde proceslogica aan het model. Daarnaast kan proceslogica toegevoegd worden van andere processen zoals werk aan overige nutsvoorzieningen en bovengrondse bouwactiviteiten. Hiertoe zou de proceslogica van deze processen en de invloed van de verschillende processen op elkaar in kaart gebracht moeten worden. Ook het implementeren van hoeveelhedencalculatie op basis van de modelinvoer behoort tot de mogelijkheden. Evenals het opstellen van een definitieve planning op basis van de balkenplanning van het simulatiemodel.

Bij het huidige onderzoek is de toepassing van het model op slechts één project uitgevoerd. Hierbij zijn de kwalitatieve resultaten van het model geëvalueerd, en is het potentiële nut in kaart gebracht. Na verdere ontwikkeling van het model zou onderzocht kunnen worden in hoeverre de resultaten praktijkdeskundigen daadwerkelijk ondersteunen bij het nemen van beslissingen m.b.t. planning en werkvoorbereiding. Daarbij zou ook geïnventariseerd kunnen worden welke mogelijke uitbreidingen qua proceslogica en softwaremogelijkheden deze praktijkdeskundigen graag zouden zien.

Om het model uit te rollen als een succesvol beslissingsondersteunend hulpmiddel is een match tussen wat de markt vraagt en hetgeen geleverd wordt nodig. Daarom is tijdens de verdere ontwikkeling inspraak en feedback van praktijkdeskundigen van fundamenteel belang om het model tot een succes te maken.

8.4 Beperkingen

De bovengenoemde conclusies en aanbevelingen zijn gemaakt op basis van de resultaten van dit onderzoek. Dit onderzoek is uitgevoerd binnen een beperkte scope en met een beperkte hoeveelheid gegevens en kent daardoor diverse beperkingen. De belangrijkste beperkingen van dit onderzoek worden hier weergegeven.

Abstracties

Bij het opstellen van de proceslogica is een abstractie van de werkelijkheid ontstaan, hetzelfde heeft plaatsgevonden bij het opstellen van de conceptuele modellen en bij het ontwikkelen van het simulatiemodel heeft verdere abstractie plaatsgevonden. Het is namelijk vrijwel altijd te tijdrovend, duur of onmogelijk om de werkelijkheid volledig in een simulatiemodel te vangen. Ondanks de abstracties dient het model wel voldoende accuraat te zijn om aan de doelstelling te voldoen. Op het moment dat een abstractie van invloed is op het gebruik of de uitkomsten van het model dient deze daarom bekend te zijn bij de gebruiker. De abstracties zijn bijgevoegd in het bijlagendossier in paragraaf 6.5.

Proceslogica

Voor het opstellen van de proceslogica is gebruik gemaakt van verschillende bronnen om de validiteit te optimaliseren. De aantallen van deze bronnen zijn echter beperkt gehouden vanwege de scope van het onderzoek. Er zijn drie interviews gehouden met praktijkdeskundigen en drie projectbezoeken gepleegd. Deze hebben zich vooral gericht op de uitvoeringsfase, mede door de functie van de geïnterviewden, namelijk: projectcoördinator, hoofduitvoerder en uitvoerder. Ten slotte heeft de validatie van deze proceslogica plaatsgevonden door discussie met dezelfde praktijkdeskundigen.

Daarbij zijn deze interviews en projectbezoeken allen uitgevoerd bij DVI Oost. Uit vergelijking van de theorie (ONRI-werkgroep Riolering, 2009) met de praktijk blijkt dat het uitvoeringsproces met de subprocessen, processtappen en de gebruikte resources generaliseerbaar zijn voor Nederland. Of de procesoptimalisaties ook generaliseerbaar zijn is tijdens dit onderzoek niet onderzocht.

Simulatiemodel

Het simulatiemodel is ontwikkeld op basis van de proceslogica en kent daarom dezelfde beperkingen. Daarnaast waren er bij DVI Oost geen kengetallen beschikbaar voor de duur van activiteiten. Deze zijn daarom vergaard van bouwkostenonline.nl (Archidat, 2013) en van gwwkosten.nl (Sdu uitgever, 2013). De correctheid van deze kengetallen is niet verder geëvalueerd.

Kwalitatieve validatie van het model heeft plaatsgevonden bij twee case studies waarvan één een fictief project betrof en één echt project. Vanwege de beperkte tijd is niet het volledige project gevolgd of geëvalueerd. In plaats daarvan zijn de resultaten die het simulatiemodel genereerde voor de simulatie van het project bediscussieerd met bij het project betrokken praktijkdeskundigen. Ten slotte is vanwege de beperkte scope van dit onderzoek de kwantitatieve validiteit van het model niet onderzocht.

Bibliografie

- Aboma. (2009). *Toolbox Grondwerk, Putten en Sleuven*. Ede: Aboma.
- AbouRizk, S., Halpin, D., Mohamed, Y., & Hermann, U. (2011). Research in modeling and simulation for improving construction engineering operations. *Journal of construction engineering and management*, 843-852.
- Archidat. (2013, 1). *Civiele techniek*. Opgeroepen op 14, 2013, van bouwkosten online: <http://bouwkosten-online.nl/>
- Baarda, D. B., & de Goede, M. P. (1997). *Basisboek Methoden en Technieken - praktische handleiding voor het opzetten en uitvoeren van onderzoek*. Houten: Educatieve Partners Nederland BV.
- Campbell, K., Clegg, D. R., Perera, T., Stephenson, P., & Stevens, A. (1997). Simulation in the construction industry - A case-study review. *13th annual ARCOM conference* (pp. 408-425). Cambridge: Association of Reserachers in Construction Management.
- Centrum voor Ondergronds Bouwen. (2011a). *Processen*. Opgeroepen op april 4, 2012, van Centrum voor Ondergronds Bouwen: <http://www.cob.nl/over-ondergronds-bouwen/kennisgebieden/processen.html>
- Centrum voor Ondergronds Bouwen. (2011b). *Procesverbetering projecten*. Opgeroepen op april 3, 2012, van Centrum voor Ondergronds Bouwen: <http://www.cob.nl/onderzoek/ordening-en-ondergrond/procesverbetering-projecten.html>
- Cha, J.-H., Roh, M.-I., & Lee, K.-Y. (2010). Integrated simulation framework for the process planning of ships and offshore structures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 430-453.
- Chen, H.-M., & Huang, P.-H. (2013). 3D AR-based modeling for discrete-event simulation of transport operation in construction. *Automation in Construction*, 123-136.
- Cobouw. (2011, oktober 7). *Sleufloos renoveren van riool weinig populair*. Opgeroepen op april 11, 2012, van Cobouw : <http://www.cobouw.nl/nieuws/algemeen/2011/10/07/sleufloos-renoveren-van-riool-weinig-populair>
- CROW. (2010). *Regie in de ondergrondse infrastructuur*. Ede: CROW.
- CROW. (2012). *Hardlopen, doodlopen? Verkenning van urgentie en procesoplossingen voor tijdsdruk in de infrastructurele bouw*. Ede: CROW.
- Dura Vermeer. (2013, april 4). *Over ons*. Opgehaald van Dura Vermeer Divisie Infra: http://infra.duravermeer.nl/over_ons
- Faculteit Bouw/Infra Utwente. (2010). *Annual report*. Enschede: Faculteit Bouw/Infra Utwente.
- Glaubitz, F., Klein Kranenbarg, A., & Wolbers, E. (2012, Mei 2). Oriëntatie rioleringsprojecten. (S. Hoitema, Interviewer)
- Halpin, D. W., & Riggs, L. S. (1992). *Planning and analysis of construction operations*. New York: John wiley & sons.
- Hartmann, T., & Fischer, M. (2009). Implementing Information Systems with Project Teams Using Ethnographic-Action Research. *Advanced Engineering Informatics*, 57-67.
- König, M. (2011). Robust Construction Scheduling Using Discrete-Event Simulation. *Computing in civil engineering*, 446-453.
- Lee, D.-E., & Arditi, D. (2006). Automated Statistical Analysis in Stochastic Project Scheduling Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 268-277.
- Marzouk, M., Abdallah, M., & El-Said, M. (2010). Modeling Microtunneling Projects using Computer Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 670-682.
- Miller, S., & Dorée, A. (2008). Improving logistics in the asphalt paving process - what can we learn from the planner's logic? *24th Annual ARCOM Conference* (pp. 381-390). Cardiff: Association of Researchers in Construction Management.
- Min, F.-Y., Yang, M., & Wang, Z.-C. (2010). Knowledge-based method for the validation of complex simulation models. *Simulation Modelling Practice and theory*, 500-515.
- ONRI-werkgroep Riolerings . (2009). *Module riolerings voor het HBO*. Den Haag: KIVI-NIRIA.
- Page, B., & Kreutzer, W. (2005). *The Java Simulation Handbook - Simulationg Discrete Event Systems with UML and Java*. Aachen: Shaker Verlag GmbH.
- Petri, C. A. (1997). Modeling as a communication discipline in measuring. *Modeling and evaluationg computer systems*.
- Rekapalli, P. V., & Martinex, J. C. (2011). Discrete-Event Simulation-Based Virtual Reality Environments for Construction Operations: Technology Introduction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 214-224.

- Ruwanpura, J. Y., & Ariaratnam, S. T. (2007). Simulation modeling techniques for underground infrastructure construction processes. *Tunneling and Underground space technology*, 553-567.
- Sdu uitgevers. (2013, 1). *gwwkosten*. Opgeroepen op 1 14, 2013, van gwwkosten: <http://www.gwwkosten.nl/kostenkengetallen.aspx>
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter simulation conference* (pp. 7-14). Texas: WSC.
- Stichting Rioned. (2010a). *De openbare ruimte en het riool; een geïntegreerd system*. Ede: stichting Rioned.
- Stichting Rioned. (2010b). *Riolering in Beeld - Benchmark rioleringszorg 2010*. Ede: Stichting Rioned.
- Sun, Z., Lee, L. H., Chew, E. P., & Tan, K. C. (2012). MicroPort: A general simulation platform for seaport container terminals. *Advanced Engineering Informatics*, 80-89.
- Too, E. G. (2008). A Framework for strategic infrastructure asset management. *3rd World Congress on Engineering Asset Management and Intelligent Maintenance Systems Conference*. Beijing: WCEAM_IMS.
- University of Hamburg. (2012, Juni 6). *Home*. Opgehaald van Desmo-J: <http://desmoj.sourceforge.net/home.html>
- Vereniging van Onderzoek Instituten. (1989). *Cursusboek Interviewen*. Amsterdam: VOI.
- VISICO center. (2011a, 8 11). *Mission and method*. Opgeroepen op 3 7, 2012, van VISICO: http://www.utwente.nl/ctw/visico/mission_and_method/
- VISICO center. (2011b, 8 11). *VISICO Projects Binnenstedelijke Rioleringswerken*. Opgeroepen op 3 7, 2012, van VISICO: http://www.utwente.nl/ctw/visico/projects/Current%20PHD%20Research_v30%20aug%20%281%29.doc/binnenstedelijke_rioleringswerk.html

Simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten [Bijlagendossier]

Het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend
planningshulpmiddel.



Colofon

Afstudeeronderzoek

Titel: Simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten
Subtitel: Het ontwikkelen van een beslissingsondersteunend planningshulpmiddel.
Instelling: Universiteit Twente, faculteit Construerende Technische Wetenschappen.
Studie: Master Construction Management & Engineering
Bedrijf: Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost

Begeleiders: prof. dr. ir. A.G. Dorée (Universiteit Twente)
dr. ir. T. Hartmann (Universiteit Twente)
ing. P. J. H. Staats (Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost)

Student: S. Hoitema Bsc.
Studentnummer: s0125970
Mobiel: 06 – 13 47 86 01
Email: s.hoitema@student.utwente.nl

Rapport

Onderdeel: Bijlagendossier afstudeerscriptie
Status: Definitief
Datum: 19 november 2013

Contactgegevens

Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen - Civiele Techniek, Afd. Bouw/Infra
Postbus 217
7500 AE Enschede

Dura Vermeer
Divisie Infra BV - Afd. Infrastructuur BV Oost
Bosmaatweg 60
7556 PJ Hengelo

Afstudeercommissie

prof. dr. ir. A.G. (André) Dorée
dr. ir. T. (Timo) Hartmann
ing. P. J. H. (Peter) Staats

Universiteit Twente
Universiteit Twente
Dura Vermeer Infrastructuur BV Oost

Versiebeheer

Versie 1.0	21 mei 2013	1 ^e concept ingediend
Versie 2.0	19 november 2013	2 ^e concept ingediend
Definitief	19 november 2013	Definitieve versie ingediend

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Theorie.....	5
2.1 Riolering.....	5
2.2 Simulatiemodel ontwikkeling	5
2.3 Gebruikte tools	7
3. Interviews	11
4. Systeem identificatie	13
4.1 Proceslogica rioleringsprojecten	13
4.2 Samenvatting.....	19
5. Conceptuele modellen	20
5.1 Inleiding	20
5.2 Modellen.....	20
5.2 Samenvatting.....	28
6. Simulatiemodel.....	29
6.1 Ontwerpafwegingen	29
6.2 Opbouw simulatiemodel	30
6.3 Softwaremodel	32
6.4 Modellering van de werkelijkheid	34
6.5 Abstracties en beperkingen	36
6.6 Gebruiksproces simulatiemodel	40
6.7 Verificatie.....	44
6.8 Parameters simulatiemodel	46
6.9 Samenvatting.....	49
7. Toepassing simulatiemodel	50
7.1 Toepassing fictief project	50
7.2 Toepassing op project bedrijvenpark A1 – Deventer	57
7.3 Samenvatting.....	71
8. Toekomstvisie simulatiemodel.....	72
8.1 Kwantitatieve validatie	72
8.2 Opbouw van het simulatiemodel	72
8.3 Gebruiksgemak.....	73
8.4 Abstracties proceslogica	75
Bibliografie	76

1. Inleiding

Dit dossier vormt de bijlage van het wetenschappelijke onderzoeksrapport van het afstudeeronderzoek: “Simulatie binnenstedelijke rioleringsprojecten”. In dit dossier zijn de bijlagen van dit onderzoek samengevoegd. Het wetenschappelijke rapport bevat de onderzoeksopzet, het onderzoeksproces, de resultaten en de discussie daarvan. Vanuit dat rapport wordt naar dit dossier verwezen voor achtergrond informatie en de uitgebreide resultaten. Voor de volledigheid bevat dit document ook delen die in het wetenschappelijke verslag en het bedrijfsverslag voorkomen.

In hoofdstuk 2 is de uitgevoerde literatuurstudie bijgevoegd. Zo komt het begrip simulatie aan bod, en de voor dit onderzoek gebruikte variant discrete event simulatie. Daarnaast komen de gebruikte tools UML, Java en Desmo-J aan bod. In hoofdstuk 3 komt de volledige samenvatting van de gevoerde interviews aan bod. De geïdentificeerde proceslogica met het proces, de parameters en beslissingscriteria komen aan bod in hoofdstuk 4. De opgestelde conceptuele modellen zijn bijgevoegd in hoofdstuk 5. Het simulatiemodel wordt in detail behandeld in hoofdstuk 6 waarna de toepassing van het model in hoofdstuk 7 behandeld wordt. Ten slotte wordt de toekomstvisie van het simulatiemodel gepresenteerd in hoofdstuk 8.

2. Theorie

Voor aanvang van het praktische deel van het onderzoekswerk is eerst een literatuurstudie uitgevoerd. Deze studie heeft zich gericht op het rioleringsstelsel in Nederland en meer specifiek het binnenstedelijke netwerk en het proces van rioleringsrenovatie. Daarnaast heeft de literatuurstudie zich gericht op simulatiemodel ontwikkeling. Ten slotte is studie verricht naar de voor dit onderzoek gebruikte tools als Java en Desmo-J.

2.1 Riolering

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op het rioleringsstelsel in Nederland en haar technische aspecten. Deze kennis is gebruikt voor het opstellen van de proceslogica van rioleringprojecten. Het Nederlandse rioleringsstelsel is een fijnmazig netwerk, Nederland kent dan ook de hoogste aansluitingsgraad van Europa met 99,8%. Dit betekent wel dat er een zeer uitgebreid netwerk ligt in een relatief klein oppervlak. Dit netwerk wordt gebruikt voor zowel de afvoer van afvalwater en de afvoer van regenwater. Ondanks het zeer uitgebreide netwerk is de riolering de meest stabiele nutsvoorziening met de laagste uitvalduur en kosten (Stichting Rioned, 2010b).

Het rioolstelsel in Nederland is aangelegd onder de Nederlandse wegen. Dit is de meest efficiënte manier om hemelwater af te voeren en het riool is hierdoor gemakkelijk te onderhouden (Stichting Rioned, 2010a). Een gevolg hiervan is dat als men voor onderhoudswerkzaamheden of renovatie de weg open moet breken. Er bestaan wel sleufloze technieken waarbij men niet fysiek bij het riool hoeft te komen. Echter worden deze technieken (nog) nauwelijks toegepast. Bij slechts vijf procent van de rioolrenovatie projecten wordt gebruik gemaakt van sleufloze technieken (Cobouw, 2011). Bij het overgrote deel van de rioolrenovatie projecten wordt de weg dus opgebroken. Dit heeft tot gevolg dat het bovengrondse wegennetwerk en het ondergrondse rioolnetwerk door gemeenten vaak als één geheel onderhouden. Dat levert financiële voordelen op, en zorgt ook voor minder overlast voor burgers en bedrijven (Stichting Rioned, 2010b). Door het renoveren van weg en riool gezamenlijk hoeft de weg namelijk minder vaak opgebroken te worden. Dit heeft echter wel een grotere complexiteit voor de uitvoerende partij als gevolg door de multidisciplinaire aard van het project.

De technische levensduur van riolering in Nederland is gemiddeld ruim 57 jaar. Door een toename in de aanleg van riool na de tweede wereldoorlog is circa 87 % van de huidige riolering in de afgelopen vijftig jaar aangelegd. (Stichting Rioned, 2010b). De projecten ter vervanging of renovatie van het riool nemen toe in lijn met het verouderen van het systeem. In de afgelopen jaren is er dan ook een stijging in vervanging, renovatie en afkoppeling van het rioolsysteem waar te nemen. De verwachting is dat deze stijging zich de komende twee decennia door zal zetten (Oosterom & Langeveld, 2011). Uit de periodieke benchmark rioleringszorg blijkt dat tussen 2006 en 2009 de investeringen in het riool met 5,6 procent gestegen zijn. De vervangingsinvesteringen stegen zelfs met 9 procent.

Uit de benchmark rioleringszorg blijkt verder dat de grootste gemeenten per kilometer buis dertig procent meer investeren dan gemiddeld. Uit uitsplitsing naar stedelijkheid blijkt dat de complexiteit van de stedelijke omgeving voor zeer stedelijke gemeenten tot (veel) hogere vervangingsinvesteringen per km buis leidt. Daarnaast hebben sterk stedelijke gebieden meer gescheiden riolering en dus relatief meer kilometer buis (Stichting Rioned, 2010b). Hieruit kan geconcludeerd worden dat de mate van complexiteit en de multidisciplinaire aard van de projecten direct verband houdt met de kosten. Het managen van deze complexiteit is dan ook zeer belangrijk.

2.2 Simulatiemodel ontwikkeling

Voor het beslissingsondersteunende hulpmiddel wordt gebruik gemaakt van simulatie. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het ontwikkelen van een simulatiemodel, een digitaal model van de werkelijkheid. Het ontwikkelen van een discrete event simulatiemodel vereist verschillende stappen om de werkelijkheid om te zetten in zo'n model. Dit zijn: probleemdefinitie en projectplanning, systeem identificatie en definitie, conceptueel ontwerp, ontwerp, verificatie, implementatie & validatie, experiment ontwerp en ten slotte het uitvoeren en analyseren van de experimenten (Shannon, 1998) (Page & Kreutzer, 2005). Deze stappen komen in dit hoofdstuk aan bod. Naast het model van de werkelijkheid moeten er faciliteiten aanwezig zijn die het

simulatieproces en het experimenteren aan het model mogelijk maken. Deze faciliteiten worden geleverd door het software pakket Desmo-J wat behandeld wordt in de volgende paragraaf.

Probleemdefinitie en projectplanning

Een simulatieproject begint gewoonlijk met een probleem dat opgelost dient te worden, hiervoor dient een probleemdefinitie en projectplanning opgesteld te worden. Shannon (1998) stelt dat deze fase zeer belangrijk is voor het succes van het project. Hiervoor dient het vaak vage probleem geconcretiseerd te worden. Daarbij moet het doel van de simulatiestudie en het op te leveren product vastgesteld worden. Deze fase is beschreven in de onderzoeksopzet.

Systeem identificatie en definitie

Het eigenlijke ontwerp van een simulatiemodel begint met het identificeren en definiëren van het te modeleren systeem. Hierbij moet het systeem in kaart gebracht worden en de systeemgrenzen vastgelegd worden. In deze fase wordt bepaald wat onderdeel is van het systeem en wat er buiten valt. Daarnaast wordt door middel van analyse bepaald hoe het systeem werkt (Shannon, 1998). Hierbij wordt het proces opgedeeld in elementaire processtappen met bijhorende resources. Een beschrijving van zo'n processtap moet duidelijk maken wat er gedaan wordt, hoe dit gedaan wordt en door wie. Dit levert een beschrijving op van het werkproces met de meest elementaire stappen (Halpin & Riggs, 1992).

Conceptueel ontwerp

Het direct omzetten van geïdentificeerde proceslogica, systeembeschrijvingen, observaties en data in een simulatiemodel is erg lastig en vergroot de kans op fouten. Daarom wordt het geïsoleerde systeem eerst vastgelegd als een verzameling objecten, gebeurtenissen en onderlinge relaties die relevant zijn voor het systeem. Deze informatie wordt daarbij verwerkt in een architectuur door middel van visuele, conceptuele modellen van het systeem. Deze modellen zijn een versimpelde weergave van het systeem, dit is nodig omdat het vrijwel altijd onmogelijk of zeer kostbaar is om het echte systeem volledig na te bootsen. Deze versimpeling wordt bereikt door abstractie. Abstractie is de kunst van het modelleren aangezien het doel is om het model zo simpel mogelijk op te stellen zonder benodigde precisie of details daardoor te verliezen (Page & Kreutzer, 2005).

De modellen bevatten zoals gezegd objecten; elementen die door het simulatiemodel passeren zoals wegsecties en resources zoals graafmachines en asfaltfren. Van deze elementen en resources worden de toestanden en het gedrag vastgelegd. De toestand van een asfaltfreesmachine kan bijvoorbeeld actief of passief zijn, van een vrachtwagen geladen of leeg en onderweg of stilstaand. Het gedrag is bijvoorbeeld het frezen van een wegdeel met bepaalde parameters als werksnelheid en werkbreedte. Naast de elementen uit de werkelijkheid bevat het model wachtrijen waarin passieve elementen en resources wachten (Page & Kreutzer, 2005). Zulke modellen kunnen grafisch weergegeven worden door stroomdiagrammen of blokdiagrammen (Shannon, 1998). In dit onderzoek wordt gebruikgemaakt van UML modellen. In deze fase wordt ook rekening gehouden met het type experiment dat met het model uitgevoerd gaat worden. Dit bepaalt welke parameters men wil kunnen aanpassen en welke gegevens gemeten moeten worden (Shannon, 1998).

Model implementatie

Zodra er een conceptueel model van het geïdentificeerde systeem is opgesteld kan dit omgezet worden in een simulatiemodel. Deze stap behelst het omzetten van de conceptuele modellen en de proceslogica naar een uitvoerbaar model in een computertaal, i.e. een computerprogramma (Shannon, 1998). Dit betreft een universele computertaal.

Het computermodel moet niet alleen werkend gemaakt worden, het moet ook gekalibreerd worden zodat het de juiste uitvoer oplevert. Deze kalibratie kan plaatsvinden met behulp van in het echte systeem gemeten gegevens, schattingen van experts of trial & error (Page & Kreutzer, 2005).

Verificatie en validatie

Het doel van het simulatiemodel is het nabootsen van de werkelijkheid om daar experimenten op uit te voeren. Hierbij is het van belang dat het ontwikkelde computermodel ook daadwerkelijk de werkelijkheid nabootst. Het feit dat het programma uitgevoerd kan worden en resultaten oplevert betekent niet dat het model correct is (Shannon, 1998). Ter controle dient het model dan ook geverifieerd en gevalideerd te worden.

Verificatie is het controleren of het model ook daadwerkelijk zo werkt als verwacht en bedoeld, de logica van het model wordt onderzocht. In deze is verificatie het controleren van het model om te controleren dat onderdelen van het model individueel, en samen, goed werken en gebruik maken van de juiste gegevens op het juiste moment. De onderdelen en relaties van het systeem zoals vastgesteld in het conceptueel model dienen hierbij als controlemiddel (Shannon, 1998) en (Page & Kreutzer, 2005).

Nadat geverifieerd is dat het model werkt zoals bedoeld dient het model gevalideerd te worden. Validatie richt zich op de vraag of het model het werkelijke systeem valide nabootst. Validatie controleert of de uitkomsten van het model betrouwbaar zijn. Hiermee wordt gecontroleerd of de toegepaste systeemgrenzen en abstractie bij het ontwikkelen van het simulatiemodel geen onacceptabele fouten in het model hebben veroorzaakt (Shannon, 1998) (Page & Kreutzer, 2005). In deze is verificatie een interne controle waarbij gecontroleerd wordt of het model juist gebouwd is. Ook is validatie een externe controle welke controleert of het juiste model gebouwd is (Shannon, 1998).

Experiment ontwerp

De laatste fase van een simulatieproject is het ontwerpen van het daadwerkelijke experiment. Dit gebeurt op basis van het doel van de simulatie en de opgedane kennis tijdens het ontwikkelingstraject. Het experiment bestaat uit de uitvoering van het ontworpen model met gekozen invoerwaarden voor de parameters waarbij de gewenste gegevens gemeten worden. Het ontwerp van het experiment kan gezien worden als een plan voor het inkopen van een bepaalde hoeveelheid informatie. Het succes van het simulatieproject is grotendeels afhankelijk van een goed ontworpen experiment (Shannon, 1998). Deze stap vormt de voltooiing van het ontwerp van het simulatieprogramma.

Experiment en analyse

In deze fase is het simulatiemodel gereed en kan het gedraaid worden voor het genereren van de gewenste informatie en analyse. In deze fase worden onder andere het benodigde aantal runs van het model en de startcondities van het systeem vastgesteld. Bij systemen die in theorie altijd doorlopen, bijvoorbeeld ziekenhuisopnames, is het nodig om de stabiele staat van het systeem te bepalen (Shannon, 1998). Aangezien rioleringsprojecten een eindconditie kennen is dat in dit geval niet nodig.

2.3 Gebruikte tools

De ontwikkeling van een simulatiemodel vereist het gebruik van verschillende tools. Zo zijn de conceptuele modellen een grafische weergave van het geïdentificeerde systeem. Om grafische modellen logisch en leesbaar te houden is er een algemene modelleringstaal ontwikkeld genaamd UML. Deze taal is gebruikt voor het opstellen van het conceptueel model. Deze taal wordt kort beschreven in dit hoofdstuk.

Voor het vertalen van het conceptuele model in een computerprogramma wordt gebruik gemaakt van verschillende software. Het model wordt geschreven in de programmeertaal Java, de keuze voor deze taal wordt besproken in paragraaf 2.5.2. Binnen Java wordt gebruik gemaakt van het Desmo-J pakket als basis voor de simulatie specifieke taken, dit pakket wordt besproken in paragraaf 2.5.3.

2.3.1 UML

De conceptuele modellen moeten transparant, valide en begrijpelijk zijn, en bij voorkeur gemakkelijk om te zetten in computer implementaties (Page & Kreutzer, 2005). Voor het weergeven van deze modellen wordt daarom gebruik gemaakt van de Unified Modelling Language (UML). Deze modelleringstandaard zal hier kort beschreven worden.

UML is de standaard voor grafische notatie voor objectgeoriënteerd modeleren, en is ontstaan uit een samenvoeging van verschillende notatievormen. UML voorziet in regels en standaarden voor het specificeren, visualiseren, ontwerpen en documenteren van onderdelen van een software systeem (Page & Kreutzer, 2005). Het modeleren is in deze het ontwerpen van software voordat deze geprogrammeerd wordt, waarbij modellen vergeleken kunnen worden bouwtekeningen voor een gebouw. Door het gebruik van een model kan er op een hoger abstractie niveau gewerkt worden doordat details van de programmatuur weggelaten wordt en zodoende het grote plaatje in beeld blijft (Object Management Group, 2012).

UML definieert dertien verschillende soorten diagrammen welke onderverdeeld zijn in drie categorieën. Dit zijn structuurdiagrammen welke de statische structuur weergeven van een object of systeem, gedragdiagrammen die het gedrag van objecten of systemen weergeven en interactiediagrammen welke de communicatie over en weer tussen objecten weergeven (Object Management Group, 2012). In dit onderzoek worden vier soorten diagrammen uit de eerste twee categorieën gebruikt deze worden hieronder kort besproken. De termen class, methode en toestand die hierbij gebruikt worden zullen verder uitgelegd worden in de volgende paragraaf.

Voor het ontwerpen van deze modellen worden eerst alle onderdelen van het betreffende model geïdentificeerd. Daarnaast worden de onderlinge relaties tussen deze onderdelen en de van belang zijnde eigenschappen van deze onderdelen geïdentificeerd. Zodra al deze informatie bekend is kunnen de modellen op basis van deze informatie getekend worden. Dit kan gedaan worden met specifieke software programma's of met universele tekenprogramma's zoals MS Visio.

Statisch structuurdiagram

Een statisch structuurdiagram is een diagram dat wordt gebruikt voor het weergeven van statische systeemstructuren. Hiermee worden de structuren en verbanden van een systeem grafisch gevisualiseerd en gecommuniceerd. Dit diagram geeft de verschillende Java classes weer in een Java package.

Toestandsdiagram

Dit is een gedragdiagram welke wordt gebruikt voor het beschrijven van veranderingen van de toestand van objecten in het bestudeerde systeem. Toestandsdiagrammen beschrijven het gedrag van objecten op basis van een set toestanden die het object kan aannemen. Een object kan door het toepassen van een methode (gedrag) veranderen van toestand. Zo kunnen de levenscycli van objecten weergegeven worden met toestandsdiagrammen.

Activiteiten diagram

Dit diagram is ook een gedragdiagram, dit diagram beschrijft de activiteiten van objecten in het systeem. Waar toestandsdiagrammen de levenscyclus van een object in het systeem weergeven door de doorloop door verschillende staten weer te geven, daar beschouwen activiteiten diagrammen de activiteiten of het gedrag dat objecten vertonen. (Page & Kreutzer, 2005).

2.3.2 Java

Java is de computertaal waarin het simulatiemodel is geschreven. Een computertaal is een syntax die gebruikt wordt om een computerprogramma te schrijven dat door een computer uitgevoerd kan worden. Java is een zogenaamde objectgeoriënteerde programmeertaal, hierbij wordt een programma opgebouwd uit objecten (Page & Kreutzer, 2005). Java is een zeer populaire programmeertaal vanwege diverse eigenschappen die de taal erg gebruiksvriendelijk maken. Mede hierdoor is Java uitgegroeid tot een van de grootste programmeertalen (Oracle, 2012b). Deze eigenschappen kunnen worden samengevat met de volgende woorden: simpel, object georiënteerd, platform onafhankelijk, veilig en robuust (Oracle, 2012a). De keuze voor deze taal is gemaakt omdat deze open source is. Hierdoor hoeft er geen licentie afgenomen te worden door gebruikers. Daarnaast kan door het zelf programmeren in plaats van gebruik te maken van een vast simulatiepakket gemakkelijker aanpassingen gemaakt worden aan de invoer en uitvoer. Ook is de taal relatief gemakkelijk aan te leren. De eigenschappen van Java zullen hieronder kort worden toegelicht.

De Java programmeertaal is een relatief simpele taal die door veel programmeurs gebruikt kan worden en gemakkelijk is aan te leren. Dit komt door dat het een "high-level" programmeertaal is. Dit houdt in dat de taal niet in machinetaal of daar op gelijkende syntax wordt geschreven, die moeilijk te doorgronden is. Java wordt namelijk geschreven in een voor mensen gemakkelijk begrijpbare en aan te leren syntax die ver van de machinetaal af staat. Geschreven programmatuur wordt vervolgens omgezet in uitvoerbare code door een compiler (Gosling & McGilton, 2012).

Java is een object georiënteerde computertaal. Dit houdt in dat een in Java geschreven programma een of meerdere objecten worden gecreëerd die met elkaar het programma vormen, dit heeft diverse voordelen als encapsulation, poly-morphism en inheritance.

De objecten worden gecreëerd op basis van een class, welke dient als een blauwdruk voor het object. Een object gedraagt zich net als een object in de echte wereld, zo heeft elk object methoden en variabelen.

Methoden beschrijven het gedrag van een object, bijvoorbeeld een kraan die een gewicht hijst. Variabelen beschrijven de staat van het object, bijvoorbeeld “aan” of “uit” of de snelheid waarmee een auto zich voortbeweegt. Hieruit volgt dat de methoden er voor zorgen dat de staat van een object verandert. Zo zorgt de methode “remmen” voor een verandering in de staat van het object, namelijk de snelheid van het voertuig. De onderlinge communicatie tussen objecten vindt plaats door middel van berichten, afhankelijk van het ontvangen bericht kiest een object één van zijn methoden om uit te voeren (Gosling & McGilton, 2012).

Encapsulation houdt in dat objecten zijn van elkaar afgeschermd, de staat van uit de objecten kan alleen indirect verkregen worden. Hierdoor kunnen externe objecten de informatie binnen een object niet aanpassen tenzij dit expliciet is toegestaan door de programmeur.

Ook het updaten van de software wordt hierdoor versimpeld aangezien er bij aanpassen van een object alle andere objecten niet aangepast hoeven te worden zolang de onderlinge interface hetzelfde blijft.

Poly-morphism houdt in dat een opdracht die naar een object gestuurd wordt gedrag veroorzaakt dat afhankelijk is van het object. Zo zal de opdracht “aan” bij een mobiele kraan leiden tot het starten van de motor en bij een waterkraan leiden tot het openen van de kraan.

Inheritance zorgt ervoor dat de eigenschappen van een class waarop een nieuwe class is gebaseerd overgedragen worden. Hierdoor hoeven alleen die zaken die de nieuwe class onderscheiden van de bestaande class geprogrammeerd te worden. Hierdoor ontstaat een hiërarchische structuur van classes die gebaseerd zijn op bovenliggende classes met aan de top de class Object, waarop alle classes in Java gebaseerd zijn. Een sub-class kan nieuwe methoden en variabelen toevoegen of methoden van zijn super-class opheffen. Zo kan bij het programmeren van een class zebra de class paard gebruikt worden aangezien een paard veel op een zebra lijkt. De class zebra krijgt dan een extra toestandvariabele “strepen” (Gosling & McGilton, 2012).

Daarnaast kan eerder geschreven code zeer gemakkelijk hergebruikt worden door een bestaand object te kopiëren en alleen die zaken aan te passen die het nieuwe object onderscheiden van het gebruikte object. Zo kunnen snel en simpel vele objecten gegenereerd worden met grotendeels dezelfde functionaliteit.

Voor Java bestaat een uitgebreide bibliotheek waarin geteste objecten aanwezig zijn die gebruikt kunnen worden voor gewenste functionaliteit en waar nodig aangepast kunnen worden (Gosling & McGilton, 2012).

Verschillende eigenschappen van Java zorgen ervoor dat de taal robuust is, waardoor deze weer simpel te programmeren is. Zo worden tijdens het programmeren vele controles uitgevoerd die controleren of de code gecompileerd kan worden. Zo wordt er onder andere gecontroleerd of de syntax juist gebruikt wordt. Een voorbeeld hiervan is de controle of een parameter in een functie ook daadwerkelijk bestaat, en uitleesbaar is voor die functie. Een ander voorbeeld is een semantische check waarbij gecontroleerd wordt of de vorm van input, bijvoorbeeld een integer of booleaans, die een functie vereist hetzelfde is als de input die een parameter geeft (Gosling & McGilton, 2012).

Naast de controles op compileerbaarheid is er ook controle aanwezig voor de uitvoering van het programma. Zo wordt er gecontroleerd of berekeningen geen resultaten opleveren die groter zijn dan dat een register of geheugenpunt aan kan, dit zou namelijk een crash van het programma tot gevolg hebben (Gosling & McGilton, 2012).

Daarnaast is het geheugenmanagement erg simpel, een programmeur hoeft hier niets aan te doen. Zodra een nieuw object wordt gecreëerd tijdens de uitvoering van het programma krijgt dit automatisch geheugen toegekend. Zodra er geen referenties meer zijn naar dit object wordt het geheugen weer opgeschoond. Dit is een groot voordeel ten opzichte van andere “high-level” programmeertalen zoals C++ (Gosling & McGilton, 2012).

Tijdens het compileren (omzetten van programmacode naar een programma) wordt de programma code niet omgezet in code die rechtstreeks door de processor is te begrijpen. De code wordt omgezet tot een class file. Deze file is uitvoerbaar door de Java Virtual Machine (VM). Doordat deze VM beschikbaar is op vele platformen is een geschreven programma te gebruiken op al deze platformen. Er hoeven dus geen verschillende versies van eenzelfde programma geschreven te worden (Oracle, 2012a).

Daarnaast kan Java ook uitgevoerd worden in een webbrowser waarbij het programma dus niet geïnstalleerd hoeft te zijn op de gebruikte computer maar aangeboden wordt vanaf een server. Hierdoor is een programma beschikbaar op elke locatie met een internetverbinding (Gosling & McGilton, 2012).

Voor het programmeren in Java wordt gebruik gemaakt van het programma Eclipse. Dit is een programmeerontwikkeling voor Java.

2.3.3 Desmo-J

Voor het ontwikkelen van het simulatiemodel in Java wordt gebruik gemaakt van het Desmo-J pakket. Desmo-J staat voor Discrete event Simulation and Modelling in Java. Zoals de naam aangeeft is dit pakket gericht op discrete event simulation. Het pakket is een softwareontwikkeling framework voor discrete event simulatie (Page & Kreutzer, 2005). Het te ontwikkelen simulatiemodel zal zodanig geprogrammeerd worden dat het samenwerkt met het Desmo-J pakket. De keuze voor dit pakket en de eigenschappen van het pakket zullen hieronder kort worden toegelicht.

Hierboven zijn al diverse redenen gegeven waarom Java een goede keuze is als programmeertaal voor simulatie. De ontwikkelaars van Desmo-J hadden grotendeels dezelfde redenen om Java te kiezen als platform om het pakket op te ontwikkelen. Zij zien de taal als breed gedragen, robuust en voorzien van alle eigenschappen die nodig zijn voor simulatie (University of Hamburg, 2012) & (Page & Kreutzer, 2005).

Het pakket vult de programmeertaal Java aan met diverse gebruiksklare softwareonderdelen voor het ontwikkelen van discrete event simulatiemodellen. Zo bevat het pakket gebruiksklare classes voor algemene taken zoals wachtrijen, stochastische distributies, random nummer rijen en data collectoren. Daarnaast zijn er abstracte classes aanwezig voor model specifiek gedrag zoals model, gebeurtenis en het simulatieproces. Deze classes zullen door de programmeur zelf gedefinieerd moeten worden voor het systeem onder observatie. Ook bevat het pakket gebruiksklare classes voor de simulatie infrastructuur zoals een gebeurtenissenlijst, een simulatie klok, en functies voor het rapporteren van de resultaten van de simulatie (University of Hamburg, 2012).

Het simulatiemodel en het experimentele deel van het pakket zijn gescheiden van elkaar. Hierdoor is het mogelijk om een experiment meerdere keren uit te voeren op verschillende modellen. Zo kunnen alternatieve strategieën of modellen onder dezelfde omstandigheden getest worden (University of Hamburg, 2012). Voordelen van het gebruik van een simulatie specifiek pakket binnen de universele programmeertaal Java zijn het verminderen van de programmeertaken, en daarmee programmeerfouten, en het automatisch verzamelen van statistische metingen (Shannon, 1998).

3. Interviews

Ter oriëntatie op het probleem zijn er verschillende interviews gehouden met personeel van de probleemeigenaar. Dit zijn individuele interviews geweest met een werkvoorbereider, een projectleider en een uitvoerder. Gezien het oriënterende karakter van de interviews, waarbij echter wel antwoord verkregen diende te worden op specifieke vragen, is er gebruik gemaakt van een halfgestructureerd interview. Dit wil zeggen dat er gebruik is gemaakt van een interviewprotocol met van te voren vastgelegde open vragen, maar met ruimte voor uitdieping en afwijking door de interviewer. De interviews zijn opgesteld aan de hand van het basisboek *Methoden en Technieken* (Baarda & de Goede, 1997) en het cursusboek *Interviewen* (Vereniging van Onderzoek Instituten, 1989). De belangrijkste conclusies van de interviews met betrekking tot het project kader worden hier besproken. Naast de in dit hoofdstuk beschreven conclusies zijn de verzamelde gegevens betreffende de uitvoering gebruikt voor het opstellen van de proceslogica.

Het huidige werkproces bij een rioleringsproject, begint vanaf het verkrijgen van de aanbesteding met het verzamelen van alle benodigde informatie. Deze informatie bestaat onder andere uit de bestaande situatie van het riool, andere kabels en leidingen, het grondpakket en de werkomgeving. Vervolgens wordt op basis van deze informatie een uitvoeringsplan opgesteld. Uit dit plan en het bestek volgt het te bestellen materiaal welke de werkvoorbereider besteld. Ook wordt op basis van het uitvoeringsplan de verwachte productie per dag bepaald. Op basis van deze gegevens wordt een werkbegroting opgesteld voor de uitvoerder met de belangrijkste posten zoals grondverzet, aantal meters buis en de hoeveelheid huisaansluitingen. De uitvoerder controleert deze werkbegroting en na acceptatie wordt de planning voor het project opgesteld. Op basis van deze planning worden de belanghebbenden, zoals de omwonenden geïnformeerd over de planning en fasering waarna de uitvoering aanvangt. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

Voor het opstellen van het uitvoeringsplan, de werkbegroting en de projectplanning wordt geen gebruik gemaakt van hulpmiddelen zoals standaard tabellen of geavanceerde rekenprogramma's. Vanwege het unieke karakter van elk project wordt er volledig gewerkt op basis van praktijkervaring. De vaste strategie bestaat uit het inwinnen van zoveel mogelijk relevante informatie om tot een gefundeerde afweging te komen.

De bestektekeningen worden veelal aangeleverd in PDF of een technisch teken programma zoals AutoCAD. Voor het opstellen van projectplanningen wordt gebruik gemaakt van MS Project. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

De belangrijkste problemen waar men tegen aanloopt bij de projecten hebben vooral betrekking op de uitvoering. Deze problemen bestaan voornamelijk uit omgevingsgerelateerde problemen, en beperkingen vanuit de opdrachtgever. Onder omgevingsgerelateerde problemen vallen onder andere (onbekende) kabels en leidingen, beperkte werkruimte en de tijdelijke afvoer van rioolwater tijdens de uitvoering. Deze problemen zijn veelal een logisch gevolg van het de werkomgeving van de projecten. Daarbij wordt het onverwacht tegenkomen van kabels en leidingen minder door KLIC-meldingen maar het zal waarschijnlijk nooit helemaal te voorkomen zijn.

De beperkingen vanuit de opdrachtgever hebben veelal betrekking op het waarborgen van de bereikbaarheid. Hiervoor worden vaak beperkingen opgelegd qua grootte van het openliggende wegvak. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

De geïnterviewde praktijkdeskundigen zijn sceptisch over het gebruik van een simulatie om de uitvoering te plannen. De reden hiervoor is dat rioleringsprojecten veel meer factoren die mee spelen vergeleken met het boren van een tunnel of een asfaltering project. Het vangen van de uitvoering van een project in een simulatiemodel wordt, doordat deze vele factoren een rol spelen in zowel de volgorde als de snelheid van uitvoeren, erg lastig. "Elk project staat op zichzelf", is een veelgebruikte uitspraak. Daardoor speelt de creativiteit van de voorbereider en/of uitvoerder een grote rol bij het opstellen van het uitvoeringsplan en de projectplanning.

Daarbij zijn er volgens de praktijkdeskundigen geen veelvoorkomende vragen met betrekking tot de inzet van materieel of personeel, en is er ook geen gebrek aan informatie. Zo volgt het in te zetten materieel uit projectkenmerken. De mobiele kraan wordt bijvoorbeeld besteld aan de hand van het gewicht van de putten, is deze last minimaal dan is het grondverzet maatgevend. Het in te zetten personeel is variabel maar niet van groot belang voor de productie aangezien het leggen van het hoofdriool maatgevend is voor de productie. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

De praktijkdeskundigen zien wel mogelijkheden op het gebied van calculatie, omdat daarbij de afstand tot het werk het grootst is, en er dus gemiddeld minder praktijkervaring voorhanden is. De verwachting is dat deze ervaring in de toekomst verder afneemt. Ook zijn de keuzes en berekeningen in deze fase minder uitvoeringsspecifiek, maar meer abstract qua niveau. Daarnaast is er in de calculatiefase veelal weinig tijd per project om tot een gedegen onderzoek te komen voordat er een prijsopgave gegeven wordt. Tot slot is er behoefte aan gefundeerd vastgelegde beslissingen, hetgeen met een tool gerealiseerd kan worden.

Een mogelijkheid die hiervoor genoemd wordt is het vastleggen van een stapsgewijze denkwijze bij de calculatie, bijvoorbeeld in een stroomschema. Op basis van deze input kan een programma dan de verwachte productie bepalen aan de hand van de belangrijkste randvoorwaarden. Zeker omdat er steeds minder mensen met praktijkervaring voor deze taak beschikbaar zijn kan dit waardevol zijn. Zo kom je tot een gefundeerde beslissing voor een calculatie door bewust de stappen te doorlopen en vast te leggen. Elk keuze moment is zodoende terug te vinden met de bijbehorende inschatting. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

Ook voor het opstellen van een begroting of budget voor projecten bij de opdrachtgevers zijn er kansen voor een simulatieprogramma. Zo'n begroting wordt gebruikt voor het vastleggen van een geldbedrag vanuit de opdrachtgever. Aangezien de praktijkervaring bij de opdrachtgevers ook minimaal is en ook nog eens wegvloeit, liggen hier mogelijkheden voor een hulpmiddel. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

Tot slot werd de mogelijkheid genoemd voor een simulatietool die de waterstroom door het riool simuleert. Met de mogelijkheid om de effecten van het afsluiten van delen van het riool te simuleren kan een betere keuze gemaakt worden hoe om te gaan met het rioolwater tijdens het project. Verschillende opties zijn afdoppen, ompompen, overdrukken en 's avonds een tijdelijke noodvoorziening aanleggen. (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012)

4. Systeem identificatie

Voor de ontwikkeling van het simulatiemodel is eerst de proceslogica van het te modeleren systeem geïdentificeerd en gedefinieerd. Hierbij is het systeem in kaart gebracht en zijn de systeemgrenzen vastgelegd. Daarbij wordt door middel van analyse bepaald hoe het systeem werkt. In dit hoofdstuk wordt het systeem voor het simulatiemodel behandeld.

Het systeem is in dit geval het uitvoeringsproces van rioleringsprojecten. Hierbij is het proces opgedeeld in elementaire activiteiten. Ook zal bepaald worden hoe de eenheden (wegsecties in dit geval) door het systeem lopen. Tot slot zullen de resources geïdentificeerd worden.

De proceslogica is opgesteld aan de hand van op de beschikbare literatuur. Daarnaast is gebruik gemaakt van de interviews met ervaringsdeskundigen van Dura Vermeer, verdere gesprekken met deze ervaringsdeskundigen en bezoeken aan diverse projecten in uitvoering.

Rioleringsprojecten zijn op te delen in de aanleg van nieuwe rioolstelsels en werken aan het bestaande riool. Nieuwe rioolstelsels worden aangelegd ten behoeve van een nieuwe wijk of het aansluiten van nieuwe gebieden op het bestaande riool. Daarnaast bestaan er inbreidingsplannen waarbij een bestaand gebied geheel opnieuw ingericht wordt. Werken aan bestaande rioolsystemen betreffen vervanging, renovatie, uitbreiding van het riool, of aanpassingen aan de al bestaande rioolinfrastructuur (ONRI-werkgroep Riolerings, 2009). Het werkproces is in alle gevallen grotendeels gelijk met de uitzondering dat men bij werken aan het bestaande riool met dit bestaande riool van doen heeft. Vaak moet dit verwijderd worden voor het nieuwe riool aangelegd kan worden. Bij binnenstedelijke rioleringsprojecten is dit vrijwel altijd het geval. Zoals aangegeven in de onderzoeksopzet ligt de focus op projecten in het binnenstedelijk gebied waarbij het riool vervangen wordt. Sleufloze renovatietechnieken zijn om die reden buiten beschouwing gelaten.

Hoewel het exacte uitvoeringsproces afhangt van de specifieke projectomstandigheden is er een standaard proces geïdentificeerd bestaande uit de algemene meest voorkomende processtappen en bijbehorende parameters. Daarnaast zijn enkele veel voorkomende afwijkingen en aanvullingen op dit proces geïdentificeerd. Bij elke processtap zijn er verschillende parameters die van invloed zijn op de uitvoering van de betreffende stap. Deze parameters bepalen de werksnelheid en in sommige gevallen de uitvoeringsmethode.

De processtappen worden in de volgende paragraaf per subproces individueel besproken. Vervolgens komen de veel voorkomende uitzonderingen en aanvullingen aan bod. Daarna worden de van belang zijnde parameters per processtap weergegeven. Ten slotte volgt een samenvatting.

4.1 Proceslogica rioleringsprojecten

De individuele stappen worden hieronder benoemd en beschreven. De processtappen bestaan vaak uit meerdere subactiviteiten. Bij het plaatsen van een buis moet bijvoorbeeld eerst een ketting aan de buis bevestigd worden, vervolgens wordt de buis opgetild, enzovoort. Er is echter gekozen voor een opdeling in geclusterde kernactiviteiten.

Halpin (1992, p. 236) typeert de aanleg van riolerings aan als een repetitief cyclisch proces waarbij enkele processtappen keer op keer herhaald worden tot het project voltooid is. De verschillende processtappen zijn onderdeel van verschillende cycli. Eerst vinden enkele voorbereidende werkzaamheden plaats die een grote cyclus kennen, die van de totale sectie. Deze stappen worden binnen een sectie slechts eenmaal uitgevoerd. Hierna komen de korte cycli van het hoofdriool en de rioolaansluitingen. De cyclus van het hoofdriool bestaat uit de stappen van het aanleggen van één rioolbuis, deze cyclus wordt voor elke buis herhaald. De cyclus van de aansluitingen bestaat uit de stappen voor de aanleg van één aansluiting, deze wordt ook herhaald voor elke aansluiting. Vervolgens vinden er weer enkele stappen plaats zoals rioolinspectie en wegverharding.

Veiligheid

Hoewel niet onderdeel van een vaste cyclus is aandacht voor veiligheid op de bouwplaats altijd van toepassing. Om de veiligheid te waarborgen worden verschillende methodes toegepast die elk invloed hebben op andere processtappen. Zo kan het nodig zijn om de werkplaats af te schermen met bouwhekken. Dit betekent dat bij

elke verschuiving van de werksectie de hekken ook verplaatst moeten worden. Veiligheid valt dan onder de cyclus van een volledige sectie.

Anderzijds kan ervoor gekozen worden om aan het eind van elke dat de sleuf aan te vullen tot het maaiveld, dit betekent dat er elke dag tijd van de effectieve productietijd af gaat. Het gebruik van bouwhekken heeft de voorkeur boven deze optie (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012). In figuur 4-5 is werkplaatsafscherming door gekoppelde bouwhekken afgebeeld.

Andere aspecten die meespelen bij het afzetten van het bouwterrein zijn diefstal en vandalisme. Dit maakt het regelmatig nodig om een groter gebied af te zetten met bouwhekken. Bijvoorbeeld omdat de bronbemaling al over een groter deel dan het werkvak is aangebracht.

Weg openbreken

In het binnenstedelijke gebied is er meestal sprake van een bestaande wegverharding op de plek waar aan het riool gewerkt gaat worden. De eerste stap in het proces is dan het verwijderen van deze verharding. De verharding is op te splitsen in asfaltverhardingen en bestrating. Asfaltverhardingen worden verwijderd met een asfaltrees, dit wordt uitgevoerd door een aparte werkploeg, los van de rioleringsploegen. Hierbij wordt een zo groot mogelijk stuk weg vrijgemaakt vanwege de hoge opstartkosten. De beperking hierbij zijn mogelijke eisen aan de bereikbaarheid en verkeersdoorstroming die het onmogelijk maken om de volledige lengte van het traject vrij te maken. Hierbij geldt dat bebouwing tot op 80 lengtemeters genaderd moet kunnen worden door o.a. de nooddiensten. Dit mag bereikt worden door rijplaten of een puinbaan aan te leggen op een gebroken stuk weg. Dit maakt het mogelijk in één keer een groter wegvak te frezen. Vaak stelt de opdrachtgever daarnaast echter ook eisen aan de verkeersdoorstroming waardoor slechts een beperkt wegvak opgebroken kan worden.

Het verwijderen van bestrating kan in kleinere stapjes voor het werk aan de riolering uit maar wordt idealiter ook voor grotere stukken gedaan. Hierbij spelen dezelfde eisen aan de bereikbaarheid een rol. Deze processtap wordt uitgevoerd met een aparte shovel of graafmachine, of door de graafmachine die ook het hoofdriool aanlegt. Bij de eerste optie wordt deze processtap onafhankelijk van het werk aan het riool uitgevoerd en vindt dan één of meerdere dagen voor aanvang van het eigenlijke rioolwerk plaats. Bij de laatste optie ligt het werk aan het riool tijdelijk stil.

Grondbemaling

Riolering moet in droge omstandigheden aangelegd worden om het afdrijven van de buizen te voorkomen, daarvoor dient het grondwaterpeil 0,25 meter onder de te graven sleuf te liggen. Daarom is het regelmatig nodig om grondwaterbemaling toe te passen indien de grondwaterspiegel te hoog ligt. Aan de hand van een bodemkundig hydrologisch onderzoek wordt hiervoor een bemalingsplan worden opgesteld. De meest toegepaste bemaling is bronbemaling. Hierbij worden verticale buizen in de grond aangebracht die aangesloten worden op een pomp. Door middel van een vacuüm wordt het grondwater onttrokken aan de grond en zakt de grondwaterspiegel (ONRI-werkgroep Riolering, 2009).

Grondbemaling wordt gewoonlijk enkele dagen voor de start van de graafwerkzaamheden aangebracht om het grondwaterpeil voldoende te verlagen. Vaak kan de bemaling echter pas na het verwijderen van de verharding aangebracht worden, om die reden kan het aanbrengen van de bemaling invloed hebben op de uitvoeringsplanning.

Kabels en leidingen uitzetten

Bij rioolwerkzaamheden heeft men vaak te maken met de in de grond liggende kabels en leidingen. Onder kabels vallen elektriciteitskabels, telefoonkabels, glasvezelkabels en CAI (centraal antenne-inrichting). Voorkomende leidingen zijn onder andere gastransportleidingen, watertransportleidingen en het riool. Vooral in het binnenstedelijk gebied is er soms sprake van een grote hoeveelheid kabels en leidingen, zie Figuur 4-1. Om graafincidenten te voorkomen is de kadasterdienst KLIC opgezet. Deze dienst beheert de informatie over kabels en leidingen in Nederland. Voor aanvang van grondroerende werkzaamheden dient een graafmelding gedaan te worden bij deze dienst. Hierna ontvangt de aanvrager een overzicht van alle in de grond voorkomende kabels en leidingen (ONRI-werkgroep Riolering, 2009). Desondanks vinden er jaarlijks circa 40.000 graafincidenten plaats met kabels en leidingen. Dergelijke incidenten zorgen voor vertragingen in de uitvoering van de projecten.



Figuur 4-1 drukte in de grond

Het werk aan het riool begint dan ook met het aangeven van de bestaande kabels en leidingen. Dit gebeurt op basis van de verkregen informatie over kabels en leidingen door de graafmelding bij de Kadasterdienst KLIC. Deze processtap wordt uitgevoerd door de uitvoerder. Indien er kabels, leidingen of putten in de verharding of puinbaan voorkomen wordt deze stap ook al een keer uitgevoerd voor de start van het verwijderen van de verharding plaats. Daarnaast worden de kabels en leidingen in de ondergrond uitgezet met verf of piketten na het

verwijderen van de verharding. Doordat deze activiteiten voor of tijdens de andere activiteiten plaats kan vinden heeft deze stap geen invloed op het verloop van het proces. Daarom wordt deze stap niet gemodelleerd.

Bestaand riool afsluiten

Indien het project werk betreft aan een bestaand riool wordt dit riool voor aanvang van de werkzaamheden afgesloten. Dit kan door het riool simpelweg af te sluiten en regelmatig leeg te laten stromen tijdens de uitvoering. Er wordt dan regelmatig, bijvoorbeeld elke werkdag, een noodvoorziening gemaakt tussen het oude en het nieuwe riooldeel. Als dit het geval is kost dit aan het einde van elke werkdag productietijd.

Indien er veel rioolwateraanvoer is kan het nodig zijn om het rioolwater om te pompen of om te leiden via andere rioolbuizen of een tijdelijke voorziening. Deze voorzieningen dienen mee te schuiven met het werk, ook dit kost telkens productietijd. Het afsluiten van het riool vindt eenmaal per wegsectie plaats na de graafwerkzaamheden aan de eerste buis of put.

4.1.1 Cyclus hoofdriool

De tot dusver behandelde processtappen vallen in de relatief grote cyclus van de sectie. De volgende processtappen vormen de cyclus hoofdriool en beslaan de aanleg van één buislengte. Deze cycli worden gerepeteerd tot het einde van de sectie bereikt is. In figuur 4-5 is een voorbeeld van een werkplaats tijdens deze cyclus afgebeeld. In de afbeelding is de ideale werksituatie weergegeven waarbij de grond en rioolbuizen naast de sleuf opgeslagen kunnen worden.

Grond afgraven

Tijdens de eerste stap in de korte cyclus wordt de werkgeul gegraven. De afmetingen van deze geul en het talud zijn afhankelijk van het type riool, de diameter van het riool, de diepte waarop het riool komt te liggen en de grondsoort. Deze factoren bepalen samen de vereiste werkbreedte, de helling van het talud en of er gebruik gemaakt moet worden van sleufbeveiliging in de vorm van bekisting. Indien er kabels of leidingen in de sleuf liggen zal hier omheen gewerkt moeten worden, en wordt rond de kabels en leidingen met de hand gegraven. Dit leidt tot een langzamere productie, hetzelfde geldt voor de aanwezigheid van boomwortels en een bestaand riool. Indien de grond vervuild is, ter plekke niet opgeslagen kan worden of er grondverbetering uitgevoerd wordt zal de vrijkomende grond (deels) afgevoerd moeten worden met vrachtwagens. Het laden van vrachtwagens duurt over het algemeen langer dan het dumpen van de grond naast de geul.

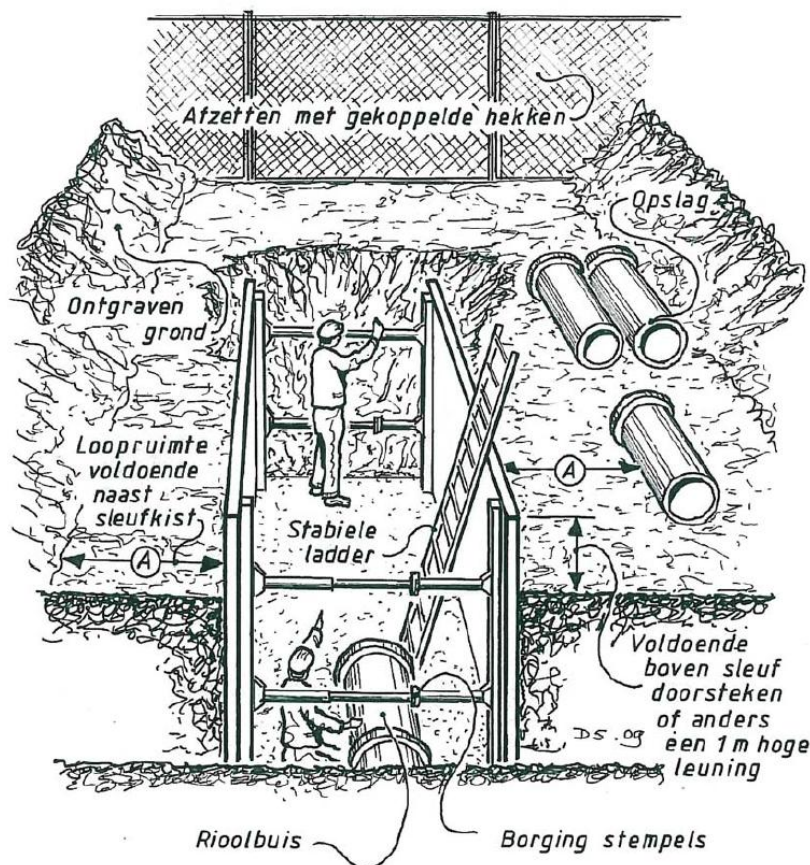
Sleufbeveiliging

Waar de hiervoor genoemde veiligheidsaspecten vooral bedoeld zijn voor externen zijn er ook veiligheidsaspecten van toepassing voor de werklieden. Het creëren van een veilige werkomgeving heeft in sommige gevallen invloed op het werkproces. Zo kan er in bepaalde grondsoorten, bij grote diepte of bij een

krappe werkruimte namelijk niet met een veilig talud gewerkt worden. In dat geval wordt een grondkerende sleufbekisting toegepast.

Er zijn verschillende manieren om de sleuf te beveiligen, dit kan met vaste bekisting en glijbekisting. Bij vaste bekisting wordt er in de sleuf een vaste constructie gebouwd die na afloop van de werkzaamheden weer afgebroken moet worden. Zo een bekisting bestaat bijvoorbeeld uit stalen schotten voorzien van stempels of een geheide damwand. Werken met dergelijke constructies vindt meestal over een beperkte lengte plaats v(ONRI-werkgroep Riolering , 2009). In figuur 4-5 is een dergelijke constructie afgebeeld.

Bij een glijbekisting wordt er een stalen frame in de geul geplaatst die met de cycli van het hoofdriool mee geschoven wordt door de aanwezige graafmachine. Deze manier van werken is veel sneller dan het bouwen van een vaste constructie maar kan niet toegepast worden bij grote diepte of belastingen. Ook hierbij zijn kruisende leidingen problematisch.



Figuur 4-5 Overzicht werkterrein en veiligheidsaspecten rioleringsproject (Aboma, 2009)

Oud riool verwijderen

Indien er een bestaand riool ligt wordt dit vervolgens verwijderd. Bij het graven van de geul is het belangrijk de buis niet te beschadigen, hierdoor duurt het uitgraven van de geul significant langer. De buis dient namelijk, zodra die vrij gegraven is, geheel verwijderd te worden. Indien de buis beschadigd raakt kunnen stukken beton achter blijven in de sleuf en daardoor de nieuwe buis beschadigen. De buizen worden na verwijdering tijdelijk opgeslagen naast de geul of in een depot. Uiteindelijk worden ze afgevoerd naar een externe locatie.

Zandbed prepareren

Voor een goede afwatering van het riool is het belangrijk dat de buizen goed aansluiten en in een goede hoek liggen en blijven liggen. Om ervoor te zorgen dat de buis na plaatsing niet verschuift of verzakt wordt, in een zandige grond, de sleufbodem zodanig afgewerkt worden dat er een goede bedding voor de buis ontstaat. Een goede bedding betekent dat er een zo grootmogelijk oplegoppervlak gecreëerd wordt. Hierdoor wordt de druk op de buis optimaal verdeeld. Om deze reden moet de sleufbodem recht onder de buis losgewoeld en

uitgevlakt worden. Ook moet de sleuf ter plaatse van de mof voldoende worden weg gegraven. In een niet zandige grond is het nodig een grondverbetering van zand aan te brengen (ONRI-werkgroep Riolering , 2009).

Fundatie

Als de grond onvoldoende draagkrachtig is kunnen er zettingen in het riool ontstaan. Om dit te voorkomen moet er voldoende ondersteuning voor het riool gerealiseerd worden. Dit kan op verschillende manieren gerealiseerd worden. Bij de processtap “zandbed prepareren” is al aangegeven dat er een grondverbetering van zand aangebracht kan worden. Indien dit niet volstaat, wordt er een vorm van fundatie toegepast. Er zijn verschillende vormen van fundatie mogelijk. Op plaatsen waar zeer onregelmatige zettingen verwacht worden kan een drukverdelende laag van kunststofschuim toegepast worden. Bij een geheel gebrek aan draagkracht kan een fundering op palen toegepast worden, waarbij het riool onderheid wordt.

Het toepassen van fundering gebeurt in plaats van of in combinatie met de zandbed voorbereidende stap in de cyclus van het hoofdriool.

Nieuw hoofdriool plaatsen

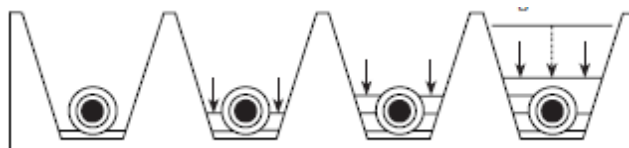
Tijdens de volgende stap wordt de nieuwe buis geplaatst. De buis wordt met de graafmachine in de sleuf geplaatst. Hierbij begeleiden grondwerkers de buis en geven aanwijzingen voor het correct plaatsen van de buis. Indien er voldoende ruimte is liggen de nieuwe buizen langs de sleuf, indien dit niet het geval is moeten ze gehaald worden uit het bouwdepot. Indien er sprake is van een gescheiden of verbeterd gescheiden riool worden er twee buizen naast elkaar gelegd. Ook worden er alvast standpijpen.



Figuur 4-3 Nieuw riool, deels aangevuld.

Grond aanvullen

Nadat de buis gelegd is wordt er rondom zand aangevuld zodat de buis stevig op zijn plaats komt te liggen. Ook de wijze van aanvulling en verdichting rondom de buis dragen bij aan een goede bedding.



Figuur 4-2 Laagsgewijs zand aanvullen en verdichten (ONRI-werkgroep Riolering , 2009)

De buis moet gelijkmatig belast worden door de omliggende grond. Het is daarom belangrijk om de rioolsleuf laagsgewijs aan te vullen en te verdichten. Een maximum laagdikte van 0,20 tot 0,50 m per laag is noodzakelijk voor een goede aanvulling en verdichting van de grond. De aanvulling en verdichting met zand moet aan beide zijden van de buis gelijktijdig plaatsvinden. Een gelijkmatige

verdichting naast en onder de buis voorkomt verplaatsing van de buis in het horizontale vlak en plaatselijke verzakkingen in de lengterichting van de streng. Zeker bij de meer flexibele kunststof buizen is een goede verdichting van groot belang. Deze manier van aanvullen is weergegeven in figuur 4-2 voor de eerste grondaanvulling. De grote ploeg vult de sleuf op deze manier tot ongeveer de bovenkant van de buis.

Als de oude grond vervuild is of niet naast de sleuf opgeslagen kan worden is het nodig de grond aan te voeren met vrachtwagens. Deze stap is het einde van de cyclus hoofdriool. Het resultaat van een aantal van deze cycli is afgebeeld in figuur 4-3.

4.1.2 Rioolputten

Naast de rioolbuizen moeten er ook putten geplaatst of vervangen worden. Dit werkproces wordt niet apart behandeld aangezien het grotendeels gelijk is aan de cyclus hoofdriool. Onderscheidend voor de plaatsing van putten is het feit dat de plaatsing zelf vaak meer tijd vergt dan de plaatsing van buizen. Daarnaast kent een put over het algemeen geen directe regenwateraansluitingen of huisaansluitingen maar juist wel meerdere aansluitingen van rioolbuizen. Dit laatste kan leiden tot moeilijke plaatsing waardoor sparingen in de put gemaakt moeten worden om de buizen te koppelen, deze sparingen moeten nadien dichtgemetseld of gestort worden. Tot slot moeten putdeksels verwerkt worden in de wegverharding.

4.1.3 Cyclus aansluitingen

Tot dusver is de aanleg van het hoofdriool besproken. Dit hoofdriool ontvangt haar afvoer van regenwateraansluitingen en/of huisaansluitingen. Het aanleggen van deze aansluitingen en het verder aanvullen van de sleuf vind plaats tijdens de cyclus aansluitingen. Net als de werkzaamheden aan het hoofdriool kennen ook deze werkzaamheden korte cycli.

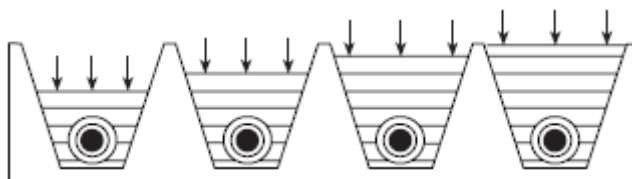
Aansluitingen

Het werk van deze cyclus begint met het aansluiten van de lozingsbronnen op het riool. Hierbij wordt, indien nodig, begonnen met het opgraven van de bestaande aansluiting. Deze wordt vervolgens verwijderd en vervangen door een nieuwe aansluiting. Voor de lengte van de aansluitingen geldt dat huisaansluitingen tot de erfgrans worden aangelegd, vanaf daar is de perceeleigenaar verantwoordelijk. De regenwateraansluitingen worden aangelegd tot aan de kolken. De kolken zelf worden vaak pas geplaatst tijdens het aanbrengen van de wegverharding.

De nieuwe aansluitingen worden gekoppeld aan de bestaande buis die op het perceel ligt of op de kolk, en op het hoofdriool. Het kruisen van kabels en leidingen bemoeilijkt de aanleg van deze aansluitingen vaak aangezien ze vaak in dezelfde grondlaag liggen.

Grond aanvullen

Nadat de aansluitingen gelegd zijn wordt de grond verder aangevuld tot de onderkant van de toekomstige verharding. Net zoals bij het aanvullen rond het hoofdriool, wordt rondom de aansluitingen zand aangevuld zodat de buizen stevig op hun plaats komen te liggen. Ook de wijze van aanvulling en verdichting is gelijk. Er wordt weer laagsgewijs aangevuld en te verdicht om verplaatsing te voorkomen. Een maximum laagdikte van 0,20 tot 0,50 m per laag is noodzakelijk voor een goede aanvulling en verdichting van de grond. Zeker bij de kunststof buizen die gebruikt worden voor de aansluitingen is een goede verdichting van groot belang (ONRI-werkgroep Riolering, 2009).



Figuur 4-4 Aanvullen tot de verhardingshoogte (ONRI-werkgroep Riolering, 2009)

De tweede aanvulling is weergegeven in figuur 4-4. Als de oude grond vervuild is of niet naast de sleuf opgeslagen kan worden is het nodig de grond aan te voeren met vrachtwagens. Dit is het einde van de aansluitingscyclus, waarna eventueel een nieuwe cyclus wordt gestart tot alle aansluitingen zijn gemaakt.

Zandtransport

Indien er voldoende ruimte is wordt het zand dat bij het graven van de geul vrijkomt naast de geul opgeslagen. Bij het aanvullen kan het daarvandaan weer in de geul gedumpt worden. Indien hier echter onvoldoende ruimte voor is zal het zand rondgereden moeten worden en/of opgeslagen moeten worden in een depot.

Hierbij wordt het afgegraven zand in een vrachtwagen geladen die het in een depot dumpst of meteen omrijdt naar de achterkant van de geul waar het weer gebruikt kan worden om aan te vullen. Welke optie wordt gekozen of indien beide gekozen worden welke verhouding daarbij aangehouden wordt hangt af van de beschikbare ruimte en de productie van de grote en kleine ploegen.

4.1.4 Afsluitende activiteiten

Na de aanleg van het riool in korte repetitieve cycli dienen er nog enkele taken uitgevoerd worden die plaatsvinden over de volledige sectielengte. Dit zijn de inspectie van het hoofdriool en het aanbrengen van de verharding.

Inspectie van het riool

Voor de oplevering van het riool wordt een inspectie van het riool gedaan. Hierbij wordt gecontroleerd of er tijdens zandaanvulling en verdichting geen verzakkingen, lekkages of andere schades zijn ontstaan. De meest gebruikte inspectie wordt uitgevoerd met een speciale wagen die uitgerust is met een camerarobot die zich door het riool kan verplaatsen en beelden naar de wagen stuurt.

Hoewel de inspectie los staat van het aanleggen van het riool en door een externe partij wordt uitgevoerd is deze stap toch van belang voor het werkproces. De inspectie wordt namelijk idealiter uitgevoerd voor de verharding aangebracht wordt. Dit omdat het opnieuw openbreken van de weg voor reparaties aan het riool grote kosten met zich mee brengt, zeker in het geval van een asfaltverharding. Hierbij wordt een afweging gemaakt tussen het risico en de kosten. Regelmatig controleren voor het aanbrengen van de puinbaan verkleint het risico maar elke controle brengt kosten met zich mee. Deze afweging wordt onder andere gemaakt op basis van het vertrouwen in het gedane werk (Glaubitz, Klein Kranenbarg, & Wolbers, 2012).

Wegverharding

Het aanbrengen van de verharding staat net als het verwijderen van de verharding los van het werk aan het riool zelf. Toch is deze processtap belangrijk voor het rioolwerk vanwege de eisen aan de bereikbaarheid. Het volgende wegvak mag vaak pas opengebroken worden als het huidige wegvak weer opengesteld is voor verkeer.

De sectie ligt er nu bij als zandbaan waarop nog een wegverharding aangebracht moet worden voordat het wegdeel vrijgegeven kan worden.

Indien de weg bestraat wordt kan dit direct op de zandlaag plaatsvinden. Wel dient het zand eerst uitgevlakt en verder verdicht te worden om een vlakke weg op te leveren en de kans op verzakkingen te minimaliseren. Vervolgens wordt de weg bestraat, dit gebeurt tegenwoordig veelal machinaal. Het doel hierbij is om zo snel mogelijk klaar te zijn met de sectie nadat de rioolploeg klaar is met de sectie. Zodoende kan er snel begonnen worden met het openbreken van de volgende sectie.

Indien er gekozen wordt voor een asfaltverharding wordt er eerst op het zand nog een puinbaan aangelegd van granulaat. Dit granulaat wordt aangevoerd met vrachtwagens en vervolgens uitgevlakt met een shovel of graafmachine. Vervolgens komt er een asfaltploeg die machinaal één of meerdere asfaltlagen aanbrengen. Gezien de hoge kosten per uur van een asfaltset en de relatief hoge snelheid is het niet mogelijk om de set achter de rioolploegen aan te laten werken. Daarom vindt het aanbrengen van asfalt vaak plaats op de dag nadat de rioolploegen klaar zijn met de sectie.

4.2 Samenvatting

In dit hoofdstuk is het uitvoeringsproces van een rioleringsproject behandeld. Het proces is opgedeeld in verschillende stappen die eenmalig of meerdere keren per sectie uitgevoerd moeten worden. Stappen als het verwijderen en aanbrengen van de wegverharding, rioolinspectie, grondbemaling, etc. vinden slechts eenmaal per sectie plaats. De stappen voor de aanleg van het hoofdriool en de aansluitingen daarop, vinden meerdere keren plaats per sectie in korte repetitieve cycli. Andere activiteiten zoals het aanbrengen van een noodvoorziening of afsluiten van de bouwplaats vinden niet per lengte plaats maar per verstreken tijdseenheid. Zodoende hebben de verschillende soorten stappen op verschillende manieren invloed op de tijdsduur van het project.

De opgestelde proceslogica, parameters keuzes en scenario's zijn geverifieerd door middel van gebruik van verschillende bronnen zoals literatuur, praktijkdeskundigen en projectbezoeken. Daarnaast zijn na het opstellen de resultaten voorgelegd aan praktijkdeskundigen.

5. Conceptuele modellen

5.1 Inleiding

In het wetenschappelijke verslag is de ontwikkeling van de conceptuele modellen besproken. Deze tweede stap in het ontwikkelen van een simulatiemodel is besproken in hoofdstuk 2 van dit dossier. Dit is nodig omdat het direct omzetten van de geïdentificeerde proceslogica, systeembeschrijvingen, observaties, data en hypothesen in een simulatiemodel erg lastig is en de kans op fouten vergroot. Alle ontworpen conceptuele modellen zijn in dit hoofdstuk bijgevoegd.

5.2 Modellen

Modellen wegsectie

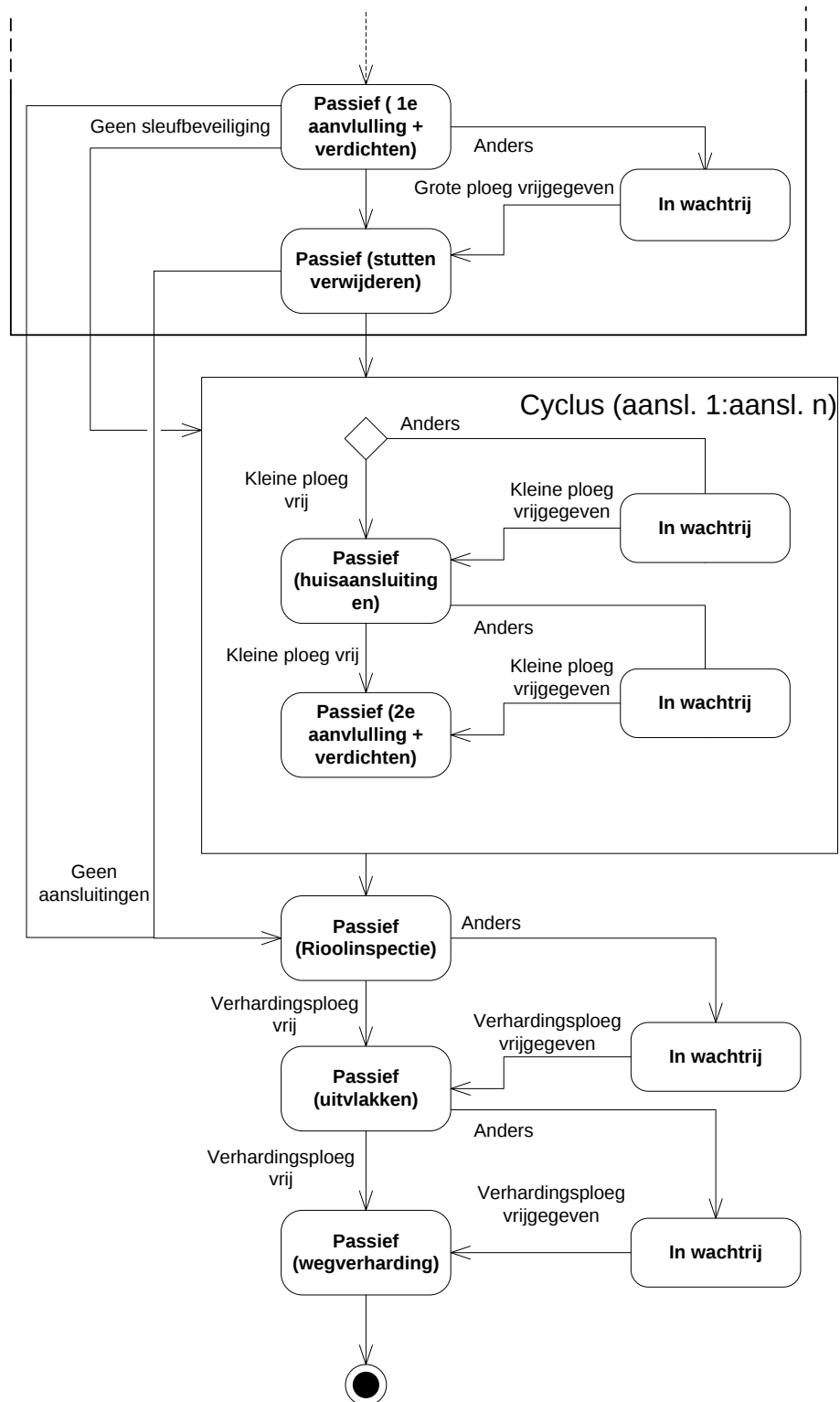
Wegsecties zijn de basis van het proces. Elke sectie gaat van activiteit naar activiteit tot de sectie klaar is en verlaat dan het systeem. Het toestandsdiagram van een wegsectie weerspiegelt dit beeld. De sectie gaat van activiteit naar activiteit en wacht daarbij indien nodig op de vereiste resources. Aan het eind van de levenscyclus verdwijnt de sectie uit het systeem. In het onderstaande model loopt de levenscyclus van de sectie door to de stap “1^e demping”. Binnen de cyclus van de wegsectie vindt, zoals beschreven in hoofdstuk 4, de sub cyclus plaats van het plaatsen van rioolbuizen. Dit wordt weergegeven door een cyclus die herhaald wordt tot alle buizen gelegd zijn. Tot slot bestaat er de mogelijkheid tot het overslaan van de stap “stutten” voor projecten waar geen sleufbeveiling wordt gebruikt.

Het toestandsdiagram beschrijft de toestand waarin de sectie zich bevindt tijdens de verschillende fases van de levenscyclus. De sectie is een inert object waardoor de toestand altijd passief is. Deze toestand kan zijn dat de sectie wacht op het einde van een bepaalde activiteit of wacht op het vrijkomen van de benodigde resources voor de volgende stap.

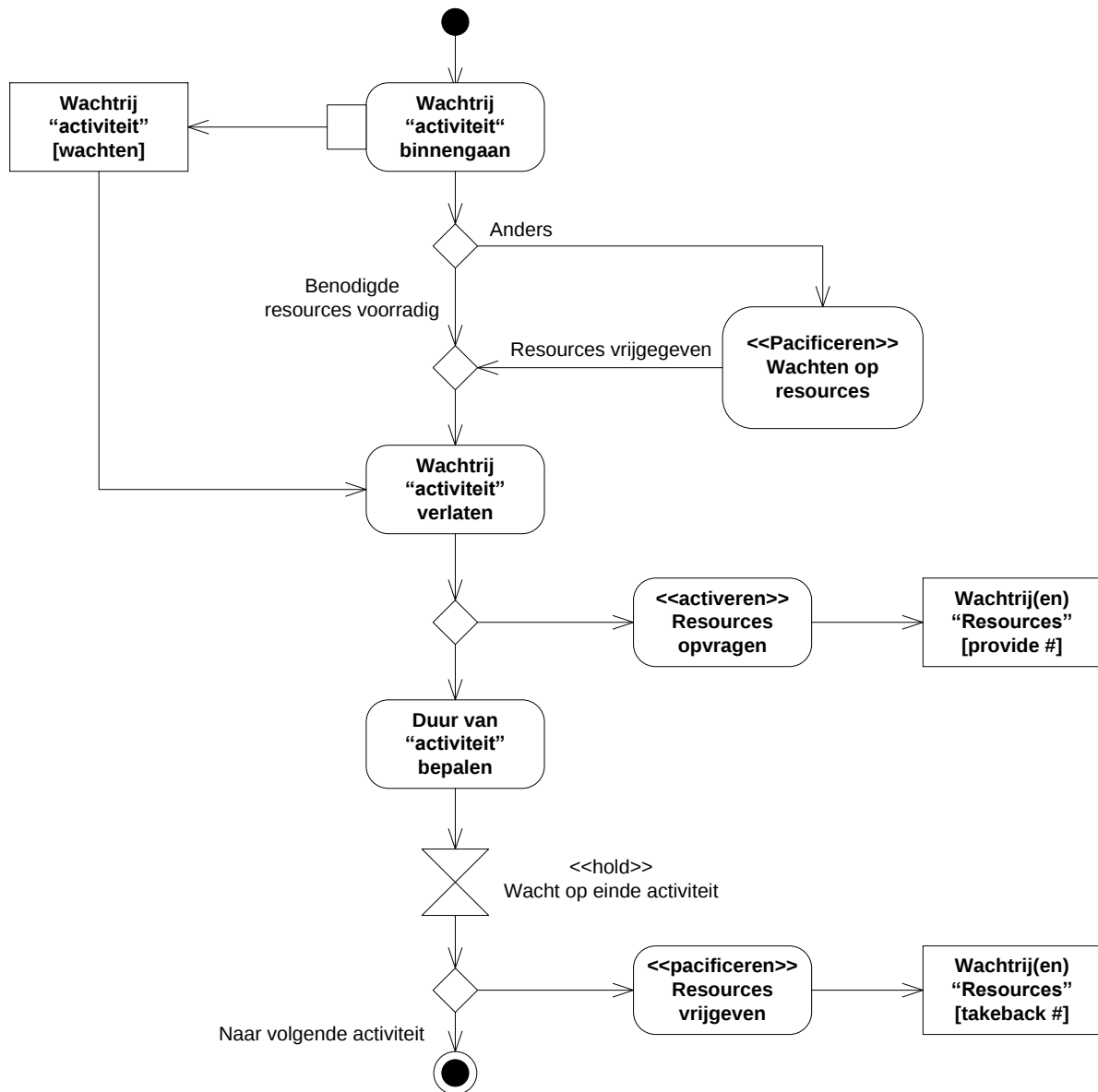
Waar het eerste deel van de levenscyclus van de sectie een cyclus heeft voor de buizen van het hoofdriool daar heeft het tweede deel een cyclus voor de aansluitingen. De eerste activiteit van figuur 5-2 is gelijk aan de laatste van 5-1. Daarnaast zijn er diverse situaties waarbij stappen overgeslagen worden, bijvoorbeeld als er geen sleufbeveiliging gebruikt wordt, of geen aansluitingen zijn.

Het activiteitendiagram (figuur 5-3) van een sectie geeft weer welke activiteiten een sectie uitvoert. Hierbij is deels al een vertaling naar een simulatiemodel gemaakt, aangezien een sectie in realiteit geen activiteiten uitvoert. In het simulatiemodel dient een wegsectie echter enkele activiteiten uit te voeren. Aangezien het activiteitendiagram er voor elke activiteit hetzelfde uitziet is er gekozen voor één algemeen model voor alle activiteiten.

Een wegsectie begint aan een activiteit door zich in de wachtrij voor die activiteit te plaatsen. Indien de vereiste resource(s) beschikbaar zijn verlaat de sectie de wachtrij direct weer, hierin wordt dan geen tijd doorgebracht. Indien de benodigde resource(s) niet beschikbaar zijn dan wacht de sectie op deze resources. Na het verlaten van de activiteitenwachtrij worden de resource(s) opgevraagd uit hun respectievelijke wachtrij(en). Vervolgens wordt de duur van de activiteit bepaald waarna de wegsectie en resources wachten op het einde van deze activiteit. Hierna worden de resources weer vrijgegeven aan de wachtrij(en) en gaat de sectie door naar de volgende activiteit of verlaat het systeem indien de levenscyclus is doorlopen.



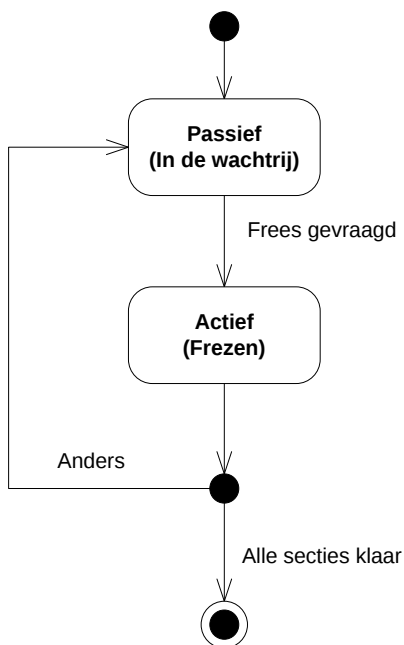
Figuur 5-2 Toestandsdiagram Sectie (deel 2)



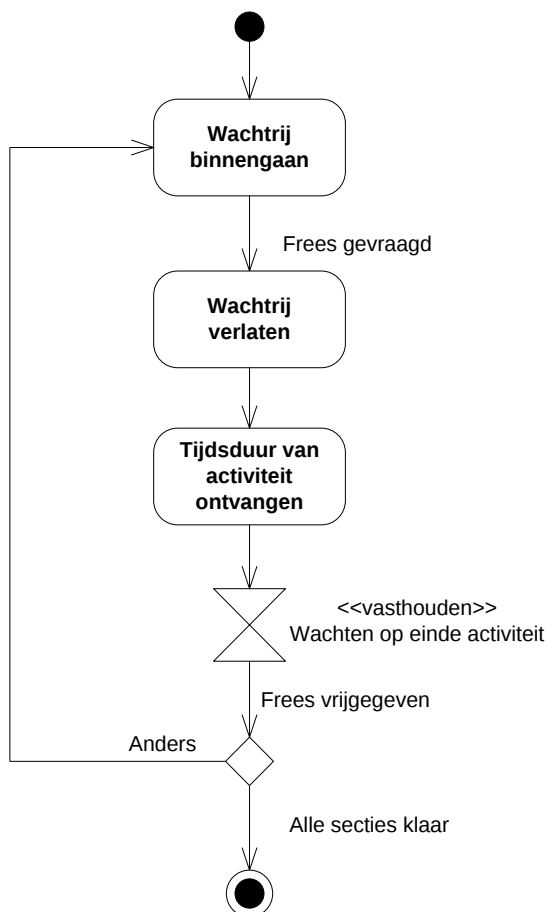
Figuur 5-3 Activiteitendiagram Sectie

Modellen asfaltfrees

De asfaltfrees wordt slechts voor één taak ingezet wordt. Het toestandsdiagram geeft dit weer doordat de frees naast passief slechts één actieve toestand kent. Hetzelfde geldt voor het activiteiten diagram. Naast de asfaltfrees zijn er meerdere resources die slechts één taak uitvoeren. Dit zijn: de ploeg die een stenen verharding verwijderd, de rioolinspectie, de asfalteringsploeg en de bestratingsploeg. Voor deze resources zijn geen aparte modellen ontwikkeld aangezien het model van de asfaltfrees één op één vertaald kan worden naar deze resources.



Figuur 5-4 Toestandsdiagram asfaltfrees



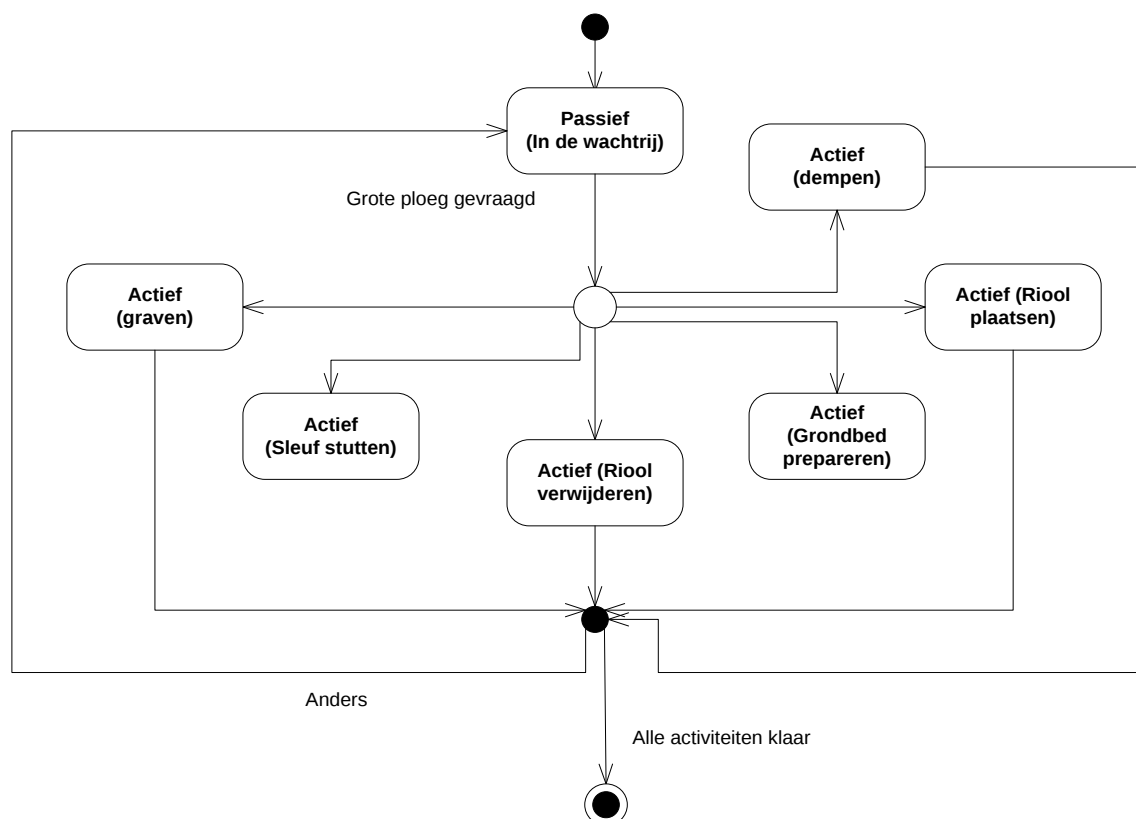
Figuur 5-5 Activiteitendiagram asfaltfrees

Modellen grote ploeg

Waar de wegsecties alle processtappen doorlopen, daar zijn de gebruikte resources slechts betrokken bij één of meerdere stappen. Tijdens de activiteiten wordt het vereiste aantal en type resources voor die activiteit vastgehouden door de wegsectie. De resources kunnen gedurende die tijd niet voor andere taken ingezet worden. Hieronder worden de modellen voor de “grote ploeg” weergegeven. Dit is gebaseerd op de aanwezigheid van een tweede ploeg die de huis- en regenwataansluitingen verzorgt.

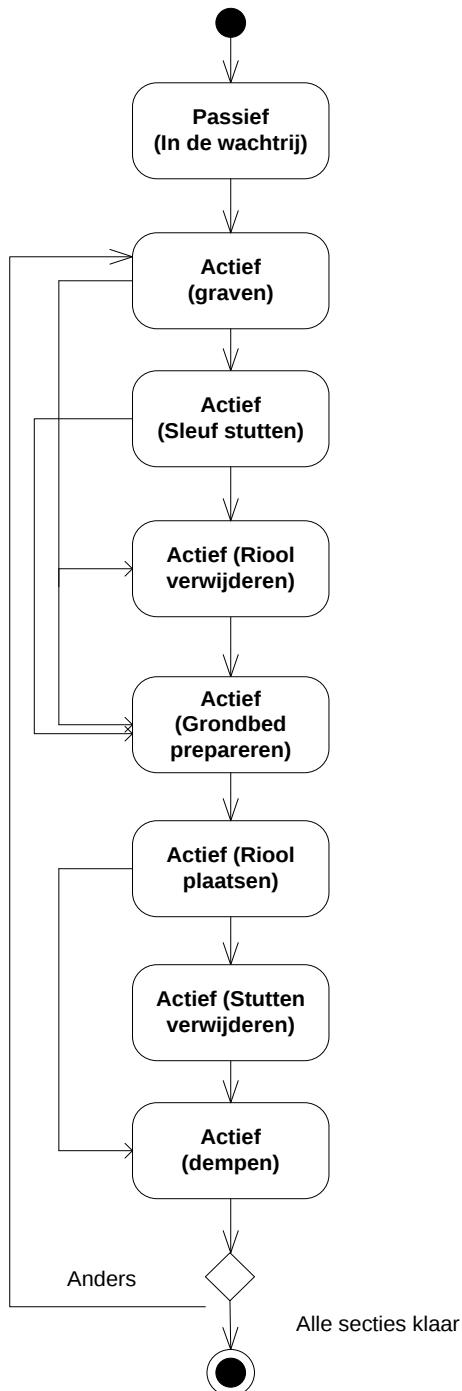
Het toestandsdiagram van de grote ploeg, weergegeven in figuur 5-6, toont de toestandsvolgorde die de grote ploeg in realiteit doorloopt. Het toestandsdiagram van de grote ploeg in het simulatieprogramma is weergegeven in figuur 5-6. In figuur 5-7 is weergegeven hoe de grote ploeg de verschillende stappen doorloopt waarvoor de grote ploeg verantwoordelijk is. Daarbij zijn er, net als bij de wegsectie, verschillende mogelijkheden om stappen over te slaan, indien die niet voorkomen in het project. De grote ploeg voert de cyclus hoofdriool uit binnen een wegsectie, deze cyclus wordt meerdere keren uitgevoerd per sectie. Na het doorlopen van alle stappen voor alle buizen in alle wegsecties eindigt de levenscyclus van de grote ploeg.

In figuur 5-6, is weergegeven hoe de grote ploeg zich gedraagt binnen het simulatiemodel. Aangezien de wegsecties de basis van het systeem zijn, heeft de grote ploeg geen invloed op de werkvolgorde. Daarom heeft de ploeg de mogelijkheid om activiteiten in elke willekeurige uit te voeren. De ploeg hierbij deze twee standen, actief of passief.

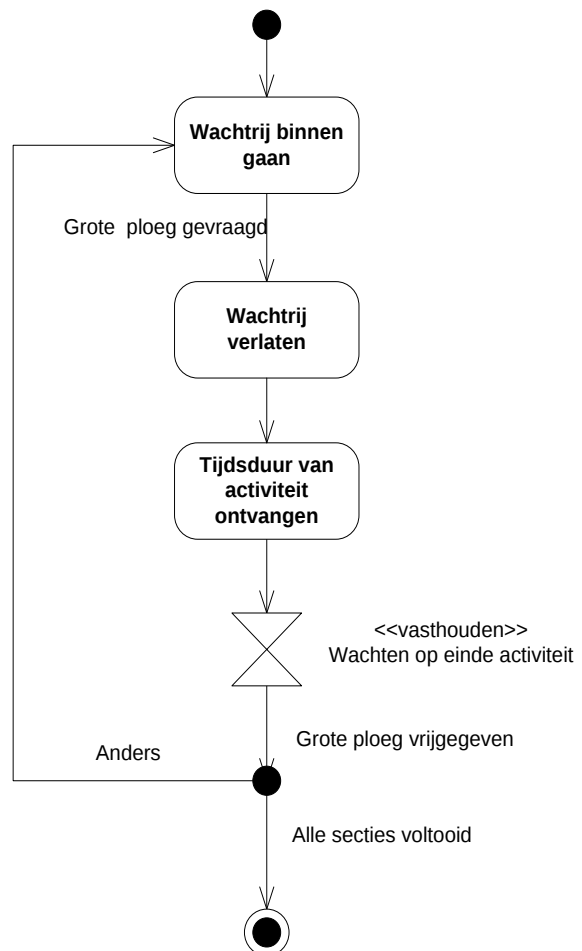


Figuur 5-6 Toestandsdiagram Grote Ploeg (simulatiemodel)

Net als bij het model voor de wegsecties is er bij het activiteitenmodel van de grote ploeg gekozen voor één activiteitendiagram dat het proces van één enkele activiteit weergeeft. De grote ploeg start altijd in de wachtrij. Zodra de ploeg opgevraagd wordt door een wegsectie voor een activiteit, verlaat de ploeg de wachtrij. Hierna voert de ploeg de activiteit uit gedurende de tijd die hiervoor door de wegsectie is bepaald. Vervolgens keert de ploeg terug naar de wachtrij, of beëindigt de levenscyclus indien alle activiteiten die de ploeg moet vervullen klaar zijn. Dit diagram is weergegeven in figuur 5-8.



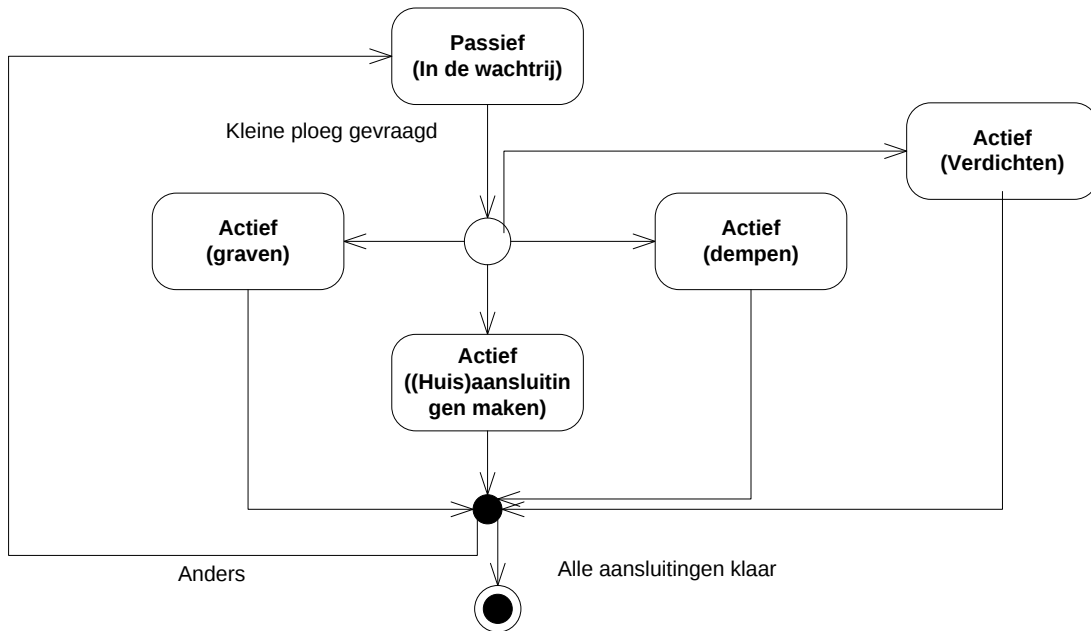
Figuur 5-7 Toestandsdiagram Grote Ploeg (praktijk)



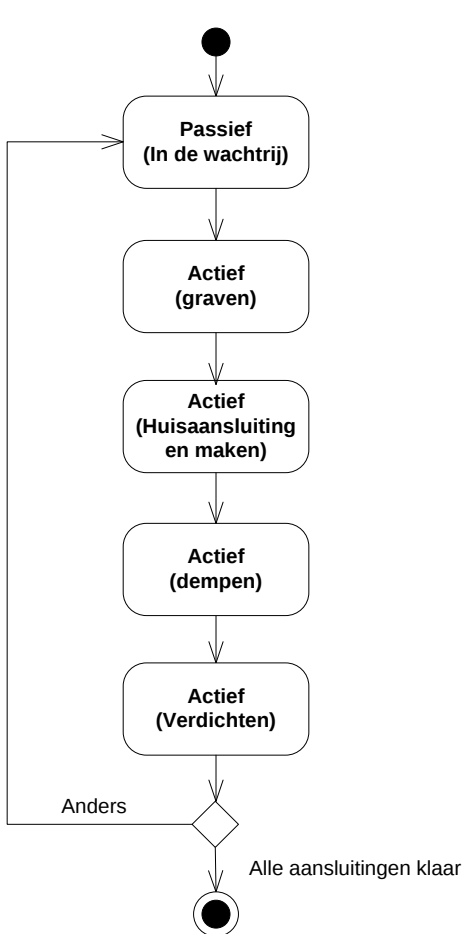
Figuur 5-8 Activiteitendiagram Grote Ploeg

Modellen kleine ploeg

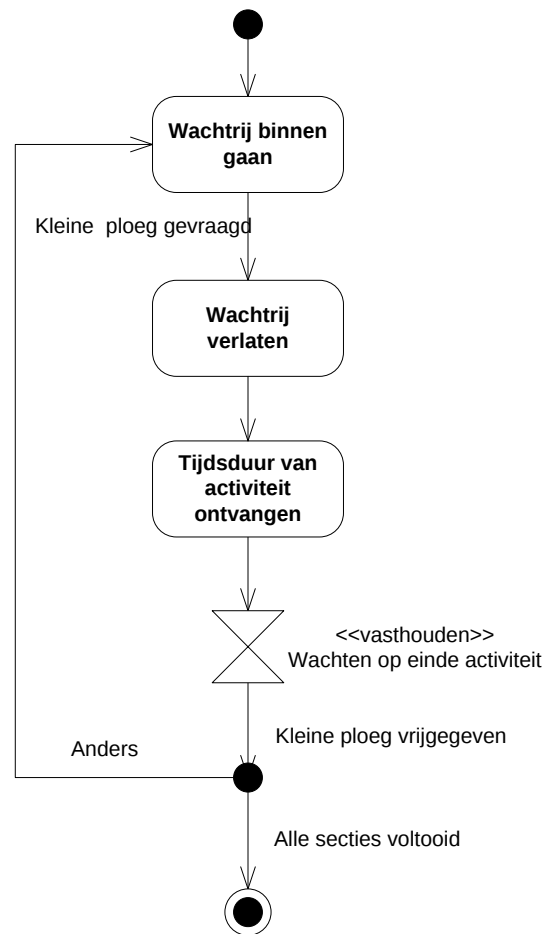
De modellen van de kleine ploeg zijn grotendeels gelijk aan die van de grote ploeg. Het verschil zit in de activiteiten waarvoor de ploegen verantwoordelijk zijn.



Figuur 5-9 Toestandsdiagram Kleine Ploeg (simulatiemodel)



Figuur5-10 Toestandsdiagram Kleine Ploeg (praktijk)



Figuur 5-11 Activiteitendiagram Kleine Ploeg

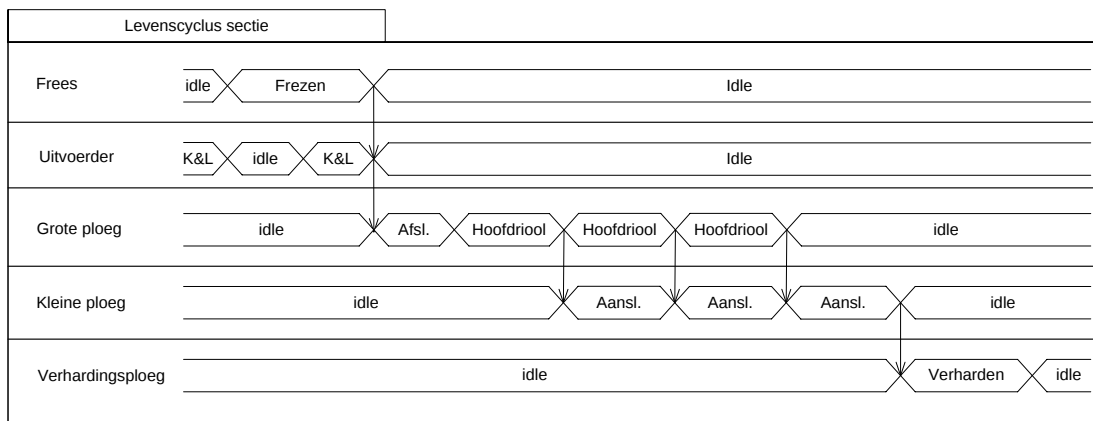
Volgorde diagram

Met de levenscycli van de systeemelementen en de resources in kaart, kan het totale proces in kaart gebracht worden. Dit is gedaan in de vorm van een volgorde diagram, in dit diagram wordt het proces weergegeven voor één wegsectie.

In hoofdstuk 4 is het werkproces opgedeeld in taken die onderdeel zijn van de hoofdcyclus, het hoofdriool en de aansluitingen. Dit komt naar voren in het onderstaande diagram. Het frezen van het asfalt valt hierbij onder de hoofdcyclus samen met activiteiten als het afsluiten van het riool en het uitzetten van kabels en leidingen door de uitvoerder. Deze activiteiten vinden eenmalig plaats voor de gehele wegsectie. De activiteiten voor het vervangen van het hoofdriool vinden daarentegen in een korte cyclus meerdere malen per wegsectie plaats. Hetzelfde geldt voor de huis- en regenwataansluitingen. In het voorbeeld, zoals afgebeeld in het onderstaande diagram, vinden deze activiteiten beide driemaal plaats. Dit representeert het vervangen van drie buizen en plaatsen van drie aansluitingen. Dit wordt ten slotte weer opgevolgd door een taak van de hoofdcyclus, namelijk het aanbrengen van de verharding.

De neerwaartse pijlen in het diagram geven koppelingen weer tussen activiteiten. Zo kan er niet begonnen worden aan de aansluiting op een rioolbuis waarvan de vervanging zelf nog niet is afgerond. In tegenstelling tot deze ruimtelijke beperkingen, zijn de koppelingen tussen het verwijderen en aanbrengen van de verharding minder strak. Er kan in principe begonnen worden met het hoofdriool als de volledige sectie nog niet gebroken is. Andersom komt het regelmatig voor dat al aan het uitvlakken van het zandbed en het verharden van de weg begonnen wordt voor alle rioolwerkzaamheden klaar zijn. Zodoende kan zo snel mogelijk aan de volgende sectie begonnen worden. Dit is afhankelijk van de capaciteit van het aanwezige materieel en afwegingen met betrekking tot de kosten, zoals besproken in hoofdstuk 4.

Het uitzetten van de kabels en leidingen zijn niet gekoppelde activiteiten aangezien deze onafhankelijk van andere activiteiten plaats kunnen vinden. Figuur 5-12 geeft een schematisch overzicht, de duur van verschillende activiteiten is dan ook niet op schaal. Ook hoeft een aansluiting niet even lang te duren als de aanleg van een buis van het hoofdriool.



Figuur 5-12 Volgorde diagram levenscyclus wegsectie

5.2 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn de conceptuele modellen weergegeven die de geïdentificeerde proceslogica weergeven. Voor het opstellen van de visuele modellen is gebruik gemaakt van UML diagrammen. Ter controle van deze modellen zijn ze geverifieerd en gevalideerd. Zo is gecontroleerd of de geïdentificeerde proceslogica en uitvoeringsparameters juist zijn weergegeven in het model. Daarnaast is gecontroleerd of de modellen de werkelijkheid, die beoogd wordt te beschrijven, daadwerkelijk voldoende correct beschrijven. De belangrijkste conclusie was dat de modellen ingewikkeld overkwamen. Figuur 5-12 werd wel als duidelijk ervaren. Ook zijn de modellen als valide gekenmerkt waarbij aangetekend moet worden dat de praktijk vaak weerbarstiger is dan dat in de rigide modellen gevangen wordt.

6. Simulatiemodel

De ontwikkeling van het simulatiemodel is beschreven in het rapport. In deze bijlage wordt een uitgebreid overzicht van de opbouw en werking van het simulatiemodel gegeven. Ook komen de ontwerpafwegingen en de abstracties van de werkelijkheid van het model aan de orde. Daarnaast komt de externe werking voor de gebruiker aan bod. Ten slotte komt de verificatie van het model aan bod.

6.1 Ontwerpafwegingen

Voor het ontwerp van het simulatiemodel hebben de opgestelde proceslogica, en conceptualisatie hiervan, model gestaan. Op basis van deze geïdentificeerde en geformaliseerde kennis en het al bestaande deel van de software, is het simulatiemodel ontwikkeld. Tijdens het ontwerpen en ontwikkelen van het model zijn verschillende keuzes en afwegingen gemaakt. Het resulterende simulatiemodel bestaat uit een simulatiemodel en een softwareschil daar omheen. Het simulatiemodel is het deel van het computerprogramma dat de nabootsing van de realiteit verzorgt binnen het grotere geheel van het computerprogramma. De softwareschil verzorgt de invoer en uitvoer van het model en de overige simulatietaken.

Door in de vorige paragraaf beschreven beperkingen qua scope en beschikbare programmeerkennis is ervoor gekozen om de focus te leggen op een valide en accuraat simulatiemodel. Hierdoor zijn zaken als een user-interface, de invoer, het uitvoeren van experimenten en de uitvoer van het model onderbelicht gebleven. Hiervoor is gekozen omdat deze zaken later relatief gemakkelijk aan het simulatiemodel gekoppeld kunnen worden via aparte modules.

Door de genoemde beperkingen is er ook voor gekozen om alle simulatieroutines hard te programmeren. Dat wil zeggen dat in de verschillende levenscycli van de classes van het simulatiemodel, de bijbehorende stappen vastliggen volgens de vier geïdentificeerde scenario's. Binnen de classes van de levenscycli gaat het simulatiemodel van activiteit naar activiteit tot de volledige levenscyclus doorlopen is. Dit heeft geresulteerd in een minder flexibel model. Opties als constraint-based programming (Wu, Borrmann, Beißert, König, & Rank, 2010), of het gebruik van event scenario's met losse events die uitgevoerd worden op afroep (Cha, Roh, & Lee, 2010) zijn eleganter en flexibeler, maar te moeilijk toe te passen en te omvangrijk voor dit project. Deze keuze heeft als nadeel dat het implementeren van extra proceslogica of nieuwe scenario's veel werk vereist.

In eerste instantie is dit gedaan door alle keuzemogelijkheden in het model via als-dan statements te programmeren. Dit leidde echter tot zeer onoverzichtelijke programmacode. Zoals in paragraaf 4.1 is aangegeven is de overzichtelijkheid van de code een belangrijke eis aan het model. Gedurende de ontwikkeling is er daarom voor gekozen om verschillende onderdelen van het model te wijzigen. Zo was de proceslogica in eerste instantie in één class geprogrammeerd wat tot complexe en onoverzichtelijke code leidde. Daarom is deze class opgedeeld in aparte classes voor rioolputten en strengen. Deze classes zijn deels weer opgedeeld in subprocessen. Een ander voorbeeld is het verplaatsen van de code voor de selectie van het detailniveau van de uitvoer, van de levenscycli classes naar de Activitymessage class. Hierdoor is deze selectie niet meer geprogrammeerd bij elke activiteit in de levenscycli, maar eenmalig in de Activitymessage class.

In paragraaf 3.5 is behandeld dat de wegsecties de basiselementen zijn die als het ware door het systeem stromen. Op basis hiervan is het simulatiemodel ontwikkeld. In de module is er een levenscyclus voor de constructie van een streng rioolbuizen en één voor de constructie van een rioolput in zo'n wegsectie. Voor de simulatie wordt een project dus opgeknip in elkaar opvolgende rioolstrengen en rioolputten.

Hoewel de proceslogica en conceptuele modellen als basis hebben gediend voor het simulatiemodel, zijn niet alle geïdentificeerde activiteiten en parameters verwerkt in het model. Hieraan lagen verschillende redenen ten grondslag. Bijvoorbeeld het uitzetten van kabels en leidingen door de uitvoerder is niet geprogrammeerd omdat deze activiteit parallel verloopt aan het hoofdproces en hier niet van invloed op is. Daarnaast is ook de gebruikelijke fasering in een bouwrijpfase en een woonrijpfase niet geprogrammeerd. Deze omissies worden uitgebreider behandeld bij de abstracties van het simulatiemodel welke zijn bijgevoegd in bijlage 6.4.

Ten slotte is het model niet gekalibreerd. Er is namelijk gekozen om de producties te bepalen aan de hand van productiewaarden van bouwkostenonline.nl (Archidat, 2013) en van gwwkosten.nl (Sdu uitgevers, 2013). Deze twee sites zijn aanbieders van kengetallen van kosten en productievolumes in de bouwnijverheid. Er is gekozen voor deze aanpassing aangezien er bij de opdrachtgever geen kengetallen voor producties bekend zijn en ook

geen voldoende gedetailleerde gegevens van voltooide projecten. Bouwkostenonline.nl wordt gebruikt aan de Universiteit Twente. Gwwkosten.nl wordt door de opdrachtgever gebruikt.

Naast deze algemene ontwerpafwegingen zijn er ook afwegingen gemaakt met betrekking tot het wel of niet modelleren van specifieke delen van de proceslogica. Waar ervoor gekozen is om delen niet te modelleren is sprake van een abstractie van de werkelijkheid. De abstracties zijn bijgevoegd in het bijlage 6.5.

6.2 Opbouw simulatiemodel

In deze paragraaf wordt de interne werking van het simulatiemodel behandeld daarbij wordt een overzicht gegeven van het simulatiemodel en het grotere geheel van het softwaremodel. Eerst wordt een overzicht gegeven van het simulatiemodel, waarna de manier waarop de werkelijkheid wordt gesimuleerd wordt behandeld. Vervolgens wordt het softwaremodel en de plaats van het simulatiemodel daarin besproken.

Het simulatiemodel is het deel van het computerprogramma dat de nabootsing van de realiteit verzorgt binnen het grotere geheel van het computerprogramma. Zoals aangegeven in paragraaf 2.5.2 bestaat Java programmatuur uit classes die objecten vormen die onderling communiceren. Het simulatiemodel bestaat uit meerdere classes die hier besproken worden. In figuur 6-1 is het geheel van classes en onderlinge relaties weergegeven in een objectdiagram. De cijfers bij de relaties geven aan hoe de verhoudingen qua aantal instanties zijn in de onderlinge relaties. Een sterretje geeft aan dat het aantal die zijde van de relatie variabel is. De classes worden hieronder individueel besproken.

Utility Simulation

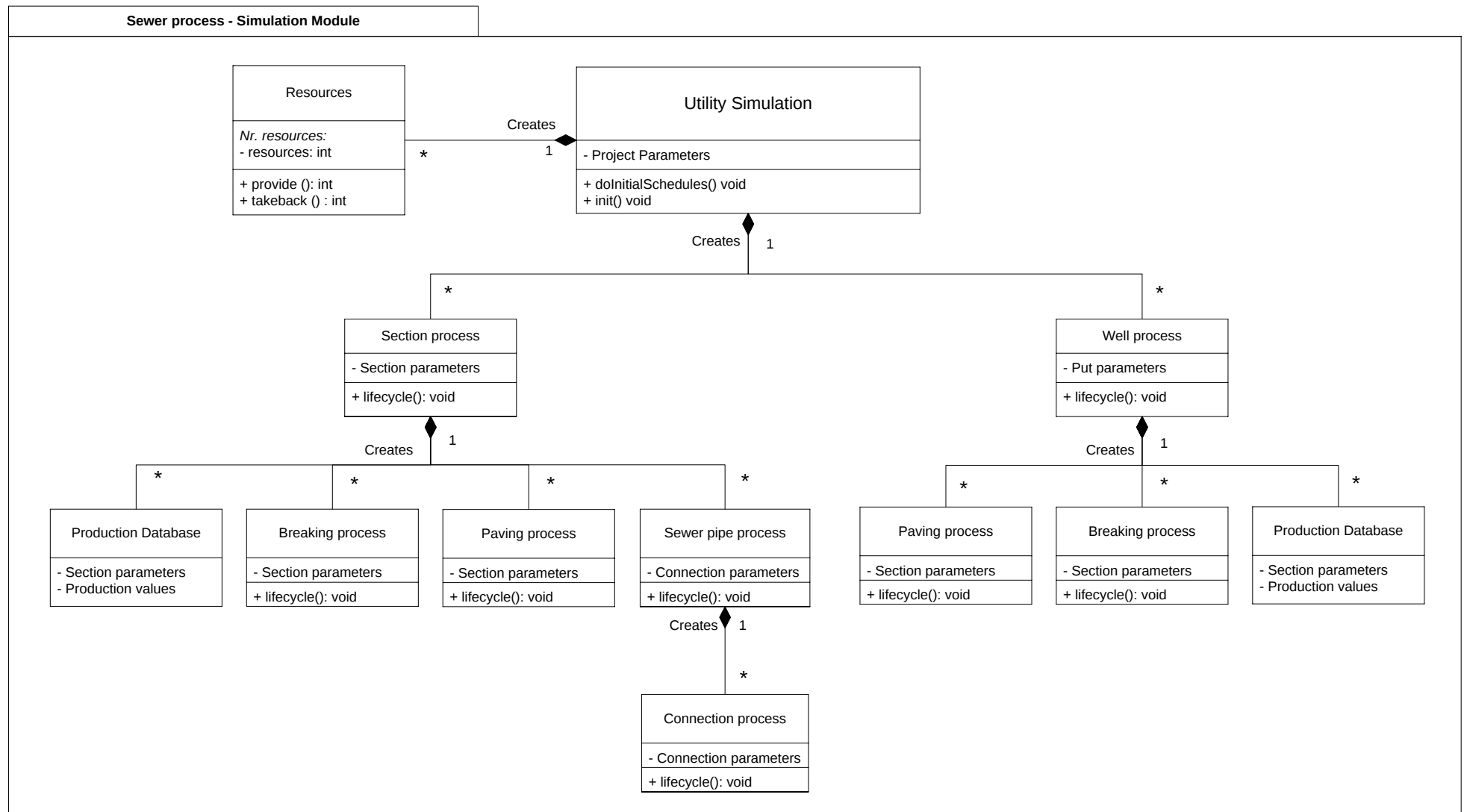
De class UtilitySimulation is de basis van het model en daarmee het gehele programma. Vanuit deze class wordt de simulatie gestart en elke andere class die nodig is geïnitieerd. In deze class worden alle geometrische parameters van de rioolsecties ingeladen, die vervolgens gebruikt worden om de verschillende rioolstrengen en rioolputten te initiëren. Daarnaast worden vanuit deze class de verschillende resources geïnitieerd. Ook worden de stochastische verdelingen voor de duur van de activiteiten in deze class geïnitieerd. Ten slotte wordt het experiment opgestart en uitgevoerd op commando van deze class. Zodra de levenscycli van alle geïnitieerde “Well proces” en “Section proces” classes doorlopen zijn wordt het experiment beëindigd.

Well proces

Indien een rioolsectie een put betreft initieert UtilitySimulation een “Well proces” class. Dit proces doorloopt de uitvoeringscyclus van de aanleg van een rioolput. Deze cyclus bestaat uit verschillende stappen zoals aangegeven in de proceslogica. Indien van toepassing wordt eerst een “Breaking proces” opgestart en uitgevoerd voor de verwijdering van de wegverharding. Daarna wordt de cyclus van grond ontgraven, zandbed prepareren, put plaatsen, aansluitingen maken en grond aanvullen uitgevoerd. In het geval van gescheiden riool wordt het verwijderen en plaatsen van de put tweemaal uitgevoerd. Eventueel wordt het oude riool verwijderd en wordt sleufbeveiliging en grondfundatie toegepast. Ten slotte wordt indien van toepassing een “Paving proces” opgestart voor het aanbrengen van asfaltverharding.

Section proces

Indien een rioolsectie een streng rioolbuizen betreft initieert UtilitySimulation een “Section proces” class. Dit proces doorloopt de uitvoeringscyclus van de aanleg van een streng rioolbuizen. Deze cyclus bestaat ook uit verschillende stappen. Indien van toepassing wordt ook hierbij eerst een Breaking proces opgestart en uitgevoerd voor de verwijdering van de wegverharding. Daarna wordt de cyclus van grond ontgraven, zandbed prepareren, buis plaatsen, aansluitingen maken en grond aanvullen uitgevoerd. Eventueel wordt het oude riool verwijderd en wordt sleufbeveiliging en grondfundatie toegepast. In het geval van gescheiden riool wordt het verwijderen en plaatsen van elke buis tweemaal uitgevoerd. Dit cyclische proces wordt eenmaal uitgevoerd per rioolbuis in de streng. Indien een rioolbuis een huis- of regenwater aansluiting heeft wordt hiervoor een apart “Connection proces” opgestart. Indien er slechts één ploeg aanwezig is wacht het “Section proces” op dit subproces, bij meerdere ploegen gaat het “Section proces” meteen verder. Ten slotte wordt indien van toepassing een “Paving proces” opgestart voor het aanbrengen van asfaltverharding.



Figuur 6-1 Objectdiagram van het simulatiemodel

ConnectionProcess

Indien een rioolbuis een aansluiting dient te krijgen wordt dit proces na voltooiing van die buis opgestart. Indien er slechts één ploeg aanwezig is wacht het “Section proces” op dit proces, bij meerdere ploegen gaat het “Section proces” meteen verder. Dit proces bestaat uit het aanleggen van de aansluiting en het uitvoeren van de tweede grondaanvulling. In het geval van een derde ploeg wordt de grondaanvulling door deze derde ploeg uitgevoerd zodra alle aansluitingen en rioolbuizen zijn aangelegd. In dit geval wordt gebruik gemaakt van de “Secondbackfill” class welke niet in figuur 6-1 is opgenomen.

Breaking

Indien er een wegverharding aanwezig is die verwijderd dient te worden wordt deze class aan het begin van de levenscyclus van een “Well proces” of “Section proces” class opgestart. In het geval van asfaltverharding heeft de gebruiker de keuze om dit per put en/of sectie te doen of eenmalig aan de start van het project.

Paving

Indien er een wegverharding aangebracht dient te worden wordt deze class aan het einde van de levenscyclus van een “Well proces” of “Section proces” class opgestart. In het geval van asfaltverharding heeft de gebruiker de keuze om dit per put en/of sectie te doen of eenmalig aan het eind van het project.

Resources

De projectresources worden geïnitieerd vanuit UtilitySimulation. Elk type resource heeft zijn eigen wachtrij waar ongebruikte resources in wachten tot ze opgevraagd worden. Zodra een type resource zijn taken heeft vervuld wordt de bijbehorende wachtrij, en daarmee de resources, beëindigd.

Production database

De production database is de class die producties bevat voor elke stap in het proces. Aangezien de producties afhankelijk zijn van de geometrische gegevens wordt deze class geïnitieerd voor elke “Well proces” en “Section proces” class. Op die manier kunnen de specifieke producties voor elke rioolsectie berekend worden. Eventuele “Breaking”, “Paving” en “Connection” classes krijgen de van belangzijnde producties mee van de “Well proces” of Section proces class die ze initieert. Zoals behandeld in paragraaf 6.1 zijn deze gegevens verkregen van bouwkostenonline.nl (Archidat, 2013) en gwwkosten.nl (Sdu uitgevers, 2013).

6.3 Softwaremodel

Het softwaremodel bestaat uit meer dan alleen het simulatiemodel. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de overige classes binnen het softwareprogramma. Deze classes werken als ondersteunende classes samen met het simulatiemodel om de simulatie uit te voeren. Het softwareprogramma is het grotere geheel wat zorg draagt voor de totale simulatie, het simulatiemodel verzorgt daarbinnen de nabootsing van de werkelijkheid. De overige taken binnen het softwaremodel zijn het verzorgen van de invoer en uitvoer van het simulatiemodel, de interne communicatie en het uitvoeren van het experiment. Het softwaremodel en de plaats van het simulatiemodel daarbinnen wordt weergegeven in figuur 6-2. Ook hier geldt dat de cijfers aangeven hoe de verhoudingen qua hoeveelheid classes zijn in de onderlinge relaties. Een sterretje geeft aan dat die zijde variabel is. De classes worden hieronder individueel besproken.

Project

De class “Project” bevat de basis informatie van het project zoals naam, locatie en een algemene beschrijving.

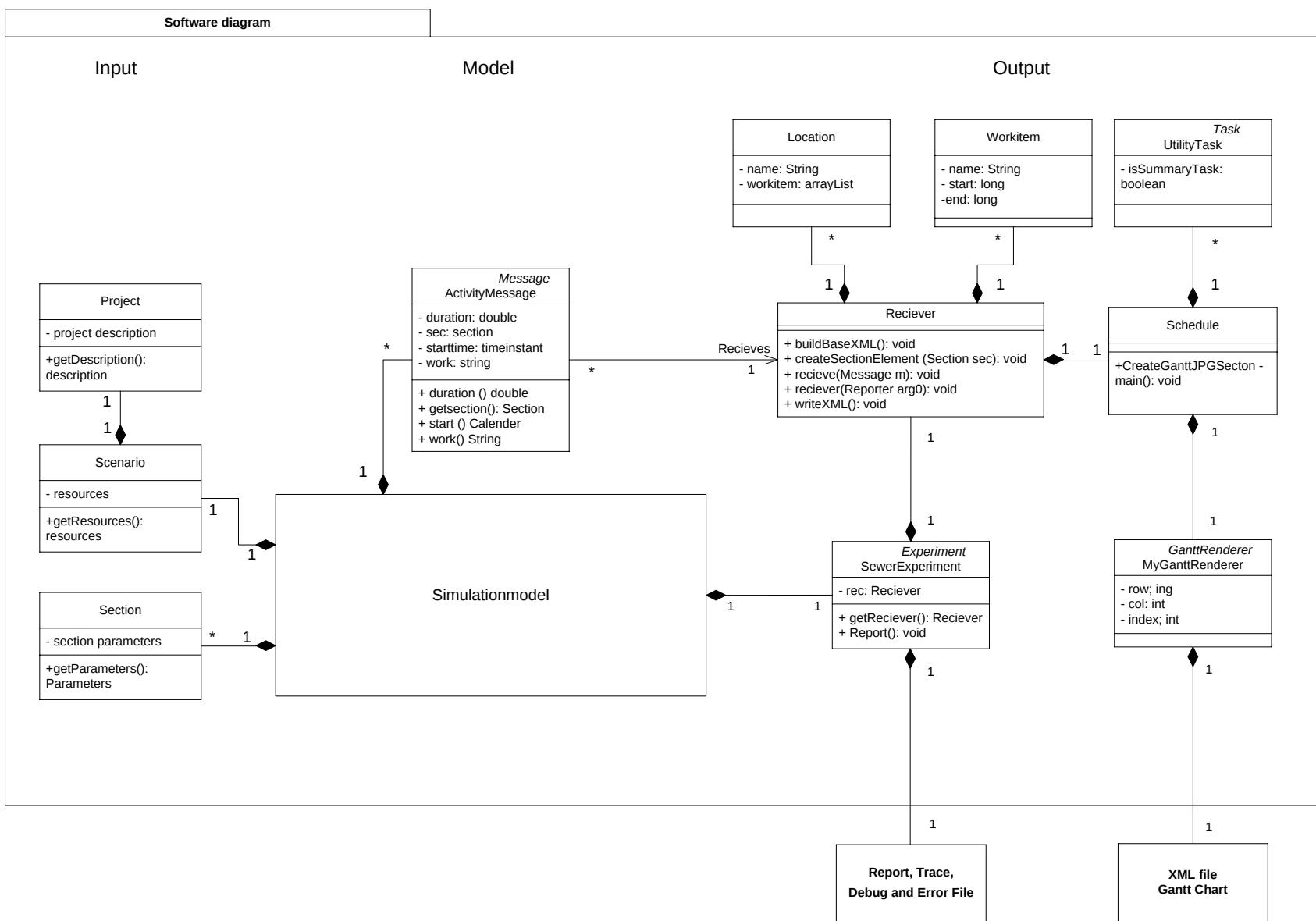
Scenario

De class “Scenario” bevat de parameters die ingesteld kunnen worden door de gebruiker. Hierbij valt te denken aan het uit te voeren scenario en de hoeveelheden van de verschillende resources. Deze class wordt aangeroepen door UtilitySimulation in het simulatiemodel.

Section

In de class “Section” staan de geometrische gegevens van het te simuleren project opgeslagen. Dit zijn de geometrische parameters zoals weergegeven in paragraaf 6.7. Deze class wordt aangeroepen door UtilitySimulation in het simulatiemodel.

N.B. in de huidige versie van de software staan deze gegevens nog in de UtilitySimulation class.



Figuur 6-2 Classdiagram van het Softwaremodel

Simulatiemodel

Dit is het geheel van classes dat het simulatiemodel vormt welke in de vorige paragraaf besproken is.

Experiment

Deze class is verantwoordelijk voor het uitvoeren van de simulatie. Zo draagt deze class zorg voor de simulatieklok, de eventlist en de andere discrete event simulatie gerelateerde onderdelen. Daarnaast initieert deze class de “Reciever” class en wordt output gegenereerd in de vorm van een report-, trace-, en error-file.

ActivityMessage (AM)

Deze class wordt gegenereerd op het moment dat informatie van een activiteit gelogd dient te worden. Dit gebeurt tijdens de verschillende levenscycli van de classes in het simulatiemodel. Zo genereert de activiteit “sleuf graven” in de class “Section proces” één AM. Deze berichten bevatten informatie betreffende de start en eindtijd van de activiteit, de beschrijving van de activiteit, de sectie waar de activiteit toe behoort en het detailniveau van het bericht.

Reciever

Deze class ontvangt de AM’s. De Reciever bepaalt vervolgens, op basis van het door de gebruiker ingestelde detailniveau en het detailniveau gekoppeld aan de AM, of een AM verwerkt wordt of niet.

Als de beide detailniveaus overeenkomen wordt de AM verwerkt met behulp van de classes “Location” en “Workitem”. Deze classes zorgen er gezamenlijk voor dat de “Schedule” class een bestand aanmaakt met daarin de gegevens van alle activiteiten. Hiervoor maakt Schedule gebruik van de class “UtilityTask”.

MyGantRenderer

Het door de class Schedule aangemaakte bestand wordt door deze class gebruikt om een Gantt diagram aan te maken van de uitgevoerde simulatie. In dit diagram wordt een sectie of put samengevat door een groene balk met daaronder activiteiten weergegeven met blauwe balken. Momenteel is dit de enige uitvoer die niet standaard gegenereerd wordt door het Desmo-j framework. In de toekomst kunnen andere uitvoeren gekoppeld worden aan het door Schedule gegenereerde bestand.

Output

Naast de Gantt chart worden er enkele standaard uitvoeren gegenereerd door het Desmo-j framework. Dit zijn de report-, trace-, debug- en error-bestanden. De debug, error en trace bestanden zijn gebruikt tijdens de ontwikkeling en de validatie van het model. Deze bestanden zijn echter te specialistisch en onoverzichtelijk voor gebruik door eindgebruikers. Ook het reportbestand is gebruikt tijdens de ontwikkeling en voor validatie van het bestand. Met enige aanpassingen kan dit bestand ook ingezet worden voor gebruik door eindgebruikers.

6.4 Modelling van de werkelijkheid

In de vorige paragraaf is de opbouw van het simulatiemodel besproken. Naast het “namaken” van de werkelijkheid in het simulatiemodel door middel van activiteiten in deze classes zijn er diverse artificiële regels toegepast in het model. Deze regels dienen om de werkelijkheid accuraat na te bootsten.

De levenscyclus van het project wordt beschreven door 5 verschillende classes, “Well proces”, “Section proces”, “Breaking”, “Paving” en “ConnectionProces”. Deze classes vertegenwoordigen elk een specifiek proces uit de werkelijkheid. Om een simulatie uit te voeren dient er in ieder geval één instantie van één van die processen uitgevoerd te worden. In werkelijkheid zullen bij vrijwel elk project al deze classes meerdere malen voorkomen. Deze worden allemaal bij aanvang van de simulatie geïnitieerd worden, en beginnen daarna meteen aan hun levenscycli.

Zonder verdere restricties zouden alle processen dus parallel aan elkaar uitgevoerd worden. Dit is niet realistisch. Om ervoor te zorgen dat het simulatiemodel de werkelijkheid accuraat modelleert is het daarom nodig om regels toe te passen die de uitvoering van de simulatieprocessen gelijktrekken met de werkelijkheid. De eerste regel volgt automatisch uit de aanwezigheid van resources, indien deze namelijk niet voorradig zijn

voor een proces zal dit proces moeten wachten tot ze vrijkomen. Deze restrictie neemt een groot deel van de onrealistische parallelle uitvoering weg.

Artificiële resource

Voor het uitvoeren van de gemodelleerde activiteiten vragen alle simulatieprocessen de daarvoor benodigde resources aan. Indien deze voorradig zijn wordt begonnen met de activiteit waarna de resources terug gegeven worden aan de resourcepool. Indien de resources tijdelijk niet voorradig zijn wordt de activiteit en daarmee het proces in de wachtrij geplaatst. De prioriteit wordt hierbij bepaald door het “First in First out” principe, dit betekent dat het proces dat als eerste de resources opvraagt deze ook als eerste krijgt. Deze processen zullen in de werkelijkheid echter in een specifieke volgorde uitgevoerd worden. Voorbeeld 1 geeft een situatie weer waar het FIFO principe niet strookt met de werkelijkheid.

Voorbeeld 1: Een project met twee secties zonder bestaande verharding. Sectie 1 vraagt de grote ploeg als eerste op om de rioolsleuf te graven, waardoor sectie 2 automatisch op de wachtlijst komt. Zodra de sleuf gegraven is geeft sectie 1 de grote ploeg terug aan de wachtlijst. De volgende activiteit voor sectie 1 is het verwijderen van het riool. Echter is sectie 2 nu de eerste op de wachtrij, dus begint de grote ploeg daar met het graven van de sleuf. Dit blijft zich herhalen waarbij de grote ploeg itereert tussen sectie 1 en 2.

In de praktijk zal de grote ploeg echter eerst alle activiteiten aan sectie 1 afronden alvorens aan sectie 2 te beginnen.

Om ervoor te zorgen dat voorbeeld 1 niet plaatsvindt, is er een artificiële resource in het leven geroepen. Van deze resource is er slechts één eenheid voorradig. Deze resource wordt opgevraagd door de eerste sectie en pas weer teruggegeven aan de resourcepool wanneer die sectie de grote ploeg niet meer vereist. Pas daarna kan de volgende sectie starten omdat die sectie de volgende in de rij is voor deze artificiële resource.

Wanneer deze resource door een sectie teruggegeven wordt aan de pool is afhankelijk van de aanwezige resources en het gekozen scenario. Zo kan dit al na voltooiing van het hoofdriool zijn indien er een tweede ploeg is voor het leggen van de aansluitingen. Dit kan echter ook pas zijn na het asfalteren van de eerste sectie. Bijvoorbeeld omdat er in verband met de bereikbaarheid pas begonnen mag worden aan de tweede sectie nadat de eerste weer verhard is.

Hoofdproces pauzeren.

Daarnaast zijn er ook activiteiten die verschillende resources gebruiken, en daardoor onbedoeld gelijktijdig uitgevoerd kunnen worden door het simulatiemodel. Voorbeeld 2 geeft hiervan een voorbeeld.

Voorbeeld 2: Een “Section proces” start bij aanvang meteen een subproces voor de verwijdering van de verharding. Dit subproces vraagt de resource asfaltfrees op en start met de activiteit “verwijderen verharding”. Het hoofdproces vervolgt de levenscyclus en vraagt de grote ploeg op om te beginnen met het graven van de sleuf.

In de praktijk zal de grote ploeg pas kunnen graven nadat de verharding verwijderd is.

Ter voorkoming van deze situatie wordt het hoofdproces van de sectie of rioolput stopgezet zodra een proces voor het aanbrengen of verwijderen van verharding wordt gestart. Na beëindiging van dit subproces wordt het hoofdproces weer opgestart. Voorbeeld 3 geeft de noodzaak van een andere pauzering in het proces weer.

Voorbeeld 3: De cyclus van het hoofdriool van een gesimuleerde rioolsectie is voor alle rioolbuizen uitgevoerd. Daarbij zijn er verschillende subprocessen voor huisaansluitingen opgestart welke ook worden uitgevoerd door de grote ploeg (uitvoeringsscenario 1). Het hoofdproces zal echter automatisch doorgaan naar het aanbrengen van de volgende buis vanwege het FIFO principe zoals behandeld bij voorbeeld 1.

In de praktijk zal eerst de aansluiting voltooid worden alvorens met de volgende buis te beginnen.

Ter voorkoming van voorbeeld 3 wordt het hoofdproces gepauzeerd indien er een aansluitingsproces wordt gestart, en er slechts één ploeg is (uitvoeringsscenario 1). Na afronding van de aansluiting wordt het hoofdproces weer opgestart.

Gewenste paralleliteit

Hoewel niet alle processen parallel uitgevoerd kunnen worden is dit deels juist wel gewenst. Hierbij valt te denken aan het parallel frezen van de tweede sectie terwijl bij de eerste begonnen wordt met het rioolwerk zelf. Of het aanbrengen van nieuwe verharding bij eerdere secties terwijl bij de laatste secties nog wordt gewerkt aan het riool. Voorbeeld 4 geeft aan dat ook hier enkele beperkingen vereist zijn.

Voorbeeld 4: Idem aan voorbeeld 3, maar met wel een “kleine ploeg” aanwezig. De cyclus van het hoofdriool van een gesimuleerde rioolsectie is voor alle rioolbuizen uitgevoerd. Daarbij zijn er verschillende subprocessen voor huisaansluitingen opgestart welke parallel worden uitgevoerd door een kleine ploeg. Het hoofdproces zal nu echter automatisch doorgaan naar het aanbrengen van de verharding.

In de praktijk zullen echter alle aansluitingen eerst voltooid moeten zijn, alvorens met de verharding begonnen kan worden.

Ter voorkoming van dit laatste voorbeeld wordt, indien er een kleine ploeg aanwezig is en nog niet alle aansluitingen voltooid zijn, het hoofdproces van een sectie gepauzeerd na voltooiing van het hoofdriool. Elk subprocess voor een aansluiting controleert of het hoofdproces gepauzeerd is, en of alle aansluitingen voltooid zijn. Indien beide het geval is wordt het hoofdproces weer opgestart zodat aan de verharding wordt begonnen.

Naast deze belangrijkste artificiële regels zitten er nog meerdere kleine regels in het model, dit om de gesimuleerde uitvoering gelijk te maken aan de werkelijke uitvoering volgens de vier geïdentificeerde scenario's.

6.5 Abstracties en beperkingen

Naast de algemene ontwerpafwegingen zijn er ook afwegingen gemaakt met betrekking tot het wel of niet modelleren van specifieke delen van de proceslogica. Waar ervoor gekozen is om delen niet te modelleren is sprake van een abstractie van de werkelijkheid. Bij het opstellen van de proceslogica is al een abstractie van de werkelijkheid ontstaan. Hetzelfde heeft plaatsgevonden bij het opstellen van de conceptuele modellen. Ook bij het omzetten van deze informatie naar het simulatiemodel heeft verdere abstractie plaatsgevonden. Dit was nodig omdat het vrijwel altijd te tijdrovend, duur of onmogelijk is om de werkelijkheid volledig in een simulatiemodel te vangen. Het gaat te ver om alle abstracties ten opzichte van de werkelijkheid te noemen. Het spreekt bijvoorbeeld voor zich dat bij het modelleren van het graven van een sleuf niet elke zandkorrel gemodelleerd wordt maar er met een aantal kubieke meter per uur gerekend wordt. Ondanks de abstracties dient het model wel voldoende detailniveau te hebben om aan de doelstelling te voldoen. Op het moment dat een abstractie van invloed is op het gebruik of de uitkomsten van het model dient deze dan ook bekend te zijn bij de gebruiker.

6.5.1 Proceslogica

Niet alle in geïdentificeerde stappen van de proceslogica zijn omgezet naar het simulatiemodel. De redenen hiervoor worden per stap kort toegelicht. Ten eerste is het uitzetten van kabels en leidingen niet geïmplementeerd. Dit omdat de uitvoerder die deze stap uitvoert een losse resource is die deze stap parallel aan het uitvoeringsproces uitvoert. Ook is de inspectie van het riool niet meegenomen. Hoewel dit een belangrijke stap in het proces is, kan deze op diverse momenten uitgevoerd worden. Daarnaast kan deze activiteit vaak parallel aan de uitvoering uitgevoerd worden. Deze omstandigheden maken deze stap lastig inpasbaar in het model en daarnaast van kleine invloed op de uitvoeringsprocessen.

Ook het implementeren van veiligheidsvoorzieningen is niet meegenomen. Deze stap behelst het beveiligen van het bouwterrein voor de omgeving. Dit kan plaatsvinden door het plaatsen van bouwhekken of het dagelijks aanvullen van de sleuf. Ook deze stap is niet gemodelleerd omdat vrijwel altijd gekozen wordt voor het afsluiten van de bouwplaats door middel van bouwhekken. Deze stap vindt voorafgaand aan het project plaats of parallel aan het bouwproces en is daarom niet van belang.

Ten slotte is de grondbemaling niet gemodelleerd. Omdat de bronbemaling enkele dagen dient te draaien voor aanvang van de werkzaamheden is ook deze stap niet van invloed op het bouwproces zelf, en daarom niet gemodelleerd.

6.5.2 Abstracties processtappen

Bij de wel aanwezige processtappen van de proceslogica zijn ook abstracties doorgevoerd. Deze abstracties worden verder per processtap besproken.

Weg openbreken

Het verwijderen van bestrating wordt in het huidige model altijd uitgevoerd door de mobiele graafmachine van de grote ploeg. Dit zou ook door een andere resource plaats kunnen vinden, bijvoorbeeld de shovel van de bestratingsploeg, of een losse resource.

Daarnaast wordt het verwijderen van bestrating nu altijd per sectie uitgevoerd, dit zou net als bij het frezen van asfalt ook bij meerdere of alle secties in één keer kunnen plaatsvinden.

Bestaand riool afsluiten

De geïdentificeerde procesparameters “type afsluiting” en “afvoer” zijn niet toegepast in het model aangezien dit detailniveau niet vereist is voor het doel van het simulatiemodel. Er vindt één activiteit “afsluiten riool” plaats. Het weer openstellen van het riool is niet gemodelleerd aangezien deze stap zeer weinig tijd in beslag neemt.

Grond afgraven

Er kunnen meer obstakels in de grond voorkomen dan alleen kabels en leidingen. Zo bleek uit de interviews dat men regelmatig boomwortels, archeologie en andere zaken in de ondergrond tegenkomt. Voor het simuleren van deze obstakels kan gebruik gemaakt worden van de parameter voor kabels en leidingen.

Het simulatiemodel werkt met één diepte voor een gehele rioolsectie. Aangezien het riool schuin afloopt, komt dit niet overeen met de werkelijkheid. Aangezien de maximale sectielengte tussen twee putten beperkt is leidt dit niet tot grote afwijkingen. De gebruiker dient de gemiddelde diepte van een rioolsectie in te voeren in het model.

Indien de grond afgevoerd wordt naar een depot wordt dit gesimuleerd door een vertragsfactor over deze activiteit toe te passen.

Oud riool verwijderen

Indien de rioolbuizen direct afgevoerd worden van het project wordt dit gesimuleerd door een vertragsfactor over deze activiteit toe te passen.

Nieuw hoofdriool plaatsen

Het model kan de plaatsing van het nieuwe riool met behulp van een telescoopkraan niet simuleren. Dit kan nodig zijn indien de putten te zwaar zijn voor de aanwezige mobiele graafmachine. In een uitzonderlijk geval kunnen ook de rioolbuizen te zwaar zijn, dit komt echter zeer weinig voor.

Indien de rioolbuizen pas aangevoerd worden tijdens de constructie wordt dit gesimuleerd door een vertragsfactor over deze activiteit toe te passen.

Grond aanvullen

Deze abstracties gelden voor de 1^e en de 2^e grondaanvulling. De grond rond het riool dient optimaal verdicht te worden om verzakkingen en verschuivingen te voorkomen. Hiertoe wordt de grond laagsgewijs aangevuld en verdicht. In het model wordt dit versimpeld gesimuleerd als één activiteit.

Indien de grond aangevoerd wordt uit een depot wordt dit gesimuleerd door een vertragsfactor over deze activiteit toe te passen.

Daarnaast wordt bij de put slechts één zandaanvulling uitgevoerd aangezien deze geen verdere aansluitingen heeft. In praktijk wordt deze vaak aangevuld tot dezelfde aanvul hoogte als de streng rioolbuizen, en tegelijk verder aangevuld met de streng rioolbuizen.\

Put aansluitingen

Het model kan niet omgaan met aansluitingen van buizen van een verschillende diameter op een rioolput, daarom is de grootste diameter maatgevend.

Wegverharding

Net als bij het verwijderen van bestrating wordt in het huidige model het bestraten altijd uitgevoerd per sectie uitgevoerd, dit zou net als bij het frezen van asfalt ook bij meerdere of alle secties in één keer kunnen plaatsvinden.

Het aanbrengen van asfaltverharding vindt plaats als één activiteit. In realiteit wordt asfalt in meerdere lagen aangebracht. De gebruiker dient hier rekening mee te houden bij het ingeven van de parameters voor het asfalteren. Hier dient ook rekening mee worden gehouden indien in de bouwrijpfase van een project slechts één of twee basislagen worden geasfalteerd, waarna voor de woonrijpfase de top laag(lagen) worden aangebracht.

Werkplaatsbeveiliging

De geïdentificeerde procesparameter “omvang sleufbeveiliging” is niet in het model geïmplementeerd. Er wordt daarentegen gebruik gemaakt van een productie in meters per uur waarbij de omvang irrelevant is.

6.5.3 Algemene abstracties

Naast abstracties die specifiek van toepassing zijn op de simulatie van specifieke activiteiten zijn er ook abstracties die van toepassing zijn op het gehele simulatiemodel.

Fasering

De belangrijkste beperking van het model zit in de vaste uitvoeringsvolgorde van de simulatie door de beperkingen in flexibiliteit van het simulatiemodel. Dit is een gevolg van de manier van programmeren zoals het gebruik maken van een artificiële resource om de juiste volgorde van uitvoering te realiseren. Dit leidt tot diverse beperkingen.

Het simuleren van een andere uitvoeringsvolgorde dan de huidige vier scenario's vergt daardoor vele aanpassingen in het simulatiemodel zelf.

Daarnaast richt de huidige fasering in het model zich volledig op geometrische fasering. In de werkelijkheid is er vaak sprake van een bouwrijp en woonrijp fasering. Dit is voor de aanleg van riolering geen groot probleem aangezien dit bijna volledig tijdens de bouwrijpfase aangelegd wordt. Wel worden tijdens de woonrijpfase vaak de putdeksels en laatste kolken geplaatst. Dit omdat deze aan het oppervlak liggen en vaak aan schade oplopen tijdens de bouwfase. Het model houdt hier geen rekening mee.

Kabels en leidingen

Kabels en leidingen in de ondergrond zijn een veelvoorkomende oorzaak van vertraging in het uitvoeringsproces. Zoals aangegeven bij de abstracties van de processtap grond afgraven kunnen ook boomwortels, archeologie en andere zaken met deze parameter gesimuleerd worden. Hiertoe wordt niet de exacte ligging en omvang van deze hinder gesimuleerd maar wordt over de totale sectielengte een vertragingfactor toegepast. Het gewicht van deze factor kan door de gebruiker ingesteld worden. Deze factor wordt vervolgens toegepast bij alle activiteiten die last hebben van obstakels, dit zijn: werkplaatsbeveiliging, grond afgraven, riool verwijderen, rioolfundatie, riool plaatsen en grond aanvullen.

Opsteltijden

Het model voert activiteiten direct uit zodra de resources beschikbaar komen voor die activiteiten. Hierbij wordt geen rekening gehouden met eventuele opsteltijden of verplaatsingen van resources.

Productiesnelheden

Voor de inventarisatie van de productiesnelheden van de verschillende activiteiten is gebruik gemaakt van twee sites met kengetallen. Dit zijn bouwkostenonline.nl (Archidat, 2013) en gwwkosten.nl (Sdu uitgevers, 2013). Deze kengetallen zijn niet kwantitatief gevalideerd.

Het model werkt met prefab putten. Voor gemetselde putten waren ten tijde van dit onderzoek geen kengetallen voorradig, dit type putten komt tegenwoordig echter zeer weinig voor.

Voor de productiesnelheden van rioolfundatie waren ten tijde van dit onderzoek geen kengetallen voorradig. De gebruikte producties zijn aannames. De productiesnelheden van het verwijderen van sleufbeveiliging waren eveneens geen kengetallen beschikbaar. Daarom zijn de waardes voor de aanleg van sleufbeveiliging ook gebruikt voor het verwijderen daarvan.

Modellering gescheiden riool

De aanleg van een gemengd riool in het model wordt gesimuleerd als één rioolstreng, waarbij telkens per buislengte twee buizen verwijderd en aangelegd worden. Bij een rioolput wordt de verwijdering en plaatsing van de put tweemaal uitgevoerd. Deze manier van modelleren leidt tot diverse beperkingen die niet overeenkomen met de werkelijkheid, zoals behandeld in 6.4.

Zo veronderstelt deze manier van modelleren dat de rioolstreng lengtes gelijk zijn, en de rioolputten op dezelfde plek gelegen zijn. Hoewel dit vaak het geval is zijn er uitzonderingen. Ook kan het voorkomen dat slechts één van de strengen op een bepaalde plek een rioolput heeft terwijl de andere gewoon doorloopt.

Uitvoer

De utilisatiepercentages die gegeven worden in het report bestand komen niet overeen met de werkelijkheid. Dit komt doordat alle resources aan het begin van de simulatie geïnitieerd. Een asfaltset staat echter niet al bij aanvang van een project op de bouwplaats, maar arriveert pas bij de asfaltering. Hetzelfde geldt voor de kleine ploeg. Het model houdt ook geen rekening met opsteltijden en transporttijden van de resources.

Ten slotte wordt de starttijd van een activiteit nu genoteerd op het moment dat resources toegewezen worden aan die activiteit, en de uitvoering daarvan begint. De tijd dat een activiteit wacht op resources wordt daardoor niet geregistreerd.

6.5.4 Gevolgen voor de gebruiker

De gevolgen die de abstracties hebben voor de gebruiker zijn hieronder puntsgewijs weergegeven.

- De gebruiker dient de gemiddelde diepte van een rioolsectie in te voeren in het model.
- Voor obstakels in de ondergrond dient de gebruiker een inschatting te maken van de vertraging die dit in de uitvoering oplevert.
- De gebruiker dient rekening te houden met het feit dat het asfalteren gemodelleerd wordt als één activiteit, en de maatvoering van de asfaltlaag hier op afstemmen. Hier dient ook rekening mee worden gehouden indien in de bouwrijpfase van een project slechts één of twee basislagen worden geasfalteerd waarna voor de woonrijpfase de top laag(lagen) worden aangebracht.
- Afhankelijk van de situatie kan de gebruiker bij een gemengd riool kiezen voor verschillende workarounds voor de hierboven behandelde beperkingen van het model.
 - Zo kan de gebruiker in het geval van één put in één van de strengen ervoor kiezen de rioolstrengen op te knippen in twee secties met daartussen een put. De put wordt dan gemodelleerd als een gemengd riool zodat de plaatsing van slechts één put gesimuleerd wordt.
 - Ook kan er gekozen worden om de locatie van twee niet bij elkaar liggende putten te middelen tot één locatie. Hierbij worden de strengen voor en na deze put ook gemiddeld. Dit maakt voor de totale doorlooptijd van het project niet uit, voor de individuele secties zullen de simulatiewaarden niet exact overeenkomen met de werkelijkheid
- De gebruiker dient rekening te houden met het feit dat het model de rioleringswerkzaamheden niet op kan splitsen in een bouwrijp- en woonrijpfase.

6.6 Gebruiksproces simulatiemodel

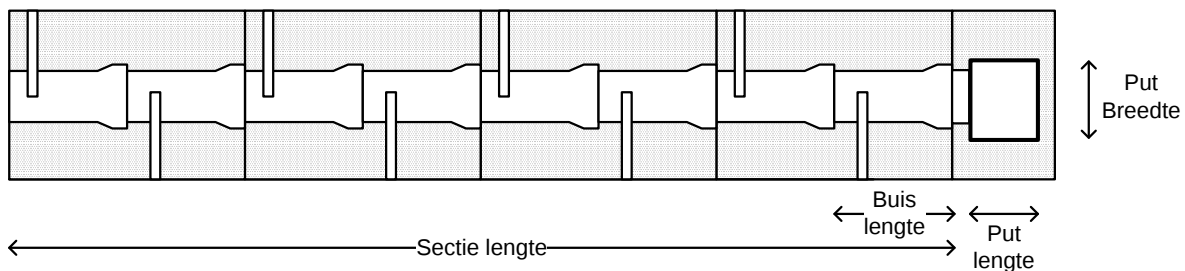
In de vorige paragrafen is ingegaan op de opbouw en werking van het simulatiemodel. Met deze interne werking heeft de gebruiker van het simulatiemodel echter weinig van doen. Het gebruik van het model door de gebruiker is veel meer extern gefocust via de gebruikersinput en modeloutput. Hierbij blijft de interne werking van het simulatiemodel een black box. De werking en mogelijkheden van het model voor de gebruiker worden in deze paragraaf behandeld.

6.6.1 Invoer

De invoermogelijkheden bestaan uit drie categorieën, de projectparameters, gebruikersinstellingen en de producties. Deze drie input opties leveren informatie aan het simulatiemodel wat deze informatie gebruikt om de simulatie uit te voeren. De invoer dient momenteel handmatig in het softwaremodel ingevoerd te worden. De mogelijkheid bestaat om hiervoor een GUI voor op te zetten. Beide invoermethodes vergen echter relatief veel tijd en arbeid van de gebruiker vergeleken met alternatieve mogelijkheden. Vanwege de focus van dit onderzoek op het interne simulatiemodel is er echter voor gekozen om de invoer niet te optimaliseren.

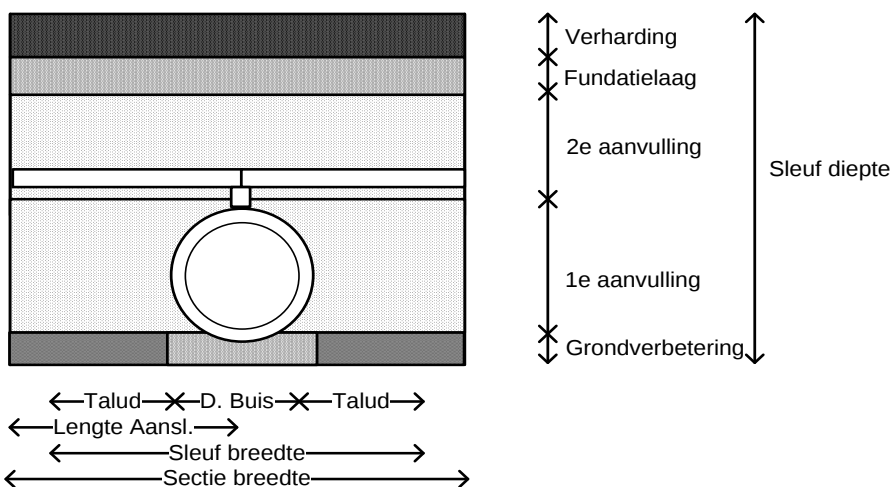
Project parameters

In paragraaf 4.4 zijn de procesparameters behandeld. Tijdens de ontwikkeling van het simulatiemodel zijn er nog enkele parameters toegevoegd. Deze extra parameters zijn toegevoegd bleek dat deze extra informatie vereist is. Dit vanwege uitbreidingen die tijdens de ontwikkeling en verificatie & validatie van het model aan het licht kwamen. In figuur 6-3 en 6-4 is weergegeven welke geometrische gegevens verzameld worden voor het simulatiemodel.



Figuur 6-3 bovenaanzicht sectie - geometrische parameters

In figuur 6-3 is het bovenaanzicht van een streng rioolbuizen en een rioolput gegeven met daarin de voor de simulatie benodigde geometrische gegevens weergegeven. In figuur 6-4 is de dwarsdoorsnede van een rioolbuis weergegeven. Deze doorsnede geldt ook voor een rioolput waarbij, in plaats van de buisdiameter, de puthoogte van belang is.



Figuur 6-4 dwarsdoorsnede rioolstreng - geometrische gegevens

Naast deze geometrische gegevens worden er ook project parameters verzameld die niet geometrisch van aard zijn. Dit zijn, onder andere, of sleufbeveiliging toegepast wordt, of er sprake is van gemengd of gescheiden riool, en of er sprake is van nieuwbouw of riool vervanging. Al deze inputparameters voor het simulatiemodel zijn bijgevoegd in paragraaf 6.7.

Gebruikersinstellingen

Naast de vastliggende informatie van het project heeft de gebruiker ook verschillende keuzes die ingediend dienen te worden. Ten eerste dient van elke resource het beschikbare aantal ingevoerd te worden. Daarnaast heeft de gebruiker de keuze uit de verschillende scenario's die in paragraaf 4.5 zijn behandeld. Ten slotte kan de gebruiker het gewenste type uitvoer en het detailniveau van deze uitvoer aangeven. Ook deze parameters zijn opgenomen in paragraaf 6.7.

Producties

Deze laatste categorie ligt in principe vast, en is gevuld met standaard waarden. Echter kan de gebruiker indien gewenst de producties voor de activiteiten aanpassen in de "Productiondatabase" class. Deze waardes zijn niet bijgevoegd in de bijlage.

Daarnaast heeft de gebruiker ook de mogelijkheid om de stochastische distributie van de duur van de verschillende activiteiten aan te passen. Zowel het type distributie, als de parameters van de distributie zijn aan te passen.

6.6.2 Simulatie mogelijkheden

De gebruiker heeft verschillende mogelijkheden om de uitvoering van de simulatie te beïnvloeden. Dit heeft als doel om informatie te vergaren, ter ondersteuning van het nemen van beslissingen m.b.t. de uitvoering van het gesimuleerde project. Dit gebeurt voornamelijk door manipulatie van de zogeheten gebruikersinstellingen zoals hiervoor besproken. Door het aanpassen van deze instellingen kan de gebruiker testen wat de invloed hiervan is op de uitvoering van het project. Deze mogelijkheden worden hier behandeld.

Scenario's

Zoals in paragraaf 4.4 behandeld zijn er meerdere uitvoeringsscenario's mogelijk. De keuze voor deze scenario's wordt gemaakt op basis van de kosten en projectrestricties zoals bijvoorbeeld uitvoeringstijd. De uitvoering door middel van deze scenario's kan met het simulatiemodel gesimuleerd worden. Deze scenariomogelijkheden zijn:

1. Alle rioolactiviteiten door één ploeg.
2. Hoofdriool activiteiten door grote ploeg en huis- en regenwater- aansluitingen door kleine ploeg
3. Als scenario 1 met 2^e grondaanvulling en uitvlakken door losse graafmachine.
4. Als scenario 2 met 2^e grondaanvulling en uitvlakken door losse graafmachine.

Op basis van de resultaten die deze simulaties opleveren kan er een afgewogen keuze gemaakt worden voor één van deze scenario's. Het verwijderen en aanbrengen van de wegverharding wordt uitgevoerd door aparte ploegen zoals asfaltsets en asfaltfrezen.

Afwegingen

Zoals aangegeven bij de classes "Section proces" en "Well proces" zijn er verschillende activiteiten die afhankelijk van projectparameters wel of niet uitgevoerd worden, zoals rioolfundatie en sleufbeveiliging. Hoewel dit meestal geen keuzes zijn, maar vastliggende projectparameters, zijn er enkele situaties denkbaar waarbij dit toch een gebruikerskeuze kan zijn. Deze afwegingen kunnen met behulp van het simulatieprogramma gemaakt worden.

Zo kan het toepassen van sleufbeveiliging in plaats van een bredere sleuf met talud een keuze zijn. De eerste afweging hierbij is welke werkwijze sneller en daarmee goedkoper is. Een andere afweging is dat een bredere sleuf met talud door de extra breedte voor meer overlast zorgt voor verkeer en/of omwonenden.

Ook de keuze voor wanneer het werk aan een volgende sectie start kan op deze wijze gemaakt worden. Binnen de beperkingen vanwege regels van de opdrachtgever en wet- en regelgeving met betrekking tot bereikbaarheid, bestaan ook hier keuze mogelijkheden. Zo kan er ook in verband met overlastbeperking

gekozen worden om werk aan een sectie uit te stellen tot een andere sectie geheel voltooid is. Ook kan er gestart worden na aanleg van een fundatielaag van zand of puin zodat de sectie weer bereikbaar is voor verkeer. Andere mogelijkheden zijn starten nadat alle aansluitingen zijn voltooid, of nadat het hoofdriool is aangelegd. Deze mogelijkheden zijn instelbaar in het model.

Een tussenvorm hiervan is mogelijk bij het openbreken en opnieuw verharderen van de weg. Indien hiervoor geen bindende regels zijn kunnen ook hier afwegingen gemaakt worden. Zo kan ervoor gekozen worden om alle secties in één keer op te breken. Hierbij kan een tijdelijke bouwweg over delen van het project gebruikt worden voor de bereikbaarheid. Daardoor hoeft er slechts eenmaal een asfaltfrees en/of asfaltset ingezet te worden voor respectievelijk het verwijderen en aanbrengen van de verharding. Tegenover dit voordeel staan de werkzaamheden en kosten voor het aanleggen van de bouwwegen met rijplaten.

Kritieke activiteiten

Het model heeft geen functionaliteit om kritieke pad analyses uit te voeren. Het kritieke pad is echter bij rioleringsprojecten minder interessant dan bij andere bouwwerkzaamheden door de zeer lineaire uitvoering. Desondanks zijn er enkele activiteiten die parallel plaats kunnen vinden en die op elkaar afgestemd kunnen worden. Hierbij valt te denken aan het bepalen van het optimale inzetmoment van de kleine ploeg. Dit moment dient zodanig gepland te worden dat de “kleine” ploeg enerzijds niet op de grote ploeg hoeft te wachten, maar anderzijds zo snel mogelijk na de “grote” ploeg klaar is. In figuur 6-5 is te zien hoe de kleine ploeg (weergegeven door de series van drie korte blauwe balken) later ingezet wordt en inloopt op de grote ploeg (weergegeven door de langere blauwe balken). De gebruiker heeft de mogelijkheid om deze werkzaamheden af te stemmen door het inzetmoment van de kleine ploeg met trial & error te bepalen.

Wat-als scenario's

Het model heeft momenteel geen functionaliteit om wat-als scenario's automatisch te testen. Wel kan de gebruiker deze scenario's handmatig uitvoeren. Zo kan de gebruiker bijvoorbeeld testen wat de invloed van onbekende kabels en leidingen op de uitvoeringsplanning kan zijn. Dit kan de gebruiker doen door fictieve kabels en leidingen in de geometrie van het project te introduceren. Hierna kan de gebruiker het effect hiervan op de resultaten evalueren. Zodoende kan een robuuste uitvoeringsplanning opgesteld worden (König, 2011). Robuust betekent in deze dat normale project variaties geen significant effect hebben op de planning en project doelen. Om dit te bepalen is het nodig verschillende veel voorkomende verstoringen te simuleren. Uit meerdere valide planningen wordt dan de planning gekozen die bijna optimaal is, en zeer robuust.

6.6.3 Uitvoer

De uitvoer van het simulatiemodel geeft de resultaten van de uitgevoerde simulatie weer. Deze uitvoer bestaat uit verschillende rapporten en een Gantt chart. De uitvoermogelijkheden zijn op dit moment nog onderontwikkeld voor het beoogde gebruiksdoel. Dit is vanwege de focus op het interne simulatiemodel. De in figuur 6-2 weergegeven debug en error bestanden zijn alleen van belang voor de ontwikkeling van de software. Deze zijn niet relevant voor de gebruiker en worden dan ook niet behandeld.

Gantt Chart

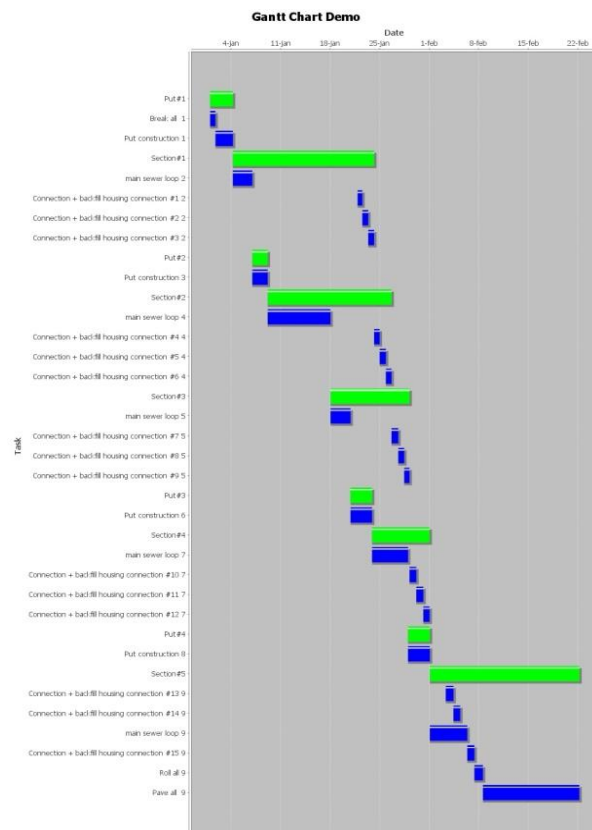
De Gantt Chart is de belangrijkste uitvoer die het model produceert. Het diagram geeft de uitvoering van het gesimuleerde project weer d.m.v. een balkenplanning. Een voorbeeld is weergegeven in figuur 6-5. Hierbij wordt de gehele constructie van een sectie of put samengevat door een groene balk. Daaronder worden de uitgesplitste activiteiten voor die sectie of put weergegeven d.m.v. blauwe balken. Het detailniveau van deze uitgesplitste activiteiten is in te stellen door de gebruiker. De groene balken per rioolsectie zijn altijd gelijk. Er is een afzonderlijke instellingsmogelijkheid voor het detailniveau van de rioolstrengen, de putten en van de aansluitingen. De niveaus zijn:

1. Balken voor elke individuele activiteit (bestaat alleen voor cyclus hoofdriool).
1. Balken per cyclus van het hoofdriool (aanleg één rioolpijp of rioolput) en de aansluitingen.
2. Balken voor basale activiteiten (één balk voor de aanleg van alle rioolpijpen, een rioolput of aansluitingen in een rioolsectie).

De instellingen voor de twee hoogste detailniveaus zijn vooral van nut tijdens de (verdere) ontwikkeling van het model, en ter validatie van het model. Daarnaast kan deze instelling gebruikt worden ter controle van de uitgevoerde simulatie, indien de normale uitvoer hier aanleiding voor geeft. Niveau 3 is overzichtelijker en daarmee gebruiksvriendelijker. Voor normaal gebruik zal deze dan ook vrijwel altijd toegepast worden. In figuur 6-5 is dit detailniveau gebruikt. Dit niveau is nog niet beschikbaar voor de aansluitingen vanwege technische beperkingen. Daarom wordt elke aansluiting nog met een aparte balk weergegeven.

Momenteel is de Gantt chart de enige uitvoer die niet standaard wordt gegenereerd door het Desmo-j framework.

De instellingsmogelijkheden van deze uitvoer in te stellen zijn nog beperkt, zeker vergeleken met meer ontwikkelde specialistische programma's voor het ontwikkelen van balkenplanningen zoals Microsoft Project. De belangrijkste beperkingen zijn momenteel het niet in kunnen stellen van de startdatum, vrije dagen (weekenden, feestdagen en vakanties), en werktijden. Daarnaast is de uitvoer een JPEG bestand waardoor zoomen en scrollen slechts beperkt werkt.



Figuur 6-5 Voorbeeld Gantt Chart

Report

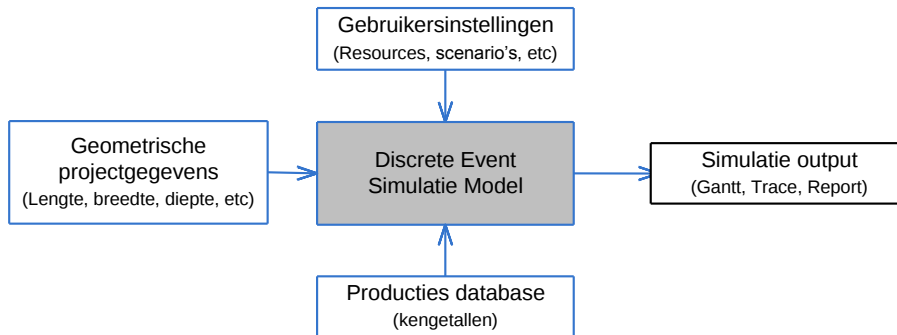
Het report geeft een overzicht van verschillende gegevens die tijdens de uitvoer van de simulatie zijn verzameld. Deze gegevens richten zich op de resources en op de stochastische verdelingen. Voor de gebruiker zijn alleen de gegevens over de resources van belang. Deze informatie bestaat onder andere uit hoe vaak de resources ingezet wordt voor een activiteit, het utilisatiepercentage van de resources en de gemiddelde wachttijd van een activiteit op de resources. Hieraan zitten enkele beperkingen zoals behandeld bij de abstracties van het model in paragraaf 6.4.

Trace

De trace bevat de gebeurtenissenlijst van de uitvoering van de simulatie. Een voorbeeld van het dit bestand is figuur 2-1. Dit bestand bevat dus een exacte reconstructie van de gedraaide simulatie. Door de vele gelogde gebeurtenissen is dit een relatief groot en onoverzichtelijk bestand. Het nut van dit bestand is dan ook beperkt. Echter wanneer de overige uitvoer hier aanleiding toe geeft kan dit bestand gebruikt worden ter controle van de correctheid van de uitgevoerde simulatie.

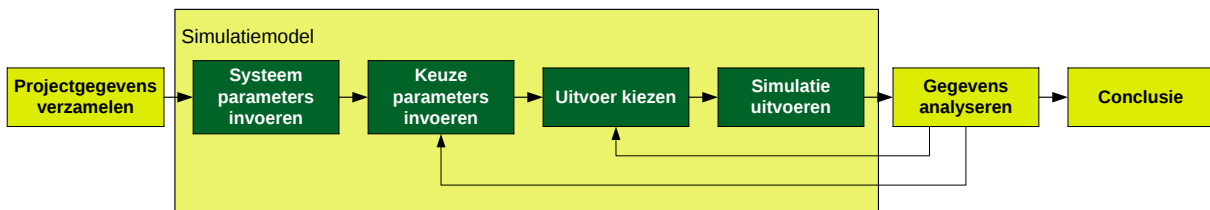
6.6.4 Gebruiksproces voor de gebruiker.

Samengevat vormen de invoer-, simulatie- en uitvoermogelijkheden de interactie tussen de gebruiker en het simulatiemodel. De gebruiker communiceert via drie wegen met het simulatiemodel. Namelijk via de in te voeren projectparameters, de gebruikersinstellingen (resources, het gekozen scenario, de afwegingen en de gewenste uitvoer), en de database met producties. Deze drie input opties leveren informatie aan het simulatiemodel wat deze informatie gebruikt om de simulatie uit te voeren. Hieruit volgt de output volgens de instellingen die de gebruiker heeft gekozen. Deze interactie met de gebruiker is in figuur 6-6 weergegeven.



Figuur 6-6 Gebruiker-simulatiemodel interactie

Uit deze interactie tussen de gebruiker en het model volgt een gebruiksproces voor de toepassing van het model. Dit deels cyclische proces bestaat uit zeven stappen. De eerste stap voor de gebruiker is het verzamelen van de projectgegevens, dit zijn zowel de geometrische gegevens als ook een doel dat de gebruiker wil bereiken met de simulatie. De tweede stap is het invoeren van deze project gegevens. Vervolgens voert de gebruiker de keuze parameters in, zoals het aantal beschikbare resources, en het gekozen scenario in bij stap drie. In de toekomst zou hier ook het gewenste experiment, zoals bijvoorbeeld Monte Carlo analyse, gekozen kunnen worden. De laatste invoerstap is stap vier waarbij de gebruiker het gewenste outputtype en detailniveau selecteert. Stap vijf is het uitvoeren van de simulatie, waarna stap 6 het analyseren van deze gegevens is. Op basis van deze analyse kan besloten worden het model nogmaals uit te voeren met aangepaste keuze parameters of uitvoer. Eventueel kan de gebruiker ook de geometrische gegevens aanpassen, bijvoorbeeld werken in een smallere geul d.m.v. sleufbeveiliging. Het gebruiksproces is afgebeeld in figuur 6-7.



Figuur 6-7 Gebruiksproces simulatiemodel

6.7 Verificatie

De verificatie van het simulatiemodel is behandeld het verslag. In deze bijlage zijn de gegevens van deze verificatie bijgevoegd. Dit zijn de verificatie gegevens van de proceslogica, de procesparameters, de beslissingscriteria en keuzemogelijkheden, en de visuele modellen.

Het feit dat een simulatiemodel het simulatiemodel gedraaid kan worden en uitvoer produceert betekent niet automatisch dat het model ook correct is. Na de ontwikkeling van een simulatiemodel is dit daarom getest om te controleren of het correct werkt. Dit proces bestaat uit verificatie en validatie.

De eerste controle van het opgestelde simulatiemodel bestaat uit het verifiëren van het model. Verificatie controleert of het systeem juist gemaakt is. Deze "interne" controle wordt uitgevoerd door het simulatiemodel te vergelijken met het materiaal dat als basis heeft gediend voor het simulatiemodel. Controle of alle proceslogica, parameters en functionaliteitswensen juist omgezet zijn naar het model verifieert het model op volledigheid. Ook wordt gecontroleerd of alle afhankelijkheden zoals aangegeven in het visuele model goed verwerkt zijn in het simulatiemodel.

6.7.1 Proceslogica

In tabel 6-1 zijn de processtappen zoals geïdentificeerd in hoofdstuk 4 geverifieerd. Uit deze verificatie volgt dat de belangrijkste proceslogica in het model geïmplementeerd is. Enkele in hoofdstuk 4 geïdentificeerde stappen zijn om diverse redenen niet geprogrammeerd zoals aangegeven in de paragraaf 6-4. Leidend hierbij is dat het niet modelleren van deze stappen niet van invloed is op het doel van het simulatiemodel. De overige proceslogica is aanwezig in het model.

Activiteit	Aanwezig	Hoe gemodelleerd
Weg openbreken	Ja	Processtap
Kabels en leidingen uitzetten	Nee	-
Bestaand riool afsluiten	Ja	Processtap
Grond afgraven	Ja	Processtap
Kabels en leidingen	Ja	Vertragingsfactor
Werkplaatsbeveiliging	Ja	Processtap
Oud riool verwijderen	Ja	Processtap
Fundatie	Ja	Processtap
Zandbed prepareren	Ja	Processtap
Nieuw hoofdriool plaatsen	Ja	Processtap
Grond aanvullen	Ja	Processtap
Aansluitingen	Ja	Processtap
Grond aanvullen	Ja	Processtap
Zandtransport	Ja	Vertragingsfactor
Inspectie van het riool	Nee	-
Wegverharding	Ja	Processtap
Aansluitingen rioolput	Ja	Processtap
Veiligheid	Nee	-
Grondbemaling	Nee	-

Tabel 6-1 Verificatie proceslogica

6.7.2 Procesparameters

Naast de proceslogica is ook de aanwezigheid van de vereiste procesparameters in het computermodel gecontroleerd. Hierbij is per processtap geverifieerd of de geïdentificeerde procesparameters gemodelleerd zijn. Indien dit niet het geval is, is beoordeeld of dit nadelige invloed heeft op het nabootsten van de werkelijkheid.

Uit deze verificatie volgde dat vrijwel alle parameters in het model aanwezig waren. Daarnaast zijn tijdens het programmeren nieuwe parameters toegevoegd. In tabel 6-2 is een overzicht gegeven van de niet gemodelleerde procesparameters. Hierbij worden de niet aanwezige parameters behandeld. Van de processtappen die niet gemodelleerd zijn (zie vorige paragraaf) worden de niet aanwezige parameters niet apart behandeld.

Processtap	Parameter	Reden afwezigheid
kabels en leidingen	Type K & L	Anders gemodelleerd
Afsluiten riool	Type afsluiting	Te hoog detailniveau.
Afsluiten riool	Afvoer	Te hoog detailniveau.
Grond afgraven	Boomwortels/archeologie/etc.	Kan via kabels en leidingen gesimuleerd worden.
Meerdere	Afstand Depot	Niet van belang voor simulatie
Werkplaatsbeveiliging	Omvang sleufbeveiliging	Anders gemodelleerd
Buis plaatsen	Aparte telescoopkraan nodig	Komt zeer weinig voor + kan gesimuleerd worden via kabels en leidingen worden.
Put plaatsen	Aparte telescoopkraan nodig	-
Grond aanvullen	Aantal verdichtingslagen	Te hoog detailniveau.

Tabel 6-2 Niet aanwezige procesparameters in het model.

Voor de niet aanwezige parameters geldt dat deze niet van invloed zijn op het bereiken van de vereiste accuratesse van het model. Indien als reden gegeven is “te hoog detailniveau” betekend dit dat hiervoor een abstractie van de werkelijkheid is toegepast in het model. Ook kan het zijn dat de parameter niet gebruikt wordt omdat de modellering van de activiteit op een andere manier plaatsvindt, waardoor deze parameter overbodig is.

Uitzondering is het toepassen van een telescoopkraan voor het plaatsen van putten. Dit is een situatie die regelmatig voorkomt indien de te plaatsen putten te zwaar zijn voor de aanwezige graafmachine. Dit is dan ook een tekortkoming in het model. Indien dit het geval is zorgt dit vaak voor een langere duur van het project. Deels wordt dit gemodelleerd doordat een grotere put zelf al leidt tot een langere plaatsingsduur, maar niet volledig.

6.7.3 Beslissingscriteria en keuze mogelijkheden

Op basis van de beslissingscriteria en keuze mogelijkheden zijn er vier uitvoeringsscenario's opgesteld. De aanwezigheid en werking van de opgestelde uitvoeringsscenario's is geverifieerd. De simulatiemogelijkheden voor het maken van afwegingen, resource afstemming en wat-als scenario's worden uitgevoerd door simulaties uit te voeren met afwijkende parameters instellingen. Deze mogelijkheden volgen dan ook uit de aanwezigheid en juiste werking van de simulatieparameters. Deze mogelijkheden zijn dan ook niet apart geverifieerd.

6.7.4 Visuele modellen

De visuele modellen zijn op te delen in modellen van een rioolsectie beschrijven en modellen die de taken van de verschillende resources beschrijven. Het toestandsdiagram van de sectie geeft alleen scenario 2 weer, en is daardoor alleen voor dit scenario geverifieerd. Alle diagrammen zijn geverifieerd door vergelijking met de levenscyclus van de classes “Section process”, “Well process”, “Breaking”, “Paving” en “ConnectionProcess”. Voor het verifiëren van de modellen van de resources is bij alle stappen gecontroleerd welke resources er opgevraagd kunnen worden bij de verschillende scenario's en of dit overeenkomt met de modellen. Uit deze controle is geconcludeerd dat het simulatiemodel het uitvoeringsproces zoals weergegeven in de visuele modellen accuraat nabootst.

6.8 Parameters simulatiemodel

Het simulatiemodel dient voor het uitvoeren van de simulatie gevuld te worden met de parameters van het betreffende project. De invoer bestaat uit de projectparameters en de gebruikersinstellingen waarbij de projectparameters zijn op te delen in geometrische parameters en niet-geometrische parameters. De gebruikersinstellingen bestaan uit de aantallen in te zetten resources, de simulatie instellingen, de output instellingen en de stochastische verdelingen. Deze parameters zijn in deze bijlage gesorteerd weergegeven per type. Van elke parameter wordt de naam in de software, het type en de functie weergegeven. De parameters kunnen van het type Integer (gehele getallen), Double (decimale getallen), Booleaans (ja of nee), Stochastisch (kansverdeling) en String (tekst) zijn.

Resources

Parameter	Type	Functie
NUM_BREAKER	Integer	Aantal asfaltfreen
NUM_EXCAVATOR	Integer	Aantal graafmachines
NUM_CRANE	Integer	Aantal mobiele Kranen
NUM_CREW	Integer	Aantal grote ploegen
NUM_2NDCREW	Integer	Aantal kleine ploegen
NUM_2NDBACKFILLCREW	Integer	Aantal losse graafmachines
NUM_ROLLER	Integer	Aantal uitvlak ploegen
NUM_TRUCK	Integer	Aantal trucks
NUM_PAVECREWS	Integer	Aantal asfaltsets
NUM_STONEPAVECREWS	Integer	Aantal straatploegen

Tabel 6-3 resources

Simulatie instellingen

Instellingen die de uitvoering van de simulatie bepalen. Voor de scenario's zijn geen aparte parameters, dit wordt door de simulatie automatisch bepaald uit de beschikbare resources.

Parameter	Type	Functie
NUM_STARTINGCONDITION	Integer	Artificiële resource ten behoeve van accurate modellering
SectionWait	Integer	Indicator voor wanneer de volgende sectie kan starten: 1 = na hoofdcyclus, 2 = na 2 ^e aanvulling, 3 = na voorbereiding verharding, 4 = na wegverharding
ConnectionWait	Integer	Bepaalt de wachttijd voor de kleine ploeg begint (op het project verschijnt) in aantal simulatietijdseenheden (uur)

Tabel 6-4 Simulatie instellingen

Output instellingen

Instellingen voor de gewenste uitvoer van het model.

Parameter	Type	Functie
activityMsg	Integer	Bepaalt het detailniveau van de uitvoer voor de hoofdcyclus 1 = niveau 1, 2 = niveau 2, 3 = niveau 3
activityMsgConnection	Integer	Bepaalt het detailniveau van de uitvoer voor de aansluitingen 1 = niveau 1, 2 = niveau 2, 10 = geen informatie
activityMsgPut	Integer	Bepaalt het detailniveau van de uitvoer voor de hoofdcyclus 1 = niveau 1, 2 = niveau

Tabel 6-5 Output instellingen

Stochastische parameters

De kansverdelingen van de tijdsduur van de verschillende activiteiten.

Parameter	type	Functie
breakingTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur asfalt frezen
stoneRemovalTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur stenen verwijderen
excavatingTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur sleuf graven
shoreTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur sleufbeveiliging
pipeRemoveTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur riool verwijderen
putRemoveTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur rioolput verwijderen
bedPreparationTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur zandbed preparatie
foundationTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur rioolfundatie
pipePlacingTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur rioolpijp aanbrengen
putPlacingTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur rioolput aanbrengen
removeTrenchTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur sleufbeveiliging verwijderen
housingConnectionTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur huisaansluiting aanleggen
putConnectionTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur putaansluiting maken
backfillTime=	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur grondaanvulling
surfacePrepareTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur grond uitvlakken
paveTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur asfalteren
stonePaveTime	Stochastisch	Stochastische verdeling tijdsduur straten

Tabel 6-6 Stochastische verdelingen

Geometrische parameters

De geometrische parameters betreffen de afmetingen van het project. Deze worden ingevuld voor elke sectie. De waarden voor alle secties van één parameter vullen een Array (rij) in het simulatiemodel. Deze gegevens worden bij het initiëren van de secties uitgelezen uit deze Arrays. In figuur 6-3 en 6-4 is weergegeven welke geometrische gegevens verzameld worden voor het simulatiemodel.

Parameter	Verdeling	Functie
put	Integer	Geeft aan of een sectie een put of streng is: 0 = sectie, 1 = put.
section_length	Double	Sectielengte in meter.
pipe_length	Double	Rioolbuislengte in meter.
section_width	Double	Sectiebreedte in meter.
trench_width	Double	Sleufbreedte in meter.
trench_depth	Double	Sleufdiepte in meter.
old_sewer_type	String	Type riool van het oude riool: beton, gres of kunststof.
new_sewer_type	String	Type riool van het nieuwe riool: beton, gres of kunststof.
old_diameter	Double	Diameter oud riool in mm.
old_diameter_sep	Double	Diameter oud riool in mm (gescheiden vuilwater).
new_diameter	Double	Diameter nieuw riool in mm.
new_diameter_sep	Double	Diameter nieuw riool in mm (gescheiden vuilwater).
asphalt_old	Double	Dikte bestaande asfalt in mm.
asphalt_new	Double	Dikte nieuw asfalt in mm (alle lagen).
length_connections	Double	Lengte van aansluitingen in meter (Gemiddeld).
diameter_connections	Double	Diameter van de aansluitingen in mm.
old_put_area	Double	Oppervlak oude rioolput in m ² .
old_put_area_sep	Double	Oppervlak oude rioolput in m ² (gescheiden vuilwater).
new_put_area	Double	Oppervlak nieuwe rioolput in m ² .
new_put_area_sep	Double	Oppervlak nieuwe rioolput in m ² (gescheiden vuilwater).
rock_layer	Double	Dikte van de puinbaan in m.
sand_layer	Double	Dikte van het zandbed in m.
bed_preparation	Double	Dikte van de grondverbetering in m.
num_put_connections	Double	Het aantal aansluitingen van een put.
pipe_connections	Array of arrays	Bevat voor elke sectie een array met daarin de locatie van aansluitingen zoals section1_connections
section1_connections	Array of Integers	Array voor een sectie met daarin aangegeven welke buizen connecties hebben.

Tabel 6-7 Geometrische parameters

Niet-geometrische parameters

De niet-geometrische parameters zijn de overige gegevens die van belang zijn voor het draaien van de simulatie. Ook deze parameters worden ingevuld voor elke sectie in een Array (rij) in het simulatiemodel. Deze gegevens worden bij het initiëren van de secties uitgelezen uit deze Arrays. Enkele niet-geometrische parameters kunnen ook gebruikerskeuzes zijn zoals aangegeven in paragraaf 6-4.

NUM_SEC	Integer	Aantal secties
shore	Integer	Indicator voor sleufbeveiling: 0 = geen, 1 = glijdende kist, 2 = damwand, 3 = gestutte muren.
replacement	Integer	Indicator voor vervanging: 0 = nieuwbouw, 1 is vervanging
oldSeparated	Integer	Indicator voor type oude riool: 1 is gemengd, 2 is gescheiden
newSeparated	Integer	Indicator voor type nieuwe riool: 1 is gemengd, 2 is gescheiden
old_pavement	Integer	Indicator voor type oude verharding, 0 = geen, 1 = asfalt, 2 = bestrating, 3 = asfalt; alle secties in één keer
new_pavement	Integer	Indicator voor type nieuwe verharding, 0 = geen, 1 = asfalt, 2 = bestrating, 3 = asfalt; alle secties in één keer
cables	Integer	Indicator voor kabels en leidingen in de sectie, gewicht gaat van 0 (geen) tot 5 (vertragsfactor van 1.5)
foundation_type	Integer	Indicator voor type rioolfundatie, 0 = geen, 1 = zandversteving, 2 = piepschuim platen, 3 = paalfundering
soil_removed	Integer	Indicator voor waar uitgegraven zand geplaatst wordt: 0 = naast de geul, 1 = direct afgevoerd naar depot.
soil_new	Integer	Indicator voor waar aanvul zand vandaan komt wordt: 0 = naast de geul, 1 = direct aangevoerd uit depot.
pipes_old	Integer	Indicator voor waar uitgegraven zand geplaatst wordt: 0 = naast de geul, 1 = direct afgevoerd naar depot.
pipes_new	Integer	Indicator voor waar aanvul zand vandaan komt wordt: 0 = naast de geul, 1 = direct aangevoerd uit depot.

Tabel 6-8 Niet-geometrische parameters

6.9 Samenvatting

In dit hoofdstuk is het in het kader van dit onderzoek ontwikkelde softwareprogramma besproken. De ontwikkeling is een belangrijke stap geweest in het onderzoek. Het softwareprogramma bestaat uit het simulatiemodel dat de werkelijkheid nabootst en overige onderdelen die de simulatie mogelijk maken. Het simulatiemodel is ontwikkeld op basis van de geïdentificeerde proceslogica en de daarvan ontwikkelde visuele modellen.

De ontwikkeling van het simulatiemodel en de discussie van dit model is behandeld in het rapport. In dit bijlagendossier is de opbouw en werking van het model uitvoerig aan de orde gekomen. Daarnaast zijn de abstracties van het model, het gebruiksproces, de verificatieresultaten en de modelparameters behandeld.

Voor aanvang van het ontwikkelen zijn enkele eisen aan het simulatiemodel opgesteld. Deze eisen komen voort uit de opdrachtomschrijving en gehouden interviews. De geïdentificeerde eisen richten zich zowel op de functionaliteit van het model als het gebruiksgemak. Dit onderzoek heeft zich vanwege de beperkte scope voornamelijk gericht op de interne werking van het simulatiemodel. Hierbij is gefocust op het accuraat simuleren van de werkelijkheid. Het simulatiemodel en softwaremodel zijn behandeld in paragrafen 6.1 en 6.3. In paragraaf 6.2 is de modellering van de werkelijkheid weergegeven. Het simulatiemodel bootst de werkelijkheid na tijdens een simulatie. Deze nagebootste werkelijkheid is een abstractie van de werkelijkheid. Deze verschillen tussen het simulatiemodel en de werkelijkheid zijn besproken in paragraaf 6.4. Naast de interne werking heeft het simulatiemodel ook een externe werking die van belang is voor een gebruiker. Deze externe werking beslaat de invoer en uitvoer van het model en de mogelijkheden van het model. Deze werking is behandeld en vertaald naar een gebruiksproces van het model in paragraaf 6.5. Na de ontwikkeling is het simulatiemodel geverifieerd zoals behandeld in paragraaf 6.6. Tijdens deze verificatiestap is het model gecontroleerd aan de hand van de proceslogica en visuele modellen. Uit deze verificatie is gebleken dat deze onderdelen accuraat zijn omgezet naar het simulatiemodel. De parameters die ingevoerd dienen te worden om een simulatie van een project uit te voeren zijn bijgevoegd in bijlage 6.7

7. Toepassing simulatiemodel

Bij wijze van test en ter validatie van het model is het simulatiemodel toegepast op een fictief en een echt project. Deze toepassing is behandeld in hoofdstuk 5. In deze bijlage zijn de achtergrond informatie van deze toepassing, de uitgebreide resultaten, en de projectinformatie van het project A1 Deventer bijgevoegd.

Het model niet vooraf gekalibreerd, dit vanwege het ontbreken van kengetallen van producties bij de opdrachtgever en het ontbreken van voldoende gedetailleerde gegevens van voltooide projecten. Er is daarom gebruik gemaakt van kengetallen van productiewaarden van bouwkostenonline.nl (Archidat, 2013) en gwwkosten.nl (Sdu uitgevers, 2013). Omdat het valideren van deze producties buiten de scope van dit onderzoek viel is ervoor gekozen het model niet kwantitatief te valideren.

Tijdens dit onderzoek is daarom gebruik gemaakt van kennis gebaseerde validatie (Min, Yang, & Wang, 2010). Dit is gedaan door de uitkomsten van het simulatiemodel te evalueren met ervaringsdeskundigen. Dit maakt het mogelijk om de verschillende gesimuleerde delen van het uitvoeringsproces te beoordelen.

Deze validatie heeft op twee manieren plaatsgevonden. Ten eerste door de simulatie van een fictief project behandeld in paragraaf 7.1 wordt. Vervolgens door de simulatie van een echt project die aan bod komt in paragraaf 7.2. Tot slot is ook het gebruik van het programma door ervaringsdeskundigen getest, aangezien het doel is dat zij er mee gaan werken. De resultaten hiervan zijn gebruikt worden om het programma verder te verbeteren en gebruiksvriendelijker te maken. Deze resultaten zijn weergegeven in paragraaf 7.3 De verzamelde gegevens van het project zijn bijgevoegd in paragraaf 7.4.

7.1 Toepassing fictief project

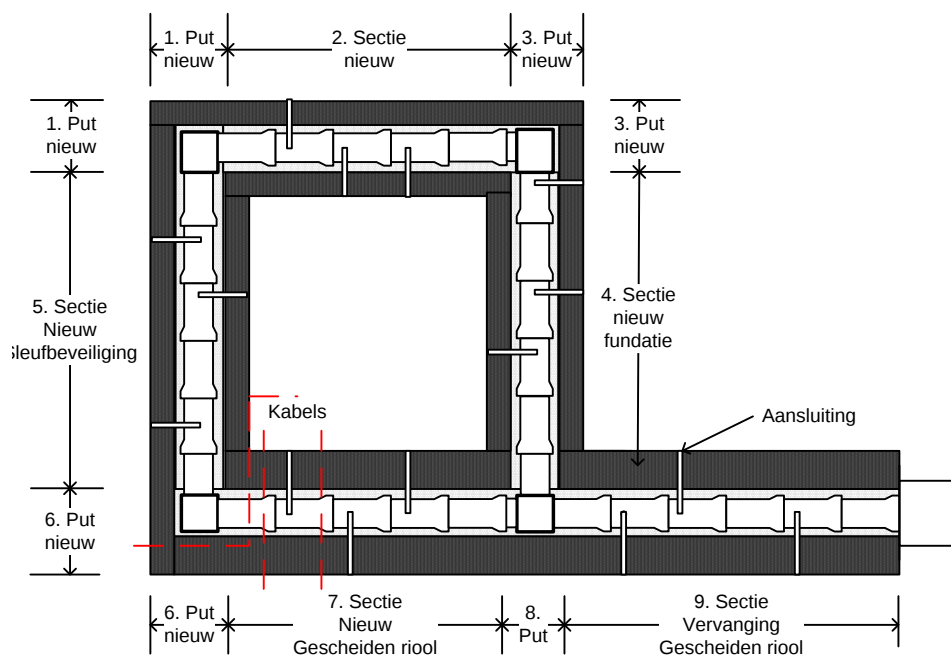
De eerste test van het model heeft plaatsgevonden door het beoordelen van de uitkomsten van het model voor een fictief project. In het onderzoeksvoorstel is gesteld dat de eerste validatie van het model plaats zou gaan vinden met behulp van gegevens van uitgevoerde projecten. Vanwege het feit dat van dergelijke projecten niet afdoende gedetailleerde gegevens beschikbaar waren is ervoor gekozen om het model te valideren met een fictief project. Het doel van deze test was het controleren van de uitkomsten van het model. Hierbij zijn de verschillende scenario's, opties en uitvoermogelijkheden van het model getest. Er is gekozen voor een fictief project omdat dit de mogelijkheid bied alle scenario's en opties in één project te testen, en relatief snel uitvoerbaar is.

Het fictieve project bestaat uit vier rioolputten en vijf rioolstrengen en is weergegeven in figuur 7-1. De rioolstrengen bestaan elk uit vijf of zes rioolpijpen en drie aansluitingen. De putten hebben twee aansluitingen, op één put na welke drie aansluitingen heeft.

Rioolsectie 2 en 3 dienen als basis units met het basis uitvoeringsproces. Bij de andere putten en rioolstrengen zijn verschillende opties van het simulatiemodel toegepast. Dit zijn de opties die het simulatiemodel bied zoals: sleufbeveiliging, rioolfundatie, etc. Daarnaast is ook de invloed van verschillende waarden van geometrische parameters getest. Zo is één wegvak breder dan de overige, en zijn er op één plek in het project kruisende kabels en leidingen geplaatst. Alle toegepaste afwijkingen zijn weergegeven in tabel 7.1. Daarbij zijn de gevolgen die op zouden moeten treden vanwege deze afwijkingen weergegeven. De simulatie-instellingen zijn bijgevoegd in het digitale simulatiemodel.

Rioolsectie	Uitbreidingen	Verwacht resultaat
Put 3	Geen	-
Put 1	Asfalt verwijderen van alle secties en afsluiten van het riool.	Extra actie
Put 6	Bredere weg en hinder van kabels en leidingen	Extra tijdsduur
Put 8	Bredere weg en extra aansluiting en gescheiden riool	Extra tijdsduur en extra acties
Sectie 2	Geen	-
Sectie 4	Rioolfundatie	Extra actie
Sectie 5	Sleufbeveiliging	Extra actie
Sectie 7	Bredere weg, hinder van kabels en leidingen en gescheiden riool	Extra tijdsduur en extra actie
Sectie 9	Bredere weg, rioolvervanging i.p.v. nieuwbouw, gescheiden riool en asfalteren	Extra acties

Tabel 7-1 Beschrijving rioolsecties fictief project



Figuur 7-1 Voorbeeld project rioolaanleg

In tabel 7-2 zijn de invoerparameters van het fictieve project weergegeven, deze instellingen gelden voor alle secties tenzij anders vermeld in tabel 7-1.

Parameter	Project A1 - Deventer	Invoer model
Section_length	Rioolstreng 12,5 m, rioolput 4m	12,5/4
Section_width	4 meter (7 bij de bredere wegdelen)	4/7
Trench_width	4 meter (5 bij de bredere wegdelen)	4/5
Trench_dept	2 meter	2
replacement	Geen replacement	0
oldSeparated	Geen oud riool aanwezig	0
newSeparated	Het nieuwe riool is gescheiden	0
num_put_connections	2 is standaard, indien 3 is het aangegeven	2
old_pavement	Geen oude verharding aanwezig	0
new_pavement	Geen nieuwe verharding aanwezig	0
cables	Geen kabels en leidingen	0
foundation_type	Geen fundatie	0
soil_removed	naast de geul	0
soil_new	naast de geul	0
pipes_old	Geen oud riool aanwezig	0
pipes_new	naast de geul	0
old_sewer_type	Geen oud riool aanwezig	Beton
new_sewer_type	beton	beton
old_diameter	Geen oud riool aanwezig	0
new_diameter_DWA	Vaste diameter 300 mm	300
asphalt_old	Geen oude verharding aanwezig	0
asphalt_new	Geen nieuwe verharding aanwezig	0
length_connections	4 meter (7 bij de bredere wegdelen)	4/7
diameter_connections	allemaal 160 mm	300
old_put_area	Geen oud riool aanwezig	0
new_put_area_DWA	Het oppervlak is 4 m ²	4
rock_layer	Dikte puinbaan 30 cm	0,3
sand_layer	Geen extra zandlaag	0
bed_preparation	Geen grondverbetering nodig	0

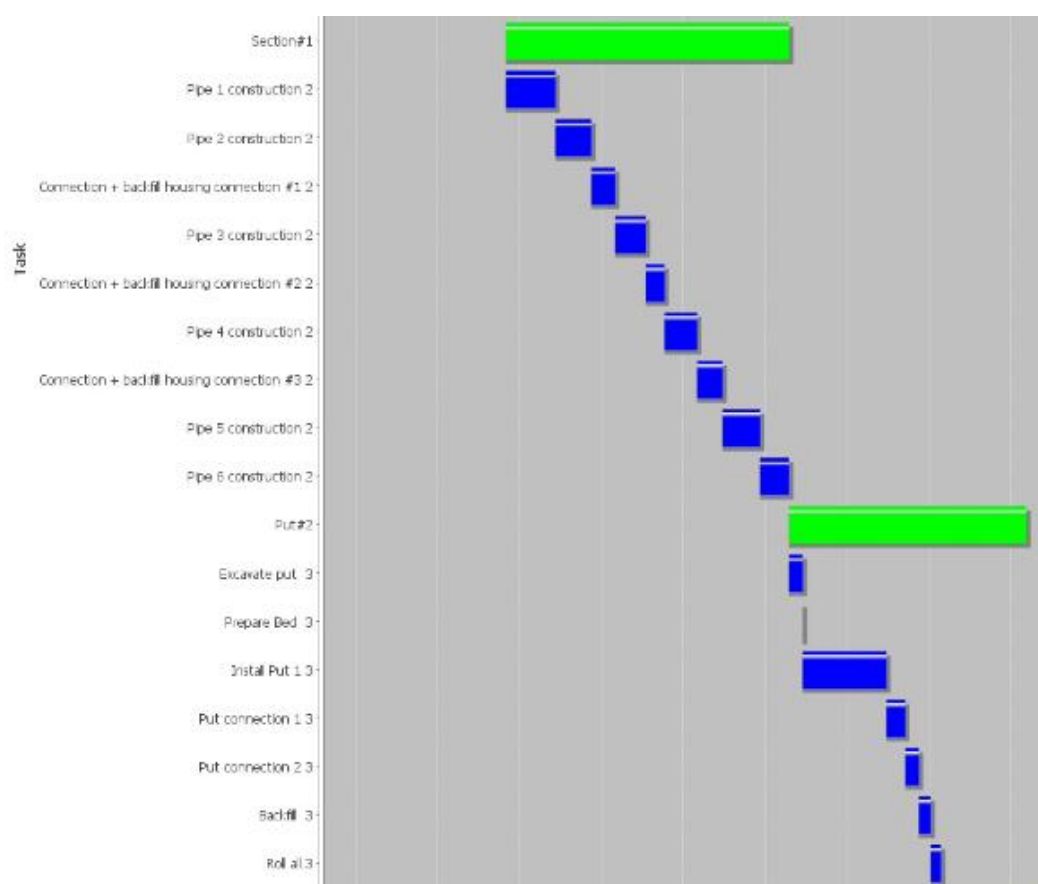
Tabel 7-2 Project parameters fictieve project

Resultaten

Voor het valideren van de uitkomsten van de simulaties is gebruik gemaakt van de uitvoer van het model. In eerste plaats is gebruik gemaakt van de Gantt Charts, aangezien deze snel een overzicht geven van de uitkomsten van de simulatie. Daarnaast zijn ook de trace en report bestanden gebruikt indien meer informatie vereist was.

Basisproces

Allereerst is gecontroleerd of het basisproces plaatsvindt zoals in de werkelijkheid. Dit is niet gedaan met behulp van het gehele fictieve project, maar met alleen de fictieve rioolstreng van sectie 2 en rioolput 3 uit figuur 7-1. Hierbij is gebruik gemaakt van scenario 1, waarbij één ploeg alle rioolwerkzaamheden uitvoert. Daarnaast is de uitvoer op het hoogste detailniveau gezet zodat alle individuele stappen weergegeven werden. Na het draaien van de simulatie is bij Gantt chart gecontroleerd of alle activiteiten in de juiste volgorde plaatsgevonden hebben. Daarnaast is ook het trace bestand gecontroleerd. Op basis van deze controle is geconcludeerd dat het basis proces accuraat gesimuleerd wordt. De resulterende activiteiten van zijn weergegeven in tabel 7-3 en 7-4, voor de streng rioolbuizen zijn deze beperkt tot één hoofdriool cyclus. In figuur 7-2 is de Gantt chart afgebeeld waarin de gesimuleerde activiteiten van beide secties zijn afgebeeld.



Figuur 7-2 Gantt Chart sectie 2 en 3 fictief project

Activiteit	Activiteit rioolbuis
1	Weg openbreken
2	Sleuf uitgraven
3	Zandbed prepareren
4	Buis plaatsen
5	Eerste zandaanvulling
6	Huisaansluiting plaatsen
8	Tweede zandaanvulling
9	Voorbereiding wegverharding
10	Wegverharding

Tabel 7-3 Resultaten simulatie rioolstreng 2

Activiteit	Activiteit Rioolput
1	Weg openbreken
2	Sleuf uitgraven
3	Zandbed prepareren
4	Put plaatsen
5	Put aansluitingen maken
6	Zandaanvulling
8	Voorbereiding wegverharding
9	Wegverharding

Tabel 7-4 Resultaten simulatie rioolput 3

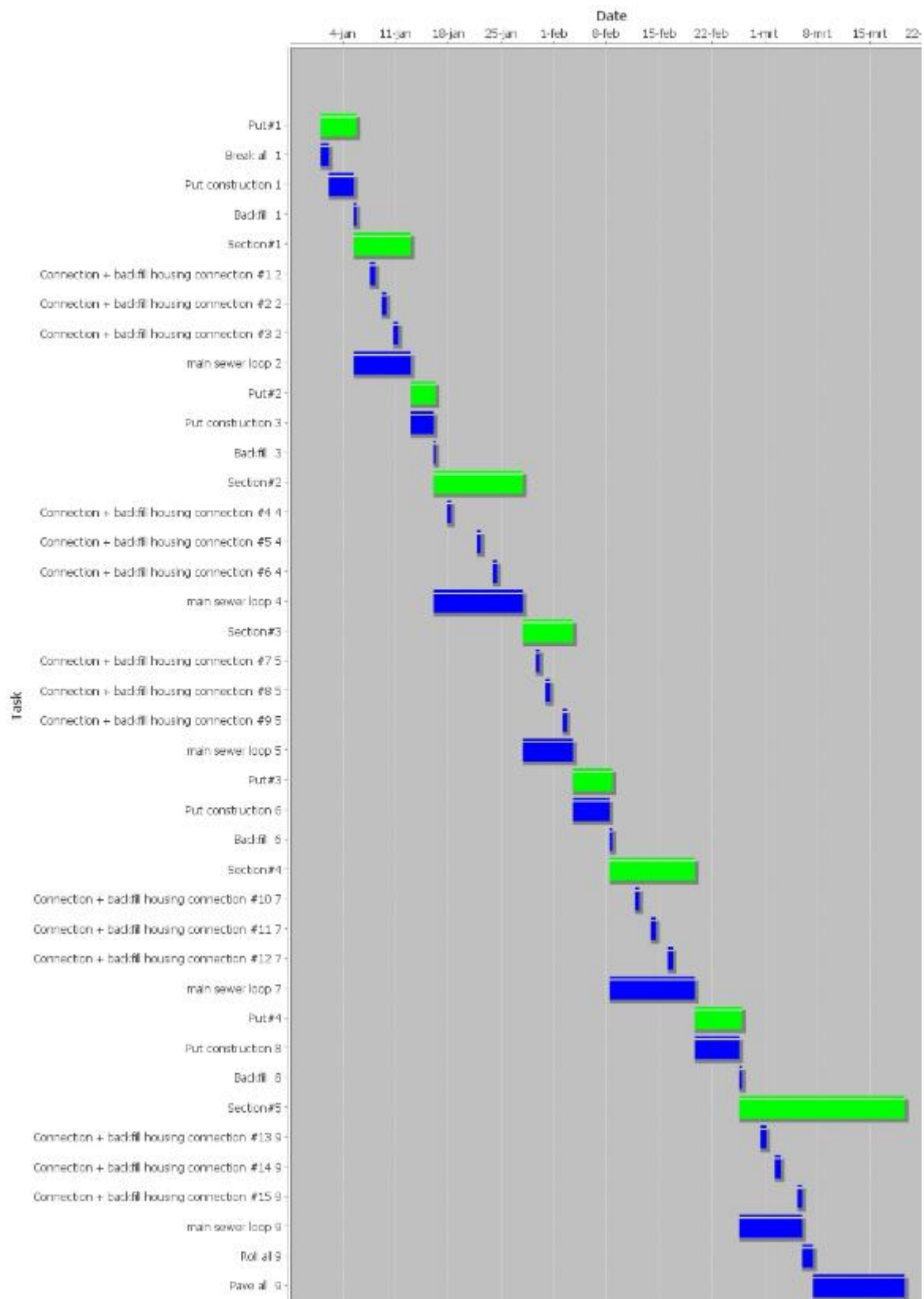
Procesuitbreidingen

Na de controle van het basisproces zijn de verschillende uitbreidingen, zoals weergegeven in tabel 7-5, gecontroleerd door het volledige project te simuleren. Hiervoor is het fictieve project weer gesimuleerd met scenario 1, en gebruik gemaakt van het hoogste detailniveau, zodat alle individuele stappen weergegeven werden. Daarnaast zijn de stochastische verdelingen van het model uitgezet om zodoende de tijdsduur van de verschillende activiteiten te kunnen vergelijken. Hierna is per rioolsectie gecontroleerd of de aangebrachte afwijkingen de verwachte gevolgen daadwerkelijk veroorzaakten. Voor de extra acties is gecontroleerd of deze resulteerden in extra activiteiten, en daarmee balken in de Gantt chart, op de juiste plekken in het proces. Daarnaast is dit ook gecontroleerd in het trace bestand, zodoende is gelijk ook de werking van Gantt charts gevalideerd. De resultaten zijn samengevat in tabel 7-5, de extra tijdsduur is weergegeven in simulatie-eenheden aangezien de kengetallen niet gevalideerd zijn. Bij wegvakken waar extra acties optreden is ook de extra tijdsduur ten opzichte van de basis vakken, als gevolg daarvan weergegeven.

Voor de afwijkingen die extra tijdsduur veroorzaken is visueel gecontroleerd of deze afwijkingen tot langere balken in de Gantt chart leiden bij de betreffende activiteiten. Daarnaast is ook dit weer gecontroleerd in het trace bestand. Op basis van deze controles is geconcludeerd dat de modelmogelijkheden accuraat gesimuleerd worden. Figuur 7-3 is een op lager detailniveau weergegeven Gantt chart van de simulatie van het gehele project, hierin is niet elke individuele activiteit weergegeven om de leesbaarheid te waarborgen. De extra acties die naar voren komen in de gedetailleerdere Gantt chart en de tracé bestanden zijn hierin dan ook niet zichtbaar. Wel zichtbaar is het verschil in de duur van de uitvoering van de verschillende secties.

Rioolsectie	Uitbreidingen	Resultaat
Put 3	Geen (basis sectie)	Duur: 80
Put 1	Asfalt verwijderen van alle secties Afsluiten van het riool.	Extra actie: asfalt frezen en afsluiten van het riool Duur: 109.
Put 6	Bredere weg en hinder van kabels en leidingen	Duur: 124
Put 8	Bredere weg en extra aansluiting en gescheiden riool (2 putten)	Extra acties: 3e putaansluiting, Extra acties: dubbele plaatsing put Duur: 160
Sectie 2	Geen (basis sectie)	Duur: 151
Sectie 4	Rioolfundatie	Extra actie: Rioolfundatie Duur: 293
Sectie 5	Sleufbeveiliging	Extra actie: Sleufbeveiliging Duur: 144
Sectie 7	Bredere weg, hinder van kabels en leidingen en gescheiden riool	extra acties: dubbele aanleg rioolbuizen Duur: 282
Sectie 9	Bredere weg, rioolvervanging i.p.v. nieuwbouw, gescheiden riool en asfalteren	Extra acties: verwijderen oud riool Extra acties: dubbele aanleg rioolbuizen Extra acties: asfalteren Duur: 548

Tabel 7-5 Resultaten simulatie fictief project



Figuur 7-3 Gantt Chart gehele fictieve project, laag detail niveau

Scenario's

Voor het controleren van de verschillende scenario's is wederom gebruik gemaakt van het fictieve project. Dit project is voor elk van de vier scenario's gesimuleerd. Ten eerste is met behulp van de Gantt Charts gecontroleerd of de hierboven beschreven mogelijkheden ook bij de overige scenario's tot de juiste afwijkingen leiden.

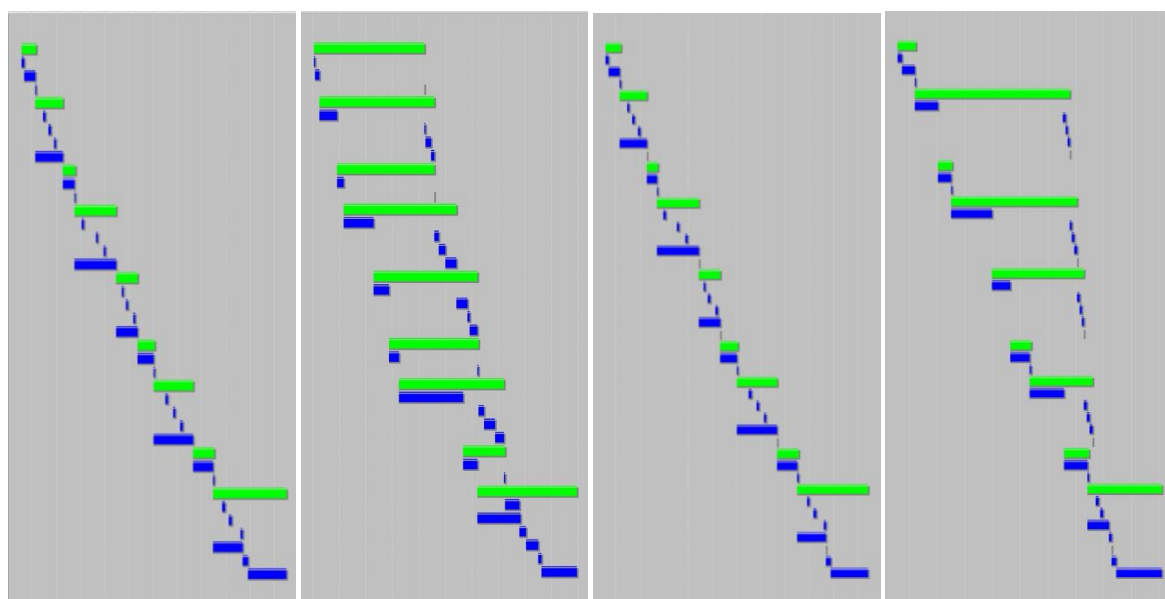
Daarnaast is gecontroleerd of de uitvoeringsvolgorde van de verschillende secties en activiteiten overeenkomen met het betreffende scenario. Deze volgorde verschilt per scenario door eventuele parallelle uitvoering van activiteiten. Hierbij is ook met behulp van de trace bestanden gekeken of activiteiten op de juiste manier parallel uitgevoerd worden, indien het scenario dit mogelijk maakt.

Ook is na elke simulatierun in het report bestand gecontroleerd hoe vaak een bepaalde resource ingezet is. Dit is gecontroleerd met het aantal verwachte inzetten op basis van de gegevens van het fictieve project en het betreffende scenario. In het tracé bestand is gecontroleerd of de verschillende ploegen bij de juiste activiteiten ingezet worden, gegeven het gebruikte scenario. Op basis van deze controles is geconcludeerd dat de scenario's accuraat gesimuleerd wordt. De resultaten zijn samengevat in tabel 7-6, het eerste diagram van figuur 7-2 geeft de simulatie van bij scenario 2 weer in een Gantt chart, de andere diagrammen bij scenario 1.

Rioolsectie	Parallele uitvoering
Scenario 1	Geen
Scenario 2	De rioolaansluitingen en tweede zandaanvullingen worden parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de kleine ploeg.
Scenario 3	De tweede zandaanvulling wordt parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de extra resource
Scenario 4	De rioolaansluitingen worden parallel aan het hoofdriool uitgevoerd door de kleine ploeg. De tweede zandaanvulling wordt parallel aan het hoofdriool en de aansluitingen uitgevoerd

Tabel 7-6 Resultaten simulatie van scenario's fictief project

Figuur 7-4 a geeft de simulatie van bij scenario 1 weer in een Gantt chart. De kort blauwe balkjes zijn de rioolaansluitingen die uitgevoerd worden door de "grote ploeg". In figuur 5-2b is scenario 2 afgebeeld. Hierin is zichtbaar hoe de "kleine ploeg" later aan het werk gaat dan de "grote ploeg". Tussen de activiteiten aan de eerste 8 secties zit namelijk een gat waarin geen werk wordt uitgevoerd aan de betreffende sectie. De activiteiten voor dit gat zijn die van het hoofdriool, die worden uitgevoerd door de "grote ploeg". Vervolgens voltooid de "kleine ploeg" het werk aan de secties door constructie van de rioolaansluitingen. Het startmoment van de "kleine ploeg" is in dit geval zodanig geoptimaliseerd dat deze enerzijds nauwelijks hoeft te wachten op de grote ploeg. Anderzijds komt de ploeg bij de laatste sectie direct achter de grote ploeg aan zodat de duur van het project dus minimaal is. Figuur 5-2 c en d geven respectievelijk scenario 3 en 4 weer waarbij de tweede zandaanvulling uitgevoerd wordt door een extra resource en daarom een eigen kort blauw balkje heeft.



Figuur 7-4 a) scenario 1

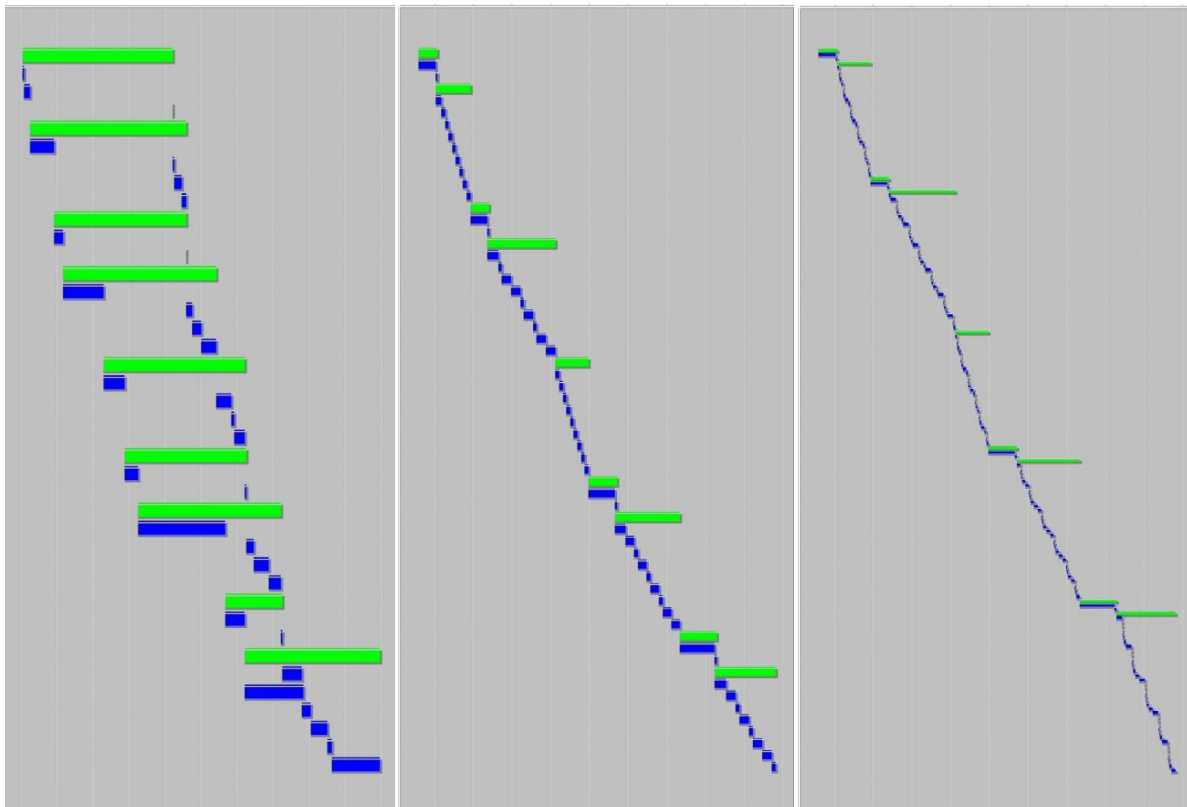
b) scenario 2

c) scenario 3

d) scenario 4

Uitvoermogelijkheden

Ten slotte zijn de uitvoermogelijkheden gecontroleerd. Hiervoor is weer gebruik gemaakt het fictieve project, gesimuleerd met scenario 1. Deze simulatie is meerdere malen uitgevoerd waarbij de detailniveaus van het rioolstrengen, putten en aansluitingen zijn aangepast. Hierbij is gecontroleerd of de instellingen het verwachte detailniveau in de Gantt chart opleverden. Op basis van deze controles is geconcludeerd dat de verschillende niveau-instellingen de verwachte resultaten genereren. Een tekortkoming is dat het niet mogelijk is om alle aansluitingen in één balk samen te vatten. Dit is een gevolg van het feit dat elke aansluiting een apart subproces is. In de figuur 7-5 zijn de resultaten van de drie detailniveaus voor rioolstrengen weergegeven in Gantt charts. De niveau-instellingen voor de aansluitingen en rioolputten zijn hierbij gelijk gehouden. In het eerste diagram is de uitvoering gesimuleerd met scenario 2, in de andere diagrammen met scenario 1. Het hoogste detailniveau geeft een volledig overzicht van alle activiteiten, maar voor een snel en efficiënt overzicht is het laagste niveau het meest geschikt.



Figuur 7-5 Weergave van detailniveau 1 tot en met 3 voor rioolstrengen

7.2 Toepassing op project bedrijvenpark A1 – Deventer

Om het simulatiemodel in de praktijk te testen is gebruikgemaakt van een project van Dura Vermeer Infrastructuur Oost. Dit project betreft het bouwrijp maken van Bedrijvenpark A1-Deventer. Dit project is gesimuleerd met het simulatiemodel waarna de resultaten zijn geëvalueerd met enkele personen die betrokkenen zijn bij de calculatie, werkvoorbereiding en uitvoering van het project.

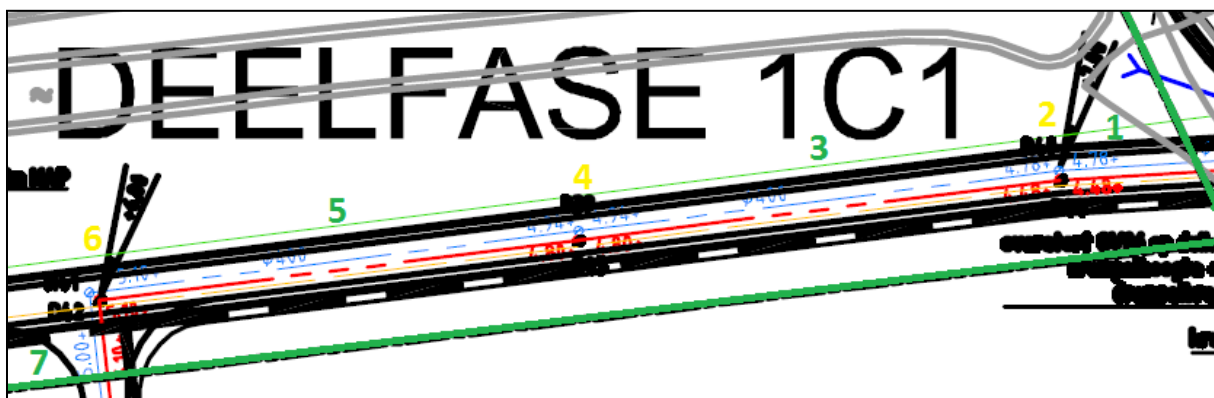
De case betreft het bouwrijp maken van een groot perceel ten behoeve van een industrieterrein langs de A1 in de buurt van Deventer. Dit project bestaat uit twee delen, een oostelijk en een westelijk deel. Dura Vermeer Infrastructuur Oost heeft de aanbesteding van het oostelijke deel gewonnen, het westelijke deel wordt in de toekomst aanbesteed. Dit bestaat uit 8 fases die op afroep worden uitgevoerd zodra er voldoende percelen verkocht zijn door de gemeente Deventer in het betreffende deelgebied. Vanwege dit feit was er tijdens dit onderzoek nog geen uitvoeringsvolgorde van de percelen bekend. Daarom is de meest logische uitvoeringsvolgorde vanuit het perspectief van de riolering gehanteerd. Dit betekent ook dat er nog geen projectplanning beschikbaar was voor kwantitatieve evaluatie van het simulatiemodel. Desondanks is dit project gebruikt aangezien de opdrachtgever weinig rioleringsprojecten in de portefeuille had.

Aangezien het om het om de bouwrijpfase gaat worden nog niet alle kolken geplaatst. Aangezien alle uitleggers van de aansluitingen al wel worden gelegd is er vanuit gegaan dat in deze fase alle aansluitingen geplaatst worden.

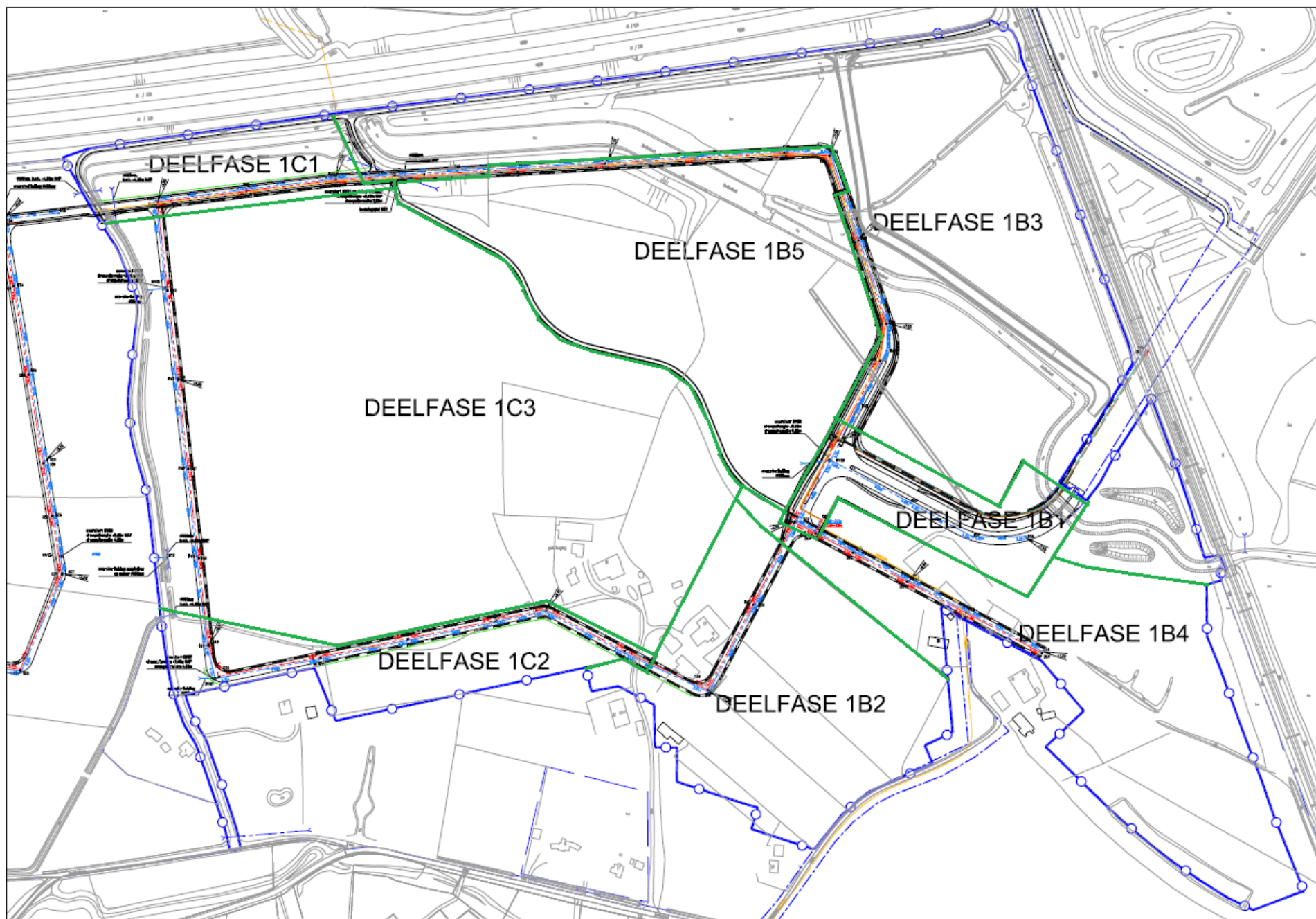
Voor het uitvoeren van de simulatie zijn verschillende gegevens verkregen, de geometrische gegevens van het project zijn verkregen uit de calculatiegegevens van de aanbesteding en uit de tekening “situatie waterhuishoudingsplan” van het project. Deze gegevens zijn bijgevoegd in paragraaf 7.4, de gebruikte tekening is afgebeeld in figuur 7-7. De blauwe lijn geeft de grens van het werkgebied van het project aan, de groene lijn is de grens van de deelfases. Voor de validatie is gebruik gemaakt van de kennis van praktijkdeskundigen en de uitvoeringsplanning van de eerste deelfases van het project. Deze planning was beperkt bruikbaar omdat in de planning andere werkzaamheden meespelen zoals de aanleg van een brug en een rioolgemaal. Daarnaast spelen er diverse ecologische aspecten mee die de planning beïnvloeden. Aangezien het model hier geen rekening mee houdt kon de planning niet één op één vergeleken worden.

In figuur 7-6 is een vergrootte weergave van deelfase 1C1 weergegeven. In het figuur zijn de blauwe HWA en rode DWA rioolstrengen zichtbaar. De doorstreepte blauwe cirkels en de zwarte stippen geven de respectievelijke rioolputten aan waarbij de puthoogtes zijn weergegeven. De blauwe cijfers geven de diameter van het HWA aan, de diameter van het DWA is overal gelijk. De groene en gele cijfers geven de in de simulatie gebruikte rioolsecties aan, hierbij staat groen staat een rioolstreng en geel voor een put.

Vanwege het feit dat de fases op afroep worden uitgevoerd is er nog geen uitvoeringsvolgorde bekend. Daarom is de meest logische uitvoeringsvolgorde vanuit het perspectief van de riolering gehanteerd bij de simulatie. Dit is vanaf het laagste punt van het riool bij het riool gemaal naar het hoogste punt. De fases zijn los van elkaar gesimuleerd, aangezien de uitvoering ook gescheiden zal plaatsvinden en alle beschikbare data ook gescheiden is.



Figuur 7-6 Overzicht deelfase 1C1 Bedrijvenpark A1



Figuur 7-7 Situatie waterhuishouding project bedrijvenpark A1

7.2.1 Projectinformatie bedrijvenpark A1 – Deventer

Voor het identificeren van de projectgegevens van bedrijvenpark A1 – Deventer Oost is gebruik gemaakt van ontwerp tekening 19: situatie “waterhuishoudingsplan oost definitief” van Arcadis en de hoeveelhedenlijst van Dura Vermeer. Voor alle gegevens is uitgegaan van de bouwrijpfase. De resulterende simulatie-instellingen zijn per fase bijgevoegd in het digitale simulatiemodel.

Algemene projectinformatie

Het project bestaat uit acht fases met een totale rioleringslengte van circa 2480 meter. Aangezien het project nog in de ontwerpfase zit zijn nog niet alle ontwerpkeuzes gemaakt. Desondanks liggen de meeste benodigde parameters van het model al wel vast, waar nodig zijn aannames gemaakt. Aangezien in deze fase van het ontwerp de exacte locatie van de aansluitingen nog niet bekend is wordt voor beide strengen gewerkt met een onderlinge afstand van 20 meter tussen de aansluitingen.

Project parameters

De gebruikte parameters van het project zijn op te delen in algemene parameters die gelden voor het gehele project, en parameters die verschillen per specifieke rioolsectie of put. De algemene parameters zijn hieronder weergegeven. De parameter en de bijbehorende stand in het simulatiemodel worden weergegeven.

Parameter	Project A1 - Deventer	Invoer model
<i>shore</i>	Geen shoring	0
<i>replacement</i>	Geen replacement	0
<i>oldSeparated</i>	Geen oud riool aanwezig	0
<i>newSeparated</i>	Het nieuwe riool is gescheiden	1
<i>num_put_connections</i>	2 is standaard, indien 3 is het aangegeven	2
<i>old_pavement</i>	Geen oude verharding aanwezig	0
<i>new_pavement</i>	Alle secties in één keer	3
<i>cables</i>	Geen kabels en leidingen	0
<i>foundation_type</i>	Geen fundatie	0
<i>soil_removed</i>	naast de geul	0
<i>soil_new</i>	naast de geul	0
<i>pipes_old</i>	Geen oud riool aanwezig	0
<i>pipes_new</i>	naast de geul	0
<i>old_sewer_type</i>	Geen oud riool aanwezig	Beton
<i>new_sewer_type</i>	beton	beton
<i>old_diameter</i>	Geen oud riool aanwezig	0
<i>new_diameter_DWA</i>	Vaste diameter 315 mm	315
<i>asphalt_old</i>	Geen oude verharding aanwezig	0
<i>asphalt_new</i>	2 van elk 40 mm dik	80
<i>length_connections</i>	5 meter	5
<i>diameter_connections</i>	allemaal 160 mm	160
<i>old_put_area</i>	Geen oud riool aanwezig	0
<i>new_put_area_DWA</i>	Het oppervlak is 0,64 m ²	0,64
<i>rock_layer</i>	Dikte puinbaan 30 cm	0,3
<i>sand_layer</i>	Geen extra zandlaag	0
<i>bed_preparation</i>	Geen grondverbetering nodig	0

7-7 Project parameters simulatiemodel

Sectieparameters

Gegevens die per put of sectie verschillen zijn per deelfase samengevat in tabellen 1B1 tot en met 1C3, deze zijn achteraan dit dossier bijgevoegd. De naamgeving van de tabellen is afgeleid van de deelfases zoals weergegeven in figuur 7-4. De eerste parameter geeft aan of de rioolsectie een rioolstreng of een put betreft. Indien het een rioolstreng (Str.) betreft zijn de wegbreedte, geulbreedte, geuldiepte, sectielengte en HWA rioldiameter vastgelegd. In het geval van een put zijn wegbreedte, geulbreedte, geuldiepte, put oppervlak en de diameters van de aansluitingen vastgelegd. In het geval van een HWA overstort, waar regenwater wordt geloosd op het oppervlakte water, wordt in het simulatiemodel een gewone rioolput gesimuleerd. In onderstaande tabellen wordt een overstort aangeduid met “over”. Het DWA heeft op deze plekken geen put of een reguliere rioolput.

Deelfase 1B1

Sectie	Str. 0	put 1	Str. 2	put 3	Str. 4	over 5	Str. 6	Str. 7	Put 8	Str. 9	put 10	Str. 11	put 12
Lengte (m)/ opp. put	10	2,25	19	2,25	63	2,25	35	80	2	64	1,5	46	0,64
Breedte weg (m)	7	7	7	7	13	13	13	18	18	18	18	18	18
Breedte geul (m)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul (m) gem.	4,4	4,4	4,4	4,2	4	4	4	3	3	2,5	1,8	1,8	1,6
Diameter HWA (mm)	800	800	800	800	800	800	800	500	500	400	400	300	300

Deelfase 1B2

Sectie	Str. 1	put 2	Str. 3	put 4	Str. 5
Lengte	82	2	88	2	58
Breedte weg	7	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7
Diepte geul	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Diameter HWA	600	600	600	600	600

Deelfase 1B3

Sectie	Str. 1	put 2 enk	Str. 3	Put 4	Streng 5	put 6	Streng 7	put 8	Streng 9
Lengte	20	2,25	55	2	24	2	80	2	47
Breedte weg	13	13	13	13	13	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4
Diameter HWA	800	800	700	700	700	700	700	700	700

Deelfase 1B4

Sectie	Str. 1	put 2	Str. 3	put 4	Str. 5	put 6	Str. 7	put 8
Lengte	37	2,25	54	2,25	59	2,25	76	2,25
Breedte weg	7	7	7	7	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul	3,5	3,4	3,3	3,1	2,5	2,4	2,2	2
Diameter HWA	800	800	800	800	800	800	800	700

Deelfase 1B5

Sectie	Str. 1	put 2	Str. 3	put 4	Str. 5	put 6	Str. 7	put 8	Str. 9	put 10	Str. 11	put 12	Str. 13	over 14	Str. 15
Lengte	33	2	39	2,25	80	2,25	80	2,25	80	2,25	70	2,25	39	2,25	31
Breedte weg	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4
Diameter HWA	700	700	700	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	400

Deelfase 1C1

Sectie	Str. 1	put 2	Str. 3	put 4	Str. 5	put 6	Str. 7
Lengte	25	1,5	80	1,5	80	2	15
Breedte weg	7	7	7	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul	2,2	2,2	2	1,8	1,7	1,5	1,5
Diameter HWA	400	400	400	400	400	500	500

Deelfase 1C2

Sectie	Str. 1	put 2	Str. 3	put 4	Str. 5	put 6	Str. 7	put 8	Str. 9	put 10	Str. 11	over 12	Str. 13	put 14	Str. 15
Lengte	25	2	80	2	46	2,25	80	2,25	80	2,25	93	2,25	31	2	24
Breedte weg	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul	4,3	4,1	3,9	3,7	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2	3,1	3	2,9	2,8	2,8	
Diameter HWA	600	700	700	700	700	800	800	900	900	900	900	900	500	500	500

Deelfase 1C3

Sectie	Str. 1	put 2 enk.	Str. 3	put 4	Str. 5	put 6	Str. 7	over 8	Str. 9
Lengte	55	2	80	1,5	80	1,5	80	2	67
Breedte weg	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Breedte geul	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Diepte geul	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,5
Diameter HWA	500	500	400	400	400	400	400	500	500

7.2.2 Resultaten invoer

De toepassing van het simulatiemodel heeft verschillende resultaten opgeleverd. Deze zijn in het verslag kort samengevat. Hier wordt een meer uitgebreid overzicht met betrekking tot de modelinvoer gepresenteerd.

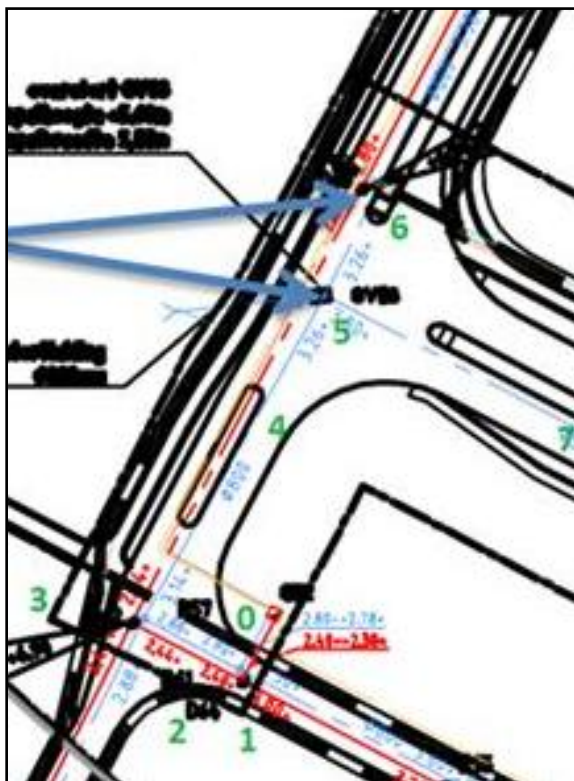
Tijdens het verzamelen van de gegevens en het invoeren van deze gegevens in het simulatiemodel kwamen al enkele situaties aan het licht waar het model afweek van de werkelijkheid. Deze afwijkingen zijn deels verholpen door aanpassingen in het model, en deels door het toepassen van workarounds. Deze afwijkingen worden hier behandeld. De nieuw toegevoegde parameters zijn bijgevoegd in paragraaf 6.7 en de workarounds zijn bijgevoegd als abstracties in paragraaf 6.5.

De meeste afwijkingen zijn een gevolg van het feit dat de aanleg van een gemengd riool in het model gemodelleerd wordt als één rioolstreng in plaats van twee afzonderlijke strengen. Hierbij worden telkens, per buislengte, twee buizen verwijderd en geplaatst. Bij een rioolput wordt de verwijdering en plaatsing van de put tweemaal uitgevoerd.

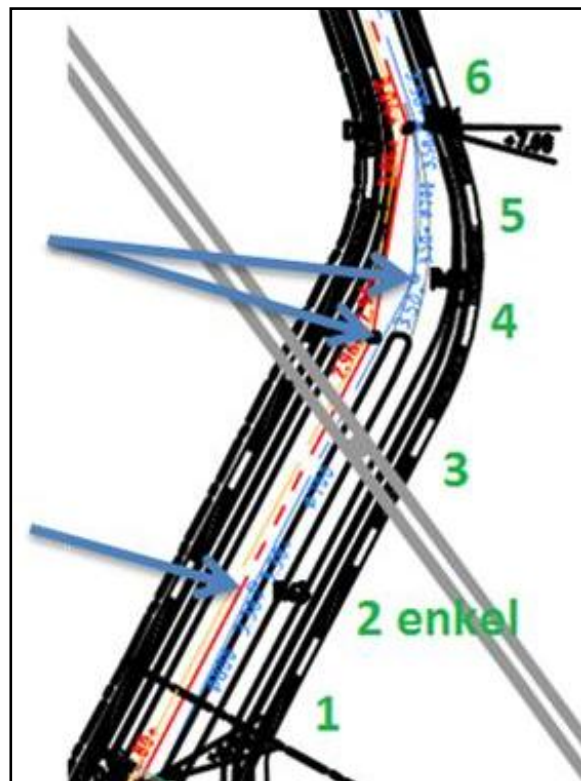
Deze manier van modelleren leidt tot diverse beperkingen die niet overeenkomen met de werkelijkheid. Ten eerste modelleerde het model één maat rioolbuis en rioolput voor beide rioolstrengen. Dit terwijl deze in praktijk vaak afwijkend zijn. Dit is van invloed op de productiesnelheid. Deze afwijking is opgelost door verschillende modelparameters te introduceren voor de diameter van rioolbuizen, en de omvang van rioolputten, voor zowel beide oude als beide nieuwe rioolstrengen.

Daarnaast veronderstelt deze manier van modelleren dat de lengtes van de rioolstrengen gelijk zijn en de rioolputten op dezelfde plekken liggen. Hoewel dit vaak het geval is, zijn er uitzonderingen. Deze uitzonderingen worden aan de hand van voorbeelden uit het project bedrijvenpark A1 uitgelegd.

Zo lopen in deelfase 1B1 de rioolstrengen niet gelijk. Dit komt doordat het HWA een zijtak heeft, op die plaats is een riooloverstort geplaatst in het HWA. Het DWA loopt echter verder zonder een put en zijtak, en heeft verderop pas een put waar het HWA die weer niet heeft. Deze putten zijn met de blauwe pijlen aangeduid in figuur 7.8. Het simulatiemodel moet dus dubbele strengen simuleren, maar geen dubbele rioolputten. Dit verschil tussen simulatie en praktijk is opgelost door middel van een workaround. De secties van beide rioolstrengen worden opgeknipt in twee secties met daartussen een wegsectie voor een put. Deze put wordt gemodelleerd als gemengd riool zodat de plaatsing van slechts één put werd gesimuleerd.



Figuur 7-8 Overzicht deelfase 1B1 bedrijvenpark A1



Figuur 7-9 Overzicht deelfase 1B3 bedrijvenpark A1

Een ander voorbeeld van deze afwijking zit in deelfase 1B3, afgebeeld in figuur 7.9. Op de plek van de onderste blauwe pijl zit alleen een HWA put. Deze is nodig vanwege de bij deelfase 1B1 aangeduide afwijking en de beperking dat er maximaal 80 meter tussen elke put mag zitten. Ook dit is opgelost door beide rioolstrengen op te knippen in twee strengen (cijfers 1 en 3), en daartussen een enkele put te plaatsen (cijfer 2). Als gevolg van deze afwijking zit verderop in het riool, bij de bovenste twee pijlen, weer een verschil in de locatie van de rioolputten. Hier is er voor gekozen de locatie van beide putten te middelen tot één locatie (4). Hierdoor is het nodig om strengen 3 en 4 ook te middelen. Dit maakt voor de totale doorlooptijd van het project geen verschil, voor de individuele secties zullen de simulatiewaarden niet exact overeenkomen met de werkelijkheid.

Ten slotte was het model beperkt tot één aansluiting per buislengte. In de realiteit kan bij een gescheiden riool zowel de HWA en de DWA buis een aansluiting hebben. Ook is het in uitzonderlijke gevallen mogelijk dat op één buis meerdere aansluitingen geplaatst worden. Het model is aangepast om dit mogelijk te maken.

Naast deze afwijkingen is ook de fasering van het model niet volledig. De huidige fasering richt zich volledig op geometrische fasering. In de werkelijkheid is er vaak sprake van een bouwrijp en woonrijp fasering. Dit is voor de aanleg van riolering geen groot probleem aangezien dit bijna volledig tijdens de bouwrijpfase aangelegd wordt. Wel worden tijdens de woonrijpfase vaak de putdeksels en laatste kolken geplaatst. Dit omdat deze aan het oppervlak liggen en vaak aan schade oplopen tijdens de bouwfase van de panden die tussen de bouwrijp en woonrijpfase zit.

7.2.3 Resultaten simulaties

Doordat de uitvoering van het project meerdere malen is uitgesteld was er tijdens dit onderzoek nog geen definitieve projectplanning beschikbaar. Hierdoor was het niet mogelijk om het simulatiemodel kwantitatief te toetsen aan de planning van dit project.

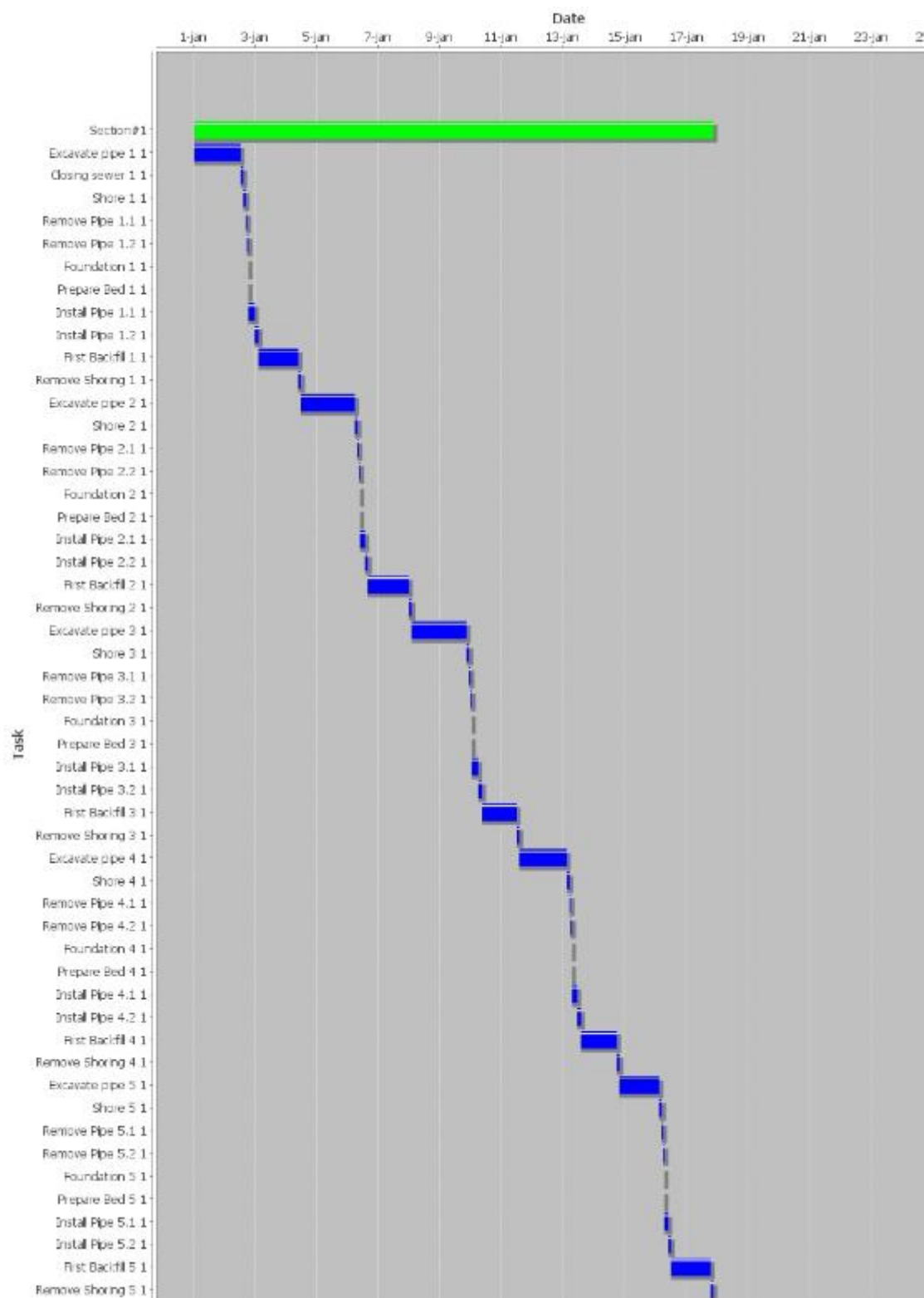
De beschikbare voorlopige planning voldeed hiervoor niet aangezien deze nog erg abstract was. Ook kwalitatieve validatie aan de hand van deze voorlopige planning was niet mogelijk. Dit vanwege het feit dat het project, naast rioleringsactiviteiten, ook een persleiding, een rioolgemaal, een tunnel en overige nutsvoorzieningen omvat. Deze overige activiteiten zijn van invloed op het uitvoeringsproces van de rioleringsactiviteiten.

De validatie van de uitvoer heeft daarom plaatsgevonden door discussie met behulp van praktijkprofessionals. Hiervoor bleek het niet noodzakelijk alle fases van het project apart te behandelen aangezien de uitvoeringsvolgorde voor wat betreft de rioleringsactiviteiten gelijk is. De verschillen tussen de fases zitten in de overige activiteiten en in de geometrie. Daarom is ervoor gekozen om deelfase 1b1 en 1b2 te simuleren, dit vanwege de grote verschillen tussen deze fases qua geometrie. Verder was fase 1b1 interessant wegens de afwijkingen in deze sectie en de daarvoor toegepaste workarounds tijdens de simulatie. De voor de validatie gebruikte Gantt charts zijn weergegeven in figuur 7-10 tot 7-15. De gebruikte simulatiegegevens zijn mee opgeleverd met het simulatiemodel zodat de simulaties herhaald kunnen worden.

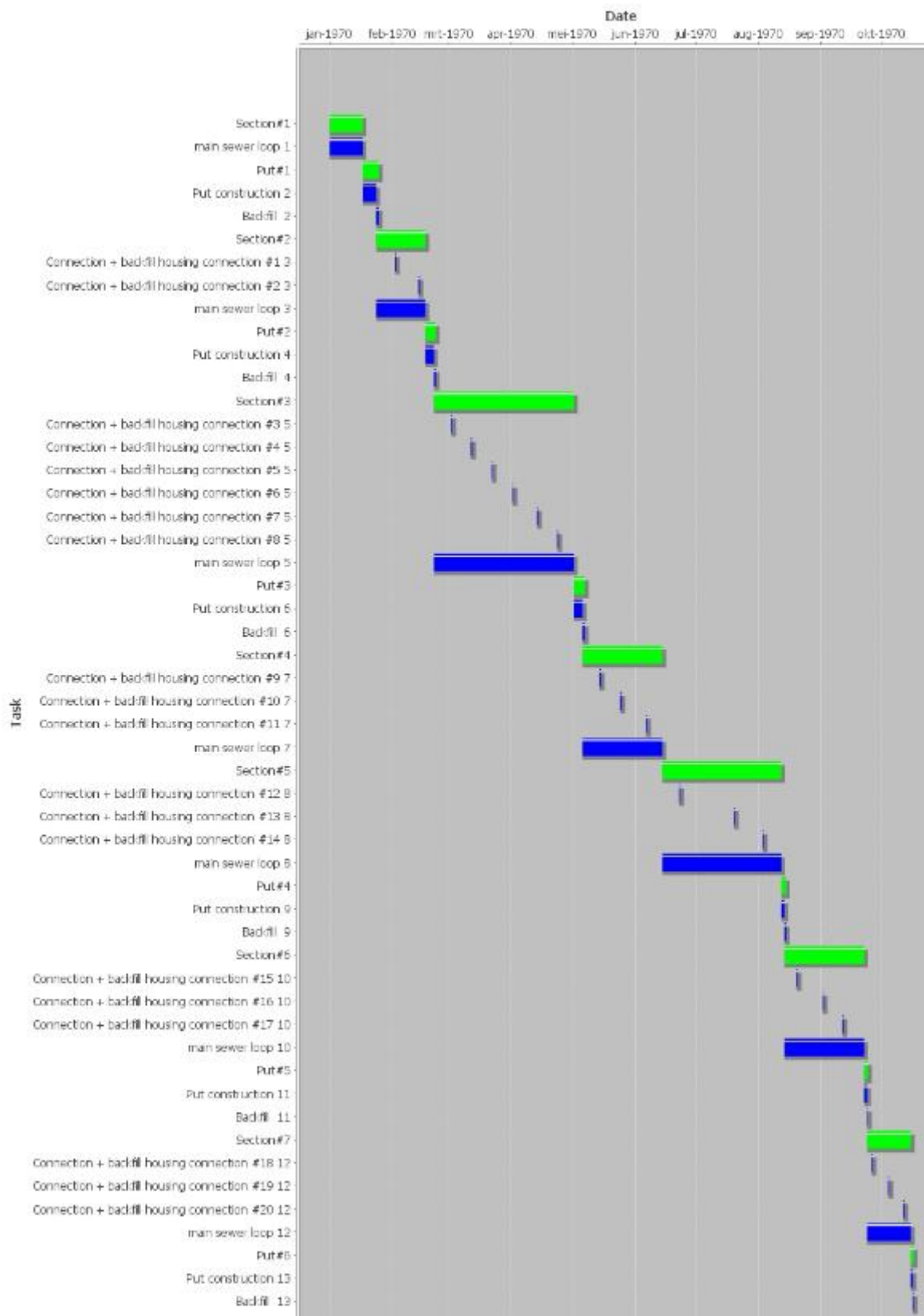
Uit de discussie bleek dat het model een accuraat resultaat levert voor het geïdentificeerde basisproces van de rioleringsactiviteiten aan zich. Ook de mogelijke uitbreidingen op dit proces resulteren in een juiste uitvoeringsvolgorde. De volgorde van activiteiten komt overeen met de werkelijkheid. Ook de simulatie van parallelle uitvoering, bij scenario's die dit toestaan, levert een resultaat plausibel resultaat op. Een uitzondering is de activiteit "afsluiten riool", deze wordt in het huidige model altijd uitgevoerd terwijl bij nieuwbouw van het riool, zoals in dit project, het huidige riool niet afgesloten hoeft te worden. De functie in het simulatiemodel om alle secties aan het eind pas te asfalteren is wel erg nuttig. In het project worden alle secties die uitgevraagd zijn door de gemeente in één keer geasfalteerd om zo te besparen op de kosten van de asfaltset. Een belangrijke aanmerking op het model is dat de resultaten van het simulatiemodel weinig relevant zijn zodra andere activiteiten van invloed zijn op het uitvoeringsproces van de riolering. Dit omdat het model hier niet mee om kan gaan. Zodra dit aan de orde is, zoals in dit project het geval is, zijn de simulaties niet representatief voor het betreffende project. Bijvoorbeeld bij het project Bedrijvenpark A1 – Deventer wordt er tussen verschillende fases een persleiding aangelegd. Vergroting van de flexibiliteit van het model in de omgang met niet-rioleringgerelateerde activiteiten is dan ook gewenst.

Voor wat betreft de afwijkingen in deelfase 1b1 is het model verder goed in staat om delen van deze fase te modelleren met gescheiden riool en delen met alleen HWA riool. Verder bleken de toegepaste workarounds

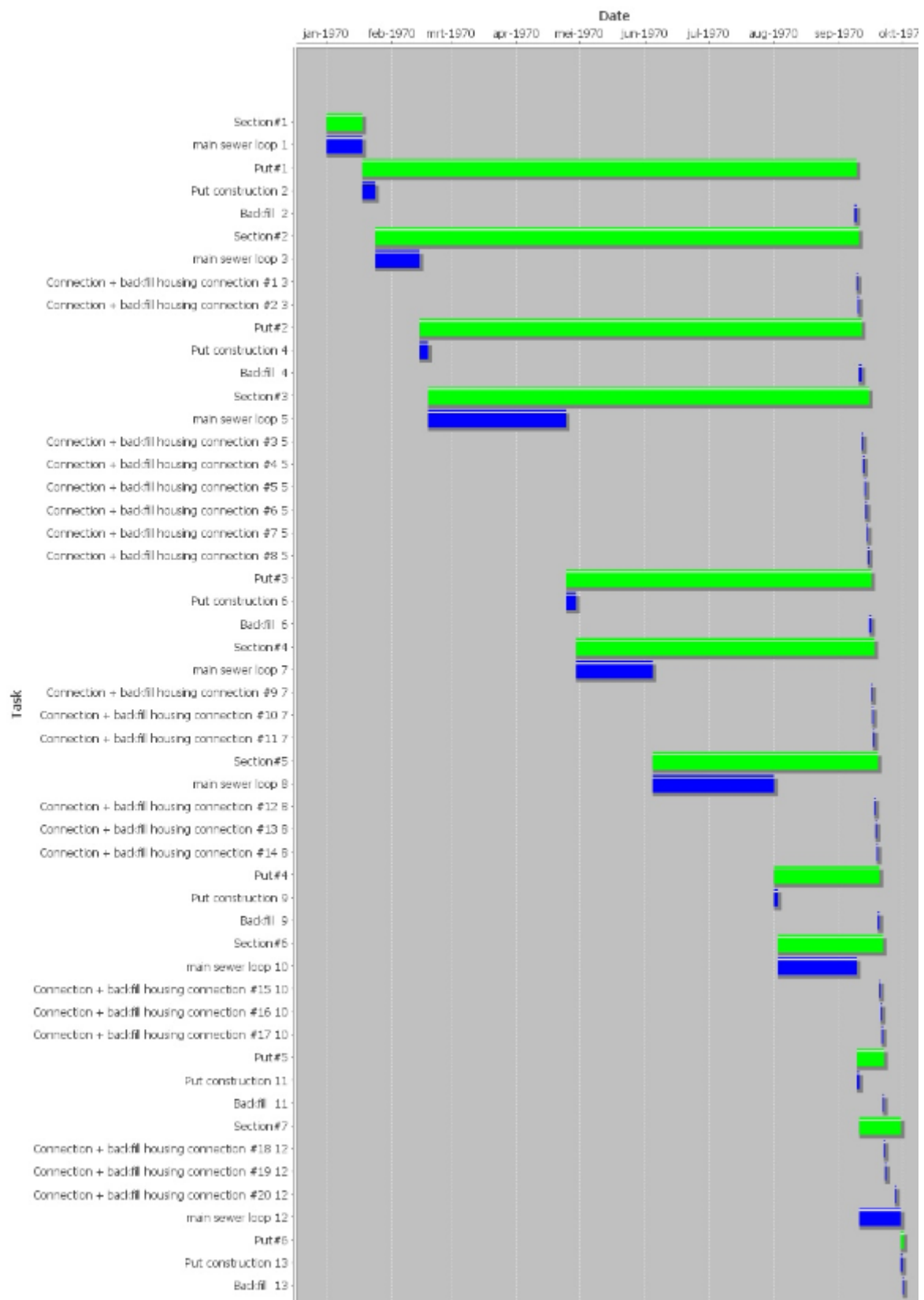
goed te werken. Indien het model ingezet zou worden voor visualisatie zal de workaround van het uitmiddelen van de locaties van de putten minder goed voldoen aangezien de visualisatie dan niet overeenkomt met de werkelijkheid. In dit geval kan beter de andere workaround toegepast worden.



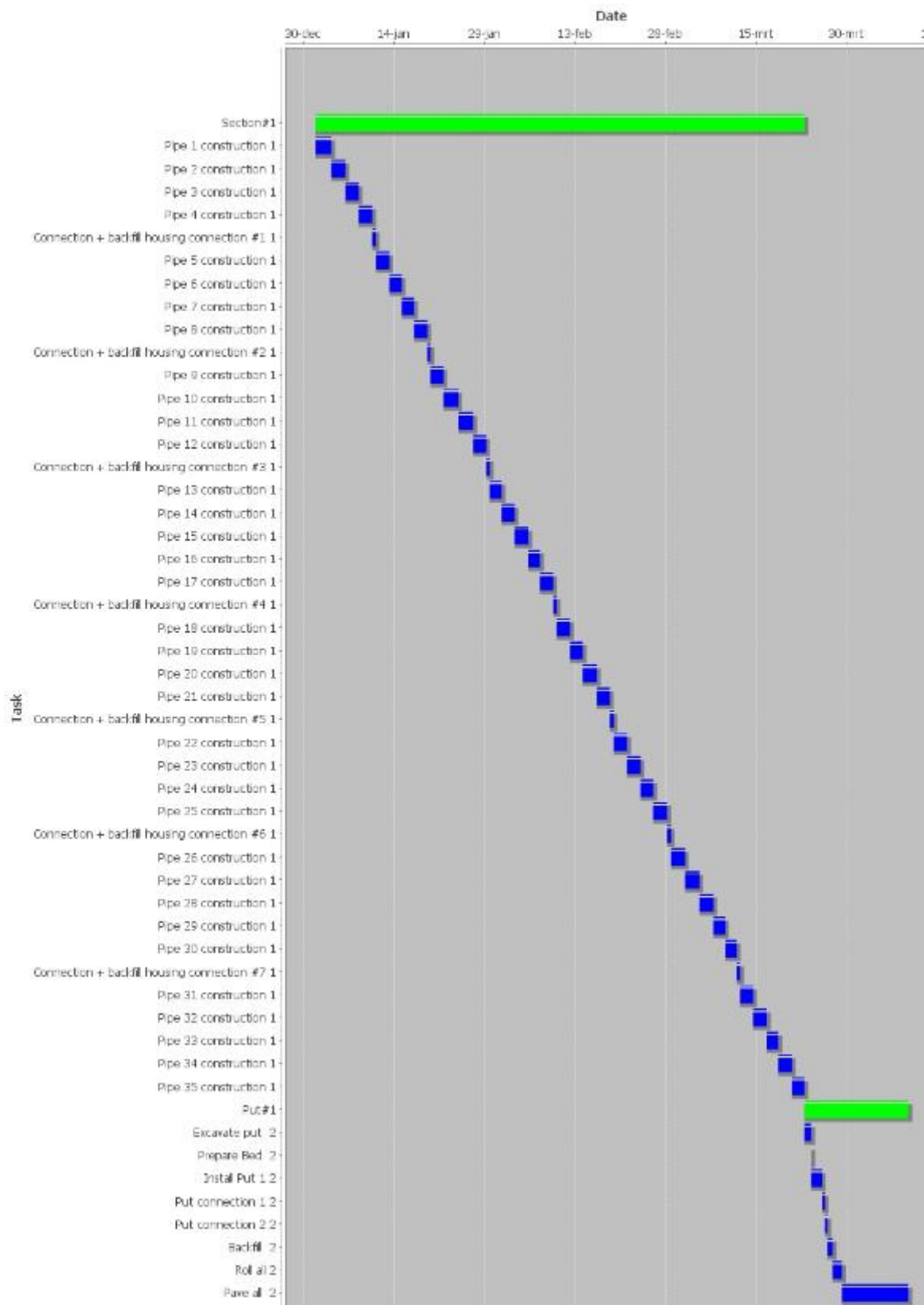
Figuur 7-10 Gantt chart 1e wegsectie fase 1b1, scenario 1, hoog detail niveau



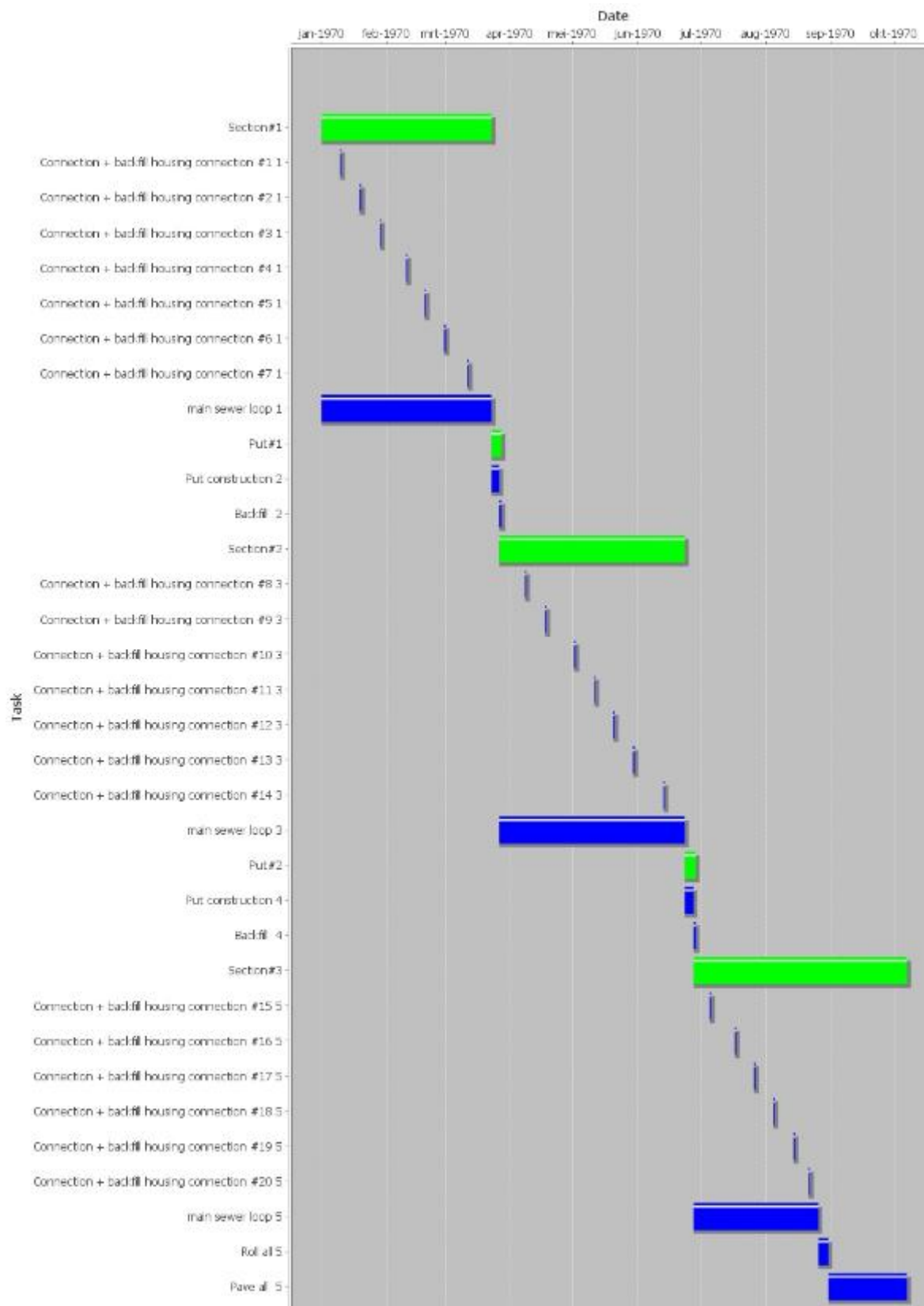
Figuur 7-11 Gantt chart fase 1b1 volledig, scenario 1, laag detailniveau



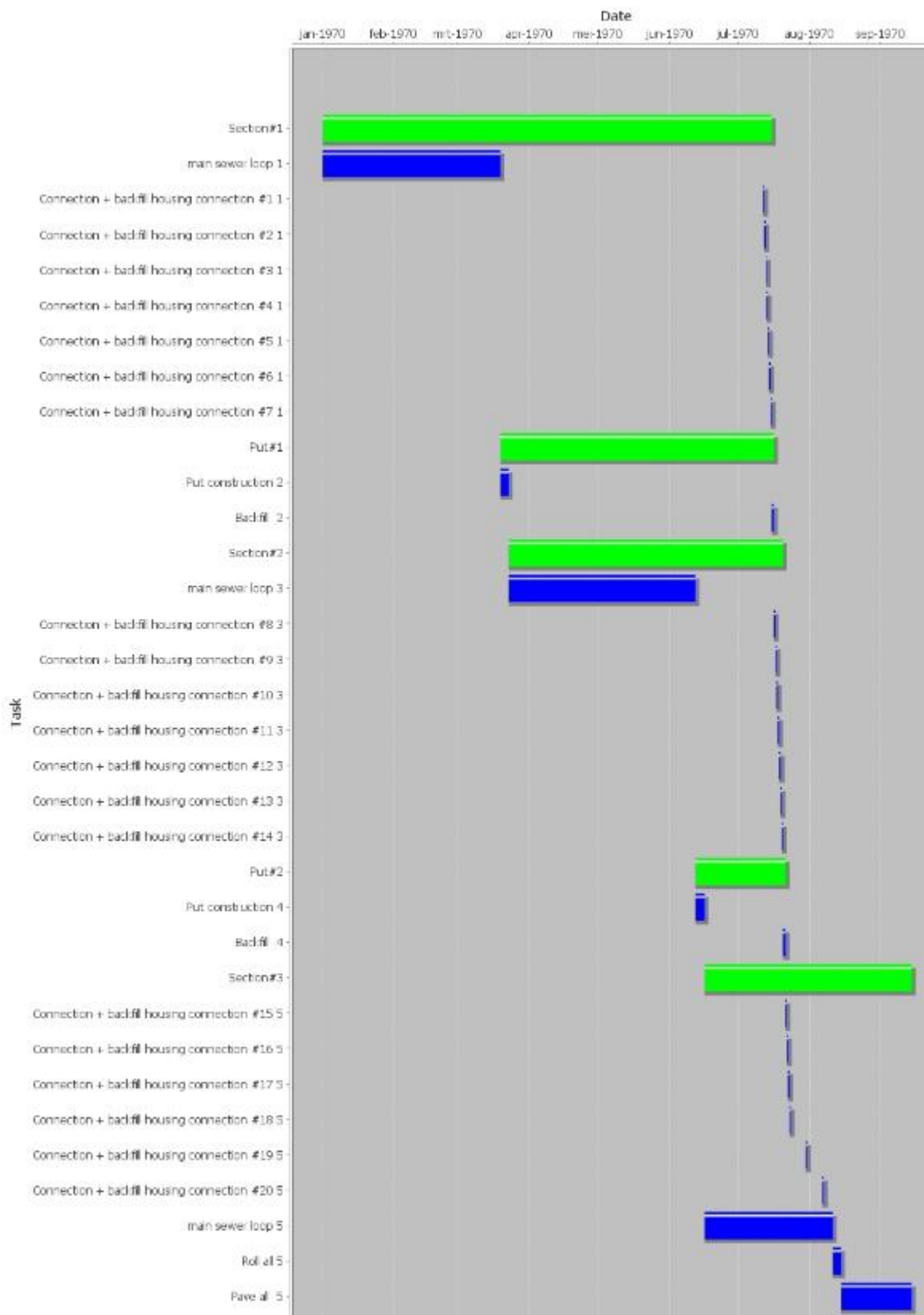
Figuur 7-12 Gantt chart fase 1b1 volledig, scenario 2, laag detailniveau



Figuur 7-13 Gantt chart fase 1b2, eerste 2 wegsecties scenario 1, gemiddeld detailniveau



Figuur 7-14Gantt chart fase 1b2 volledig, scenario 1, laag detailniveau



Figuur 7-15 Gantt chart fase 1b2 volledig, scenario 2, laag detailniveau

7.2.4 Bruikbaarheid simulatiemodel

Naast het valideren van het model is ook de bruikbaarheid van het model beoordeeld. De bruikbaarheid van het model kan opgedeeld worden in het gebruiksgemak van het model en het nut voor de gebruiker van het model. Het nut van het gebruik van het model moet hierbij opwegen tegen de moeite die hiervoor nodig is. Deze beoordeling is opgesteld door de onderzoeker op basis van de uitgevoerde praktijktest.

Gebruiksgemak

Het gebruiksproces van het model is behandeld in paragraaf 6.5, de genoemde stappen zijn tijdens de praktijktest op gebruiksgemak beoordeeld. Hierbij is gekeken naar de invoermethode, het uitvoeren van de simulatie en de resulterende output. Waar de validatie de inhoud van de resultaten beoordeeld is hier de vorm van de resultaten aan de orde gekomen.

De huidige manier van invoeren van de verschillende parameters voldoet niet voor het gebruiksdoel van het model. Het handmatig invoeren van parameters door de gebruiker in de computercode zelf is geen optie. Een relatief gemakkelijke aanpassing hieraan zou het introduceren van een GUI (graphical user interface) zijn waarbij de gebruiker de gegevens invoert in een programmascherm of op een website. Echter is dit gezien de hoeveelheid parameters die verzameld en ingevoerd dienen te worden nog steeds een suboptimale oplossing.

In paragraaf 6.6.2 zijn verschillende gebruiksdoelen van het simulatiemodel geschetst. Deze doelen worden gerealiseerd door het uitvoeren van een experiment met behulp van het simulatiemodel. Dit kan het vinden van het beste scenario zijn, het optimale inzetmoment van een resource, het maken van een afweging of de mogelijke gevolgen van een risico evalueren met een wat-als scenario. Bij al deze mogelijkheden worden meerdere simulatieruns met elkaar vergeleken. Hiervoor is het vereist om handmatig de te beoordelen parameters na elke simulatierun aan te passen en de resultaten te vergelijken. Dit is een omslachtige manier van werken.

Zoals tijdens de praktijktest op het fictieve project al was gebleken zijn de uitvoermogelijkheden momenteel erg beperkt qua mogelijkheden en overzichtelijkheid. De informatie van het report en trace bestand zeggen de gebruiker weinig, en vooral het trace bestand is zeer slecht leesbaar voor een leek. De Gantt charts met de uitvoer op het laagste detailniveau zijn het meest informatief voor de gebruiker. De hogere detailniveaus zijn alleen van nut voor modelontwikkeling en validatie, voor het beoogde gebruik zijn ze te onoverzichtelijk. Maar ook de huidige implementatie van Gantt charts kent nog de nodige beperkingen. Zo is het resulterende JPEG bestand niet gebruiksvriendelijk, het bestand is slecht schaalbaar en moeilijk te scrollen. Dit is vooral bij grotere projecten, die meer balken genereren, een probleem. Andere problemen zijn het feit dat specialistische programma's voor het maken van een balkenplanning zoals Microsoft Project veel meer mogelijkheden bieden. Zo kunnen in de huidige uitvoer geen werktijden, vakanties en startdatum ingevoerd worden. Daarnaast biedt de uitvoer geen manier om de resultaten van twee verschillende simulatieruns goed te vergelijken. De gebruiker dient de resultaten apart op te slaan en vervolgens zelf te vergelijken om zijn doel te bereiken.

Bruikbaarheid van de resultaten

Het doel van het simulatiemodel is van een hulpmiddel voor het ondersteunen van beslissingen tijdens het planning- en werkvoorbereidingproces. Hiervoor dient het model bruikbaar te zijn voor de praktijkprofessionals die de planning en werkvoorbereiding uitvoeren. Naast het gebruiksgemak van het model dient het gebruik ook nuttig te zijn. Het gaat hierbij om het potentiële nut, los van de hierboven beschreven beperkingen van het model qua gebruiksgemak. In paragraaf 6.6.2 zijn de doelen waarvoor het model ingezet kan worden beschreven.

De praktijkdeskundigen zijn nog sceptisch over de gebruiksdoelen van het simulatiemodel. De genoemde reden hiervoor is het feit dat de praktijk vaak meer ongeordend is dan de geïdentificeerde proceslogica en scenario's, en de vele projectspecifieke details die van belang zijn voor het maken van afwegingen. Een genoemd voorbeeld is de kleine ploeg. Deze wordt niet vooraf geoptimaliseerd, als deze achterloopt op de grote ploeg komt er een "mannetje" bij. En als de kleine ploeg te snel gaat dan wordt er niet een grondwerker minder ingezet maar dan gaat deze overige taken uitvoeren. Een voorbeeld van zo'n projectspecifiek detail is het werken in een winkelstraat. Het stukje riool "bij de V&D voor de deur" wordt dan bijvoorbeeld na sluitingstijd gelegd terwijl het overige werk gewoon overdag plaatsvindt.

Daarom kan huidige model vooral ingezet worden in de eerdere fases van het planning- en werkvoorbereidingproces ingezet worden. Een planning wordt, net zoals een ontwerp van voorlopig ontwerp via definitief ontwerp naar uitvoeringsontwerp, steeds gedetailleerder. Ongeacht het detailniveau van een simulatiemodel blijft het altijd een abstractie van de werkelijkheid. Dit is van invloed op de toepassing van het model, aangezien het onmogelijk is om elk detail van elk project te vangen. Dat maakt het simulatiemodel beter inzetbaar in de eerdere fases van projectplanning waar op een hoger abstractieniveau wordt gewerkt. Tijdens deze fases kan het model ingezet worden voor de ontwikkeling van de projectplanning. Deze kan verder geëvalueerd worden door het uitvoeren van wat-als scenario's en het maken van afwegingen. In de latere fases wordt deze planning verder aangescherpt op basis van details door praktijkdeskundigen. Dit komt overeen met de resultaten van de oriënterende interviews waar ook een meer abstracte rol werd aangeraden voor het model.

Een belangrijke beperking van het huidige model, dat al bij de validatie is genoemd, is dat alleen het proces van rioleringsrenovatie gesimuleerd kan worden terwijl andere activiteiten vaak ook een rol spelen. Deze overige processen resulteren vaak in afwijkingen in het proces van de rioleringsrenovatie. Zo worden bij het project bedrijvenpark A1 ook een persleiding, een rioolgemaal, een tunnel en overige nutsvoorzieningen aangelegd. Daardoor is het nut van het huidige model beperkt tot pure rioleringsprojecten die met name in stedelijk gebied zeldzaam zijn. Door toevoeging van proceslogica van veelvoorkomende andere processen bij rioleringsrenovatie kan het nut van het model aanzienlijk toenemen. Zeker aangezien het nut van simulatie van uitvoeringsscenario's, afwegingen en wat-als scenario's het hoogst is bij deze complexe multidisciplinaire projecten met meerdere stakeholders. Bij rioleringsrenovatie alleen zijn de keuzes van de aannemer veelal gemakkelijk te overzien en beperkt het nut van de simulatie zich tot wat-als scenario's voor onbekende kabels en leidingen.

Met oog op de toekomstige serious game zien de praktijkdeskundigen de mogelijkheden van het model bij projectoverleg met de verschillende stakeholders. Hierdoor kan een beter begrip van het project en van elkaars werkzaamheden worden bereikt. De samenwerking en procescoördinatie kan hierdoor verbeterd worden. Hierbij werd echter wel aangemerkt dat hiervoor wel de wil bij alle stakeholders aanwezig moet zijn. De twijfel werd geuit dat dit vaak niet bij alle partijen het geval is.

Conclusie

Concluderend kan gesteld worden dat de bruikbaarheid van het simulatiemodel voor het beoogde doel nu nog (te) laag is. Dit komt doordat het nut van de inzet van het simulatiemodel te laag is in verhouding tot de benodigde moeite voor de inzet. Zeker aangezien het uitvoeren van de simulatie een extra taak is, die naast de overige taken van planning en werkvoorbereiding gedaan dient te worden. Indien het simulatiemodel ingezet kan worden voor automatische hoeveelheidencalculatie en het maken van een (balken)planning neemt het nut toe door een verlaagde werklast.

7.3 Samenvatting

De vuurdoop van het simulatiemodel heeft plaatsgevonden door deze toe te passen op een fictief project en op het project Bedrijvenpark A1. Dit is gedaan om het model op verschillende vlakken te evalueren. In deze bijlage is behandeld hoe deze toepassingen van het model hebben plaatsgevonden. Ook zijn de verzamelde gegevens van het project Bedrijvenpark A1 Deventer bijgevoegd. Ten slotte zijn de uitgebreide resultaten hiervan en van de bruikbaarheid van het model bijgevoegd. De discussie van deze resultaten is behandeld in het verslag.

8. Toekomstvisie simulatiemodel

Op basis van de resultaten van de toepassing van het simulatiemodel is een toekomstvisie voor het model ontwikkeld. Om het simulatiemodel beter bruikbaar te maken dienen de tekortkomingen van het model zoveel mogelijk verholpen te worden. Deze tekortkomingen bestaan uit abstracties van het model die de het gebruik belemmeren en de, in de vorige paragraaf genoemde, tekortkomingen in de bruikbaarheid van het model. Daarnaast zijn tijdens de ontwikkeling van het model mogelijke uitbreidingen geïdentificeerd die tijdens de modelontwikkeling naar voren kwamen, maar niet binnen de scope van dit onderzoek pasten. In deze paragraaf zullen eerst de mogelijke oplossingsrichtingen voor de tekortkomingen geschetst worden en daarna zullen deze geïdentificeerde uitbreidingsmogelijkheden aan bod komen. Speerpunten hierbij zijn: snel en gemakkelijk gebruik, overzichtelijke en duidelijke resultaten en een goede betrouwbaarheid van het model.

8.1 Kwantitatieve validatie

In dit onderzoek is het simulatiemodel kwalitatief gevalideerd. Hierbij is gecontroleerd dat het model binnen de gestelde abstracties en beperkingen de beoogde werkelijkheid voldoende accuraat simuleert. Echter, om van nut te zijn voor de gebruiker dient de uitvoer ook kwantitatief valide te zijn. Hoewel het aannemelijk is dat de websites, waar de gebruikte kengetallen vandaan komen, grondig te werk zijn gegaan bij het identificeren van deze getallen, mag hier niet zondermeer vanuit gegaan worden. Daarnaast kan het zijn dat de manier van toepassing in het model niet correct is of dat de calculaties die in het model plaatsvinden niet valide zijn. Daarom dient een kwantitatieve validatie van het model plaats te vinden.

8.2 Opbouw van het simulatiemodel

Ook het simulatiemodel kan verbeterd worden, met name door het model flexibeler te maken. Hierdoor kunnen nieuwe scenario's en activiteiten gemakkelijker gesimuleerd worden. Ook kan het model zo gemakkelijker ingezet worden voor de simulatie van andere bouwprocessen in de binnenstedelijke gebiedsrenovatie. Deze aanpassingen richten zich op de opbouw van het simulatiemodel.

De mogelijkheden voor de uitvoeringsvolgorde van het simulatiemodel bestaan momenteel uit de vier behandelde scenario's. Eventuele wijzigingen hierin vergen grote ingrepen in het model. Dit komt doordat in het huidige model de activiteiten aan rioolstrengen gekoppeld zijn aan de wegsecties. Feitelijk wordt er dus geen rioolstreng gesimuleerd, maar worden de activiteiten van de aanleg van zo'n streng uitgevoerd op de wegsectie. De flexibiliteit van het model is hierdoor beperkt.

In paragraaf 4.2 van het verslag is de toepassing van andere vormen van modelopbouw zoals constraint-based programming (Wu, Borrmann, Beißert, König, & Rank, 2010), of het gebruik van event scenario's met losse events die uitgevoerd worden op afroep (Cha, Roh, & Lee, 2010), als te omvangrijk voor dit onderzoek aangeduid. Het toepassen van deze methodes van modelopbouw kan echter diverse voordelen bieden. Bij de eerste methode zijn alle activiteiten losse processen die uitgevoerd dienen te worden. De volgorde wordt hierbij volledig bepaald door de voorwaarden die aan zo'n proces gesteld worden. Naast de beschikbaarheid van bepaalde resources kan dit ook de voltooiing van een voorafgaande activiteit zijn. Bij de tweede methode zijn de activiteiten ook losse elementen. Bij deze methode worden deze echter door een overkoepelend scenario opgeroepen. Hierbij is het scenario losgekoppeld van de activiteiten, waardoor voor nieuwe proceslogica of activiteiten alleen dit scenario aangepast hoeft te worden.

Deze methoden bieden enkele grote voordelen. Ten eerste vergen aanpassingen in de volgorde van uitvoering slechts een aanpassing in de volgorde waarin activiteiten opgeroepen worden. Hierdoor wordt de flexibiliteit van het model vergroot. Met name bij projecten waarbij het model gebiedsrenovatie dient te simuleren, waarbij er veel meer uitvoeringsscenario's mogelijk zijn dan bij rioleringssimulatie alleen, biedt dit voordelen. Daarnaast kan de fasering van de uitvoering gemakkelijker aangepast worden. De huidige fasering richt zich volledig op ruimtelijke fasering. In de werkelijkheid is er vaak sprake van een bouwrijp en woonrijp fasering. Tijdens de woonrijfphase worden vaak de putdeksels en laatste kolken van het riool geplaatst. Ook worden de deklagen van asfaltverharding vaak pas in deze fase aangelegd, terwijl de fundatielagen al in de bouwrijfphase aangelegd worden.

Ten slotte wordt de huidige problematiek bij een gescheiden riool, zoals behandeld in paragraaf 5.2.1, hiermee verholpen. Bij deze methoden van modeleren zijn de rioolstrengen en putten namelijk losse elementen binnen een wegsectie. Deze kunnen dan los van elkaar gemodelleerd worden in tegenstelling tot de huidige situatie waarbij beide strengen gemodelleerd worden door één rioolstreng die dubbel aangelegd wordt. Ook kan een

sectie hierdoor een groter gebied beslaan dan de rioolstreng. Dit is nodig, met oog op simulatie van gehele binnenstedelijke gebiedsontwikkeling projecten, om secties zonder rioolactiviteiten mogelijk te maken. Door secties los te koppelen van de in die secties uit te voeren activiteiten kunnen namelijk verschillende combinaties van activiteiten uitgevoerd worden en kunnen ook secties uitgevoerd worden zonder rioleringsactiviteiten. Dit is in het huidige model niet mogelijk.

8.3 Gebruiksgemak

Uit de evaluatie van het gebruiksgemak kan geconcludeerd worden dat dit momenteel niet voldoet aan de eisen die gesteld worden aan het model. Er zijn verschillende mogelijkheden om dit te verbeteren.

Invoer

De huidige manier van invoeren van de verschillende parameters voldoet niet voor het gebruiksdoel van het model. Het handmatig invoeren van parameters door de gebruiker in de computercode zelf of door middel van een GUI zijn arbeidsintensieve en omslachtige methodes.

Ten eerste valt te denken aan het deels automatiseren van de invoer. Dit kan door slechts eenmalig parameters in te voeren die gelijk zijn voor alle secties. Ter bevordering van de flexibiliteit van het model dienen veel parameters per rioolsectie ingevuld te worden. Dit omdat elke sectie andere parameterwaarden kan hebben. In de praktijk zullen veel parameters echter gelijk zijn over het gehele project.

Daarnaast kunnen enkele parameters automatisch afgeleid worden. In het huidige model worden de eerste en tweede aanvullingshoogte automatisch bepaald aan de hand van de sleufdiepte en riooldiameter. Hierdoor hoeft de gebruiker deze twee parameters niet in te voeren. Deze methode kan verder doorgevoerd worden. Zo zou bijvoorbeeld ook de sleufbreedte en het talud automatisch bepaald kunnen worden aan de hand van de riooldiepte, de buisdiameter of put oppervlak, het grondtype en de bestaande veiligheidsnormen. Indien de sectiebreedte te klein is zou dan automatisch sleufbeveiliging toegepast kunnen worden.

Hoewel deze oplossingen het benodigde werk verminderen verhelpen ze de problematiek niet. Idealiter zou een toekomstige versie van het model zoveel mogelijk parameters automatisch identificeren en inladen vanuit beschikbare 2D en 3D tekeningen. Dit zou kunnen door koppeling van het model met AutoCAD of BIM toepassingen. Ook valt te denken aan een koppeling met de KLIC-registratie voor de ligging van kabels en leidingen.

Experiment

Het uitvoeren van een experiment met behulp van het simulatiemodel vereist vrijwel altijd het uitvoeren van meerdere simulaties, om deze vervolgens met elkaar te vergelijken. Momenteel is het vereist om handmatig de te beoordelen parameters na elke simulatie aan te passen en de resultaten op te slaan, om deze vervolgens te vergelijken. Het automatiseren van deze stappen kan de bruikbaarheid van het model verhogen. Hiervoor dient een softwareschil om het model toegevoegd te worden die dit uitvoert zonder tussenkomst van de gebruiker. De gebruiker hoeft dan alleen in een GUI het gewenste experiment en de gewenste instellingen te selecteren waarna het volledige experiment uitgevoerd wordt, waarna de resultaten gepresenteerd worden aan de gebruiker.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor automatisch uit te voeren experimenten. Zo kan een Monte Carlo analyse toegepast worden waarbij het model vele malen uitgevoerd wordt met stochastische verdelingen, om zo tot gemiddelde waarden te komen. Hierbij kan een bandbreedte bepaald worden tussen de langste en kortste duur van het totale project en de afzonderlijke activiteiten. Een andere optie is het automatisch evalueren van de uitvoeringsscenario's en van wat-als scenario's. Ook het automatisch maken van de afwegingen die besproken zijn in paragraaf 6.5.2 is een mogelijkheid. Tot slot zou de genoemde afstemming van resources geautomatiseerd kunnen worden.

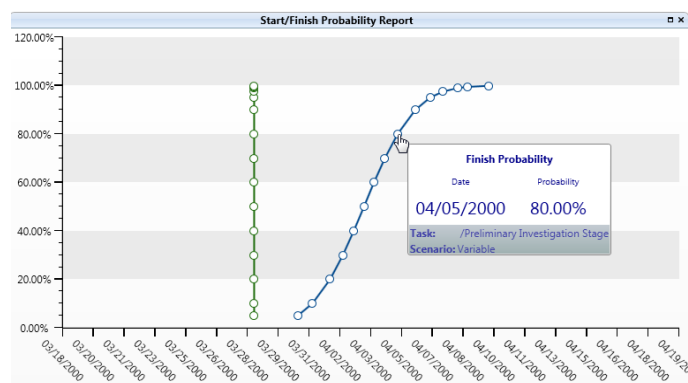
Ook kunnen andere analyses toegevoegd worden aan het model, zoals kritieke pad en line-of-balance analyse. Met deze analyses kan bijvoorbeeld onderzocht worden welke activiteiten meer of minder resources vereisen voor een optimale uitvoeringsplanning. Ook kan onderzocht worden waar buffers in de planning ingebouwd kunnen worden voor een robuustere planning.

Resultaten

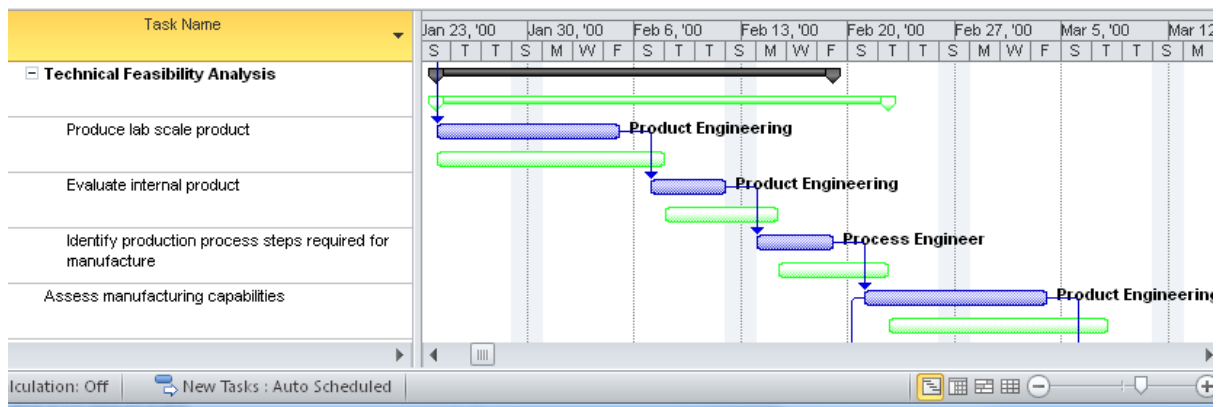
De huidige weergave van resultaten is erg beperkt qua mogelijkheden, informatievoorziening en overzichtelijkheid. De report en trace bestanden zeggen de gebruiker weinig en zijn zeer slecht leesbaar voor een leek. Ook de Gantt charts kennen nog de nodige beperkingen.

Door het verbeteren van de Gantt charts kan de bruikbaarheid van het model verhoogd worden. Zo zou een andere, betere, uitvoermethode dan het huidige JPEG bestand geïmplementeerd kunnen worden. Betere schaalbaarheid en scrolbaarheid van de resultaten komt de overzichtelijkheid ten goede. Ook een mogelijkheid voor het samenvatten van alle aangelegde connecties per rioolstreng in één balk zou de overzichtelijkheid ten goede komen. Ten slotte draagt het toevoegen van instellingen van zoals werktijden, vakanties en startdatum hiertoe bij.

Extra functionaliteit zou toegevoegd kunnen worden door verschillende kleuren aan balken toe te kunnen kennen. Bijvoorbeeld een kleur voor elke ingezette resource, of per deelproces. Idealiter zou een koppeling met een ver ontwikkeld programma voor Gantt charts (bijvoorbeeld Microsoft Project) gemaakt worden voor deze uitvoer. Dit is weergegeven in figuur 8-2 waarbij ook een uitvoeringsrange op basis van stochastische analyse is weergegeven. Deze weergave met twee balken per activiteit kan ook gebruikt worden om twee alternatieve simulaties weer te geven. Zo kunnen de gevolgen van wat-als analyses, alternatieven en optimalisaties inzichtelijk gemaakt worden. In figuur 8-1 is een andere mogelijke weergave van stochastische analyse weergegeven, hierbij is de waarschijnlijkheid van de opleverdatum van een project weergegeven door middel van de blauwe kansverdeling.

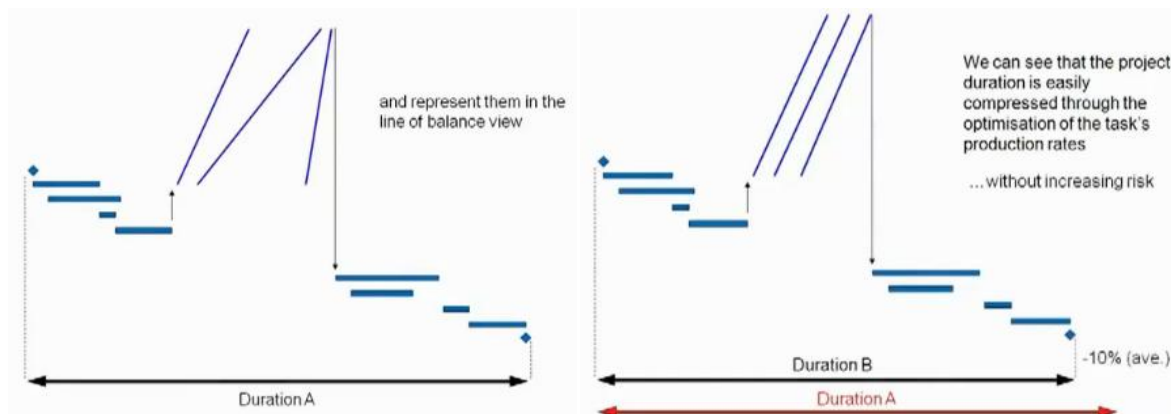


Figuur 8-1 Waarschijnlijkheid opleveringsdatum



Figuur 8-2 Gantt Chart met uitvoeringsrange of alternatieve simulieruns

Vooral i.c.m. het automatisch uitvoeren van experimenten dienen de gegevens van de verschillende simulatieruns overzichtelijk gepresenteerd te worden in één uitvoer. Dit kan niet alleen met Gantt charts, maar ook door middel van andere uitvoertypes. Deze nieuw toe te voegen uitvoertypes kunnen andere inzichten opleveren door de andere weergave van de resultaten. Nieuwe uitvoer types kunnen ook het resultaat zijn van het toevoegen van een nieuw type experiment. Zo is voor het uitvoeren van een kritieke pad analyse of een line-of-balance analyse een nieuwe uitvoermogelijkheid vereist. Het resultaat van twee line-of-balance experimenten is weergegeven in figuur 8-3. Hierbij zijn de resources in de tweede run geoptimaliseerd.



Figuur 8-3 Resultaat line of balance experimenten

8.4 Abstracties proceslogica

Hoewel een simulatiemodel altijd een abstractie van de werkelijkheid is zijn er nog wel mogelijkheden om enkele abstracties weg te nemen. Het wegnemen van abstracties heeft alleen nut als dit bijdraagt aan het doel van het simulatiemodel. Zoals behandeld in paragraaf 6.4.2 zijn enkele processtappen niet in het model verwerkt. Het toevoegen van deze stappen zou de functionaliteit en accuratesse van het model verder kunnen verhogen. Met name de inzet van een telescoopkraan om zware buizen of putten te plaatsen is een activiteit die vaak voorkomt en sterke invloed op het uitvoeringsproces kan hebben. Ook rioolinspectie kan een belangrijke rol spelen, indien hierop wordt wacht voordat de wegverharding aangebracht wordt. Implementatie van de stappen “grondbemaling” en “veiligheidsvoorzieningen” zijn met het oog op het rioleringsproces alleen niet van groot belang, omdat ze hier parallel aan worden uitgevoerd. Wel kunnen deze activiteiten binnen het kader van binnenstedelijke gebiedsrenovatie van invloed zijn op de overige bouwprocessen, en daarom van belang zijn. Binnen het kader van binnenstedelijke gebiedsrenovatie kan ook het modeleren van bovengrondse infrastructuur en tijdelijke bouwwegen nuttig zijn. Ten slotte kan de huidige simulatie van rioleringsaanleg met enkele aanpassingen ingezet worden voor de simulatie van de aanleg van andere nuts voorzieningen zoals gas, water en elektra.

Bibliografie

- Aboma. (2009). *Toolbox Grondwerk, Putten en Sleuven*. Ede: Aboma.
- Archidat. (2013, 1). *Civiele techniek*. Opgeroepen op 1 14, 2013, van bouwkosten online: <http://bouwkosten-online.nl/>
- Baarda, D. B., & de Goede, M. P. (1997). *Basisboek Methoden en Technieken - praktische handleiding voor het opzetten en uitvoeren van onderzoek*. Houten: Educatieve Partners Nederland BV.
- Cha, J.-H., Roh, M.-i., & Lee, K.-Y. (2010). Integrated simulation framework for the process planning of ships and offshore structures. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 430-453.
- Cobouw. (2011, oktober 7). *Sleufloos renoveren van riool weinig populair*. Opgeroepen op april 11, 2012, van Cobouw : <http://www.cobouw.nl/nieuws/algemeen/2011/10/07/sleufloos-renoveren-van-riool-weinig-populair>
- Glaubitz, F., Klein Kranenbarg, A., & Wolbers, E. (2012, Mei 2). Oriëntatie rioleringsprojecten. (S. Hoitema, Interviewer)
- Gosling, J., & McGilton, H. (2012, Juni 6). *The Java Language Environment*. Opgehaald van Oracle: <http://www.oracle.com/technetwork/java/index-136113.html>
- Halpin, D. W., & Riggs, L. S. (1992). *Planning and analysis of construction operations*. New York: John Wiley & sons.
- König, M. (2011). Robust Construction Scheduling Using Discrete-Event Simulation. *Computing in civil engineering*, 446-453.
- Min, F.-Y., Yang, M., & Wang, Z.-C. (2010). Knowledge-based method for the validation of complex simulation models. *Simulation Modelling Practice and theory*, 500-515.
- Object Management Group. (2012, Juni 9). *Introduction to OMG's UML*. Opgehaald van OMG: http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm
- ONRI-werkgroep Riolerings . (2009). *Module riolerings voor het HBO*. Den Haag: KIVI-NIRIA.
- Oosterom, G. E., & Langeveld, J. G. (2011). Dutch Urban drainage benchmarking: from a reflection of today's status to a driving force for future development of the sector. *IWA conference, International Water Week*. Amsterdam: stichting Rioned.
- Oracle. (2012a, Juni 6). *About the Java Technology*. Opgehaald van The Java Tutorials: <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/getStarted/intro/definition.html>
- Oracle. (2012b, Juni 6). *Info over Java*. Opgehaald van Java: <http://www.java.com/nl/about/>
- Page, B., & Kreutzer, W. (2005). *The Java Simulation Handbook - Simulation of Discrete Event Systems with UML and Java*. Aachen: Shaker Verlag GmbH.
- Sdu uitgevers. (2013, 1). *gwwkosten*. Opgeroepen op 1 14, 2013, van gwwkosten: <http://www.gwwkosten.nl/kostenkengetallen.aspx>
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter simulation conference* (pp. 7-14). Texas: WSC.
- Stichting Rioned. (2010a). *De openbare ruimte en het riool; een geïntegreerd systeem*. Ede: stichting Rioned.
- Stichting Rioned. (2010b). *Riolerings in Beeld - Benchmark rioleringszorg 2010*. Ede: Stichting Rioned.
- University of Hamburg. (2012, Juni 6). *Home*. Opgehaald van Desmo-J: <http://desmoj.sourceforge.net/home.html>
- Vereniging van Onderzoek Instituten. (1989). *Cursusboek Interviewen*. Amsterdam: VOI.
- Wu, C., Borrmann, A., Beißert, U., König, M., & Rank, E. (2010). Bridge construction schedule generation with pattern-based construction methods and constraint-based simulation. *Advanced Engineering Informatics*, 379-388.