

# STROOMLIJNING VAN BINNENSTEDELIJKE RIOLERINGSPROJECTEN

Paperbundel over virtuele tools voor coördinatie en afstemming van reconstructiewerkzaamheden aan  
ondiepe ondergrondse infrastructuur.

*Léon olde Scholtenhuis*



UNIVERSITEIT TWENTE.

vernieuwt de bouw  
**pioneering**



# Stroomlijning van Binnenstedelijke Rioleringsprojecten

Paperbundel over virtuele tools voor coördinatie en afstemming van reconstructiewerkzaamheden aan  
ondiepe ondergrondse infrastructuur.

*Léon olde Scholtenhuis*

Enschede, 16 juli 2012

Masterthesis voor de opleiding Construction Management & Engineering  
3TU Federatie, Universiteit Twente

In samenwerking met Stichting Pioneering, werkplaats Innovatieve Toepassingen GWW

Afstudeercommissie:  
Prof. Dr. Ir. André G. Dorée  
Dr. Timo Hartmann



## Voorwoord

Struisvogels steken hun kop in het zand om hun vijand te ‘ontvluchten’. Deze ‘wat je niet ziet is er niet’-tactiek is natuurlijk weinig effectief en kortzichtig; de vijand blijft even gevaarlijk en de struisvogel is op deze manier een gemakkelijke prooi. Volgens de struisvogelmetafoor ontvluchten besluitvormers op vergelijkbare wijze een probleem, namelijk door het bestaan ervan te ontkennen. Dit gebeurt ook veelal met de problematiek van ondiepe ondergrondse infrastructuur in binnenstedelijke omgeving. Onbekende ligging van kabels en leidingen, graafschade en coördinatieproblemen tijdens werkzaamheden aan ondergrondse infrastructuur worden namelijk dikwijls onderbelicht. Ondiepe ondergrondse infrastructuur is niet hightech, niet zichtbaar en daarom een weinig sexy onderwerp voor projectmanagers en lokale politiek. Dat de problematiek niet altijd erkend wordt is toch vreemd, want wanneer een struisvogel in stedelijke omgeving haar kop in het zand steekt, is de kans groot dat zij verstrikt raakt tussen de grote hoeveelheid kabels, leidingen, buizen, wortels of zelfs blindgangers die hier in de afgelopen decennia terecht zijn gekomen. In plaats van ontvluchting zou de struisvogeltactiek in dit geval, paradoxaal genoeg, moeten zorgen voor erkenning van een probleem dat bovengronds niet zichtbaar is. De grote hoeveelheid kabels, leidingen en buizen die aangelegd en beheerd worden door verschillende partijen zorgen namelijk voor een ingewikkeldheid die coördinatie en afstemming van reconstructiewerkzaamheden in binnenstedelijke ondergrond compliceert. Vele partijen die beheer en onderhoud plegen aan nutsvoorzieningen weten bovendien niet zo goed wat er in de ondergrond ligt. Momenten van gedwongen improvisatie op de bouwplaats zijn daardoor eerder regel dan uitzondering en zorgen dikwijls voor uitloop en budgetoverschrijding.

Om de problematiek van betrouwbare planning en uitvoeringsprocessen te bestuderen stak ik mijn kop in het zand en schreef de vier papers die deze bundel vormen. De inpassing van deze onderzoeksactiviteiten in mijn curriculum was bijzonder. Bij de aftrap van mijn tweejarige master Construction Management & Engineering (2009) kreeg ik namelijk de kans om als eerste CME-student gedurende zijn master met onderzoeksactiviteiten te starten die zouden doorlopen in een meerjarig promotietraject. Ik nam dit aanbod aan en startte het onderzoek na het organiseren van de Concept-studiereis in 2010. Door deze unieke onderzoek- en onderwijscombinatie kreeg ik de mogelijkheid om al tijdens het mastertraject de wondere GWW-sector te verkennen terwijl ik gelijktijdig kennis maakte met toegepast wetenschappelijk onderzoek.

Een ruime twee jaar later kijk ik tevreden terug op deze periode. Aan de CME-vakken en mijn afstudeerbundel heb ik met veel plezier en inzet gewerkt. Ik had dit niet kunnen doen zonder de inhoudelijke begeleiding van André en Timo. Ik ben hen dankbaar voor de vele open discussies, hun snelle en kritische feedback en hun gezelschap tijdens de vier conferenties. Verder wil ik de betrokken gemeenten, aannemers en netbeheerders die mij de gelegenheid gaven om een kijkje in hun keuken te nemen, bedanken. In het bijzonder ben ik dank verschuldigd aan de Stuurgroep Innovatieve Toepassingen in de Grond- Weg- en Waterbouw van Stichting Pioneering. Zij hebben niet alleen waardevolle contacten met de praktijk mogelijk gemaakt, maar financieren bovendien mijn onderzoeksproject. Niet te vergeten, nog een woord van dank voor mijn familie, vrienden, medestudenten en collegae. Zij leverden een belangrijke bijdrage tijdens informele discussies over mijn onderzoek, maar zorgden ook voor gezelligheid en ontspanning die indirect een belangrijk aandeel hadden bij de afronding van mijn studie. Tot slot ben ik er van overtuigd dat de betrokkenheid van mijn begeleiders, de Pioneering stuurgroep, gemeenten, aannemers, familie, vrienden en collega's mij ook in de komende vier jaren veel inspiratie, energie en motivatie geven voor het doorlopen van mijn promotietraject.

## Lijst van figuren en tabellen

Fig. 1 - visualisatie opbouwpaperbundel

Fig. 2 - oorzaken en gevolgen van de Gordiaanse Knoop

Fig. 3 - critical points in the change process (Weinberg 1997)

Fig. 4 - research framework that illustrates necessary alignment between individuals, work practices and CIT-features.

Fig. 5 - design activities that use 3D-models as point of departure (above) versus separate 2D, 3D-design and visualisation activities as in practical example (below)

Fig. 6 - Systems Architecture for the Virtual Construction Site that supports utility construction management tasks.

Fig. 7 - process model describing the flow of data between modules of the virtual construction site

Fig. 8 - visualization of critical paths on two alternative schedules for a prototypical sewer project

Fig. 9 - asphalt layer sections on intersection

Fig. 10 - traffic detection loops and cable sections for traffic signs

Fig. 11 - excavation trench, pipe sections, and dewatering machine

Fig. 12 - view on intersection with the various visualized objects

Tab. 1 - verschillende 'ingrediënten' van hoogbetrouwbare organisaties en RKL-werkzaamheden hoogbetrouwbare organisaties

Tab. 2 - required versus available input for the 4D-model on the Hengelo project

Tab. 3 - object model for visualization and simulation of subsurface utility design and construction plans

# Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Lijst van figuren en tabellen.....	ii
Inleiding.....	1
Ontwikkelingen: coördinatie, afstemming en technologieën.....	1
Filosofie en onderzoeksactiviteiten.....	2
Leeswijzer.....	3
1. De Gordiaanse Knoop van kabels en leidingen: hakken we hem door?.....	6
Inleiding.....	6
Onderzoeksopzet.....	7
Hoe de Gordiaanse Knoop gelegd werd.....	7
Betrouwbare processen, een recept zonder ingrediënten.....	9
Op onverwachte situaties anticiperen en deze beheersen.....	10
Conclusies.....	11
Discussie.....	12
2. Challenges for Construction IT adoption on project level.....	13
Introduction.....	13
Describing individual change and work practices using three different perspectives.....	14
Research Method.....	16
Results from field research.....	17
Discussion.....	20
Conclusion.....	20
Consecutive research efforts.....	21
Acknowledgements.....	21
3. Systems Architecture for a Virtual Construction Site to support utility construction management tasks.....	22
Introduction.....	22
Tools to support construction management tasks.....	23
Systems Architecture.....	24
Development approach.....	27
Proof of concept: discrete-event simulations for a prototypical sewer project.....	28
Discussion.....	30
Conclusion.....	30
Consecutive research efforts.....	30
Acknowledgements.....	30

4. An object model to support visualizations and simulations of subsurface utility construction activities .....	31
Introduction .....	31
Theoretical points of departure.....	32
Research approach .....	33
Subsurface utility project object model.....	34
Validation.....	36
Further research steps.....	36
Conclusion .....	37
Acknowledgements .....	37
Afsluiting.....	38
Methodologische reflectie .....	39
Opgaven voor onderzoek en ontwikkeling.....	40
Nawoord .....	41
Referenties.....	42



## Inleiding

Reconstructiewerkzaamheden aan kabels, leidingen en het riool in de binnenstad zijn ingrijpend voor de omgeving. Ze veroorzaken overlast en belemmeren bereikbaarheid van dichtbevolkt binnenstedelijk gebied. Betrokken aannemers worden daarom bij ieder project uitgedaagd om hun verscheidene werkzaamheden in een strakke planning op elkaar af te stemmen. Deze afstemming en handhaving van de planning blijkt in de praktijk lastig. Een uitvoerder in het VPRO-programma Labyrint (d.d. 18 april 2012) beschreef een, voor hem dagelijkse, situatie: “d'r moet wel een planning zijn en we proberen ook die planning te halen, maar 't lukt gewoon niet, want je komt voor zoveel verrassingen te staan. Dan loop je tegen het riool aan, dan kom je weer een oude gasleiding tegen, of een waterleiding die verlaten is. Dan moet je weer gaan onderzoeken: is die buiten bedrijf, of?” Uit beelden van ervaringsdeskundigen en platforms als het GPKL en KLO blijkt dat dit soort momenten van improvisatie bij reconstructiewerkzaamheden eerder regel dan uitzondering zijn. De momenten vergroten de kans op vertraging en budgetoverschrijding en hebben verder allerlei indirecte maatschappelijke gevolgen als leveringsonderbrekingen (Houtum and Dols 2011) verslechterde bereikbaarheid voor verkeer en ondernemingen, verlies van draagvlak voor werkzaamheden en overlast voor de omgeving (KLO 2008). In deze paperbundel behandelen we de eerste resultaten van het onderzoek naar deze problematiek van betrouwbare planning en uitvoering van reconstructiewerkzaamheden. We gaan in op vragen als hoe kunnen dit soort werkzaamheden betrouwbaarder plannen en uitvoeren? En, welke bijdrage kunnen nieuwe technologieën leveren?

In dit hoofdstuk bespreken we eerst de achtergrond van dit onderzoek: de ontwikkelingen die betrouwbaarheid van planning en uitvoering van binnenstedelijke reconstructiewerkzaamheden onder druk zetten. Hieruit vloeit onze onderzoeksvraag en een overzicht van onderzoeksactiviteiten voort. In de leeswijzer beschrijven we kort hoe de paperbundel verder is opgebouwd.

### **Ontwikkelingen: coördinatie, afstemming en technologieën**

De omvang van het kabels-, leiding- en buizen netwerk in de Nederlandse bodem is nog altijd groeiende. Water-, energie-, en telecomnetten kregen in afgelopen decennia een plek in de ondergrond; in de komende jaren komen daar glasvezelkabels, warmte koude opslag en afvaltransportsystemen bij. Naast deze fysieke ontwikkeling, leidden liberalisering en privatiseringsbeleid tot een forse toename van het aantal partijen in de nutssector. Voor reconstructiewerkzaamheden betekende dit dat het aantal opdrachtgevend en uitvoerend partijen groeide. De overheidsinvloed op deze werkzaamheden nam af, terwijl de verantwoordelijkheid voor een snel en betrouwbaar uitvoeringsproces zich verdeelde over een groter aantal partijen. Ook informatie, kennis en middelen versnipperden in een meer gefragmenteerde keten. Om werkzaamheden goed te kunnen plannen en uitvoeren worden partijen daarom tot samenwerking gedwongen. Daarnaast kunnen strategisch gedrag en commerciële belangen in deze samenwerking leiden tot suboptimale afstemming en coördinatie in het plan- en uitvoeringsproces.

In de veranderende omgeving wordt het voor uitvoerders en projectmanagers lastiger om afstemming te vinden, werkzaamheden te coördineren en om ongewenste situaties te voorzien en beheersen. De overheid, opdrachtgevers, en belangenorganisaties hebben daarom diverse stroomlijningsinitiatieven ontplooid. Twee voorbeelden zijn de invoering van de Wet Informatie-Uitwisseling Ondergrondse Netten (WION) en de CROW Richtlijn Zorgvuldig Graafproces. Gelijktijdig hebben in de afgelopen jaren verschillende tools en technieken hun intrede gedaan. Bouwprocesvisualisaties, 3D-design reviews en de KLIC-online database kunnen ontwerpers en werkvoorbereiders bijvoorbeeld helpen om een robuuster ontwerp en betere planning te maken. Ook uitvoeringsprocessen kunnen worden

verbeterd en versneld met tools als radiodetectie, GPR, RFID en 3D-GPS. Daarnaast bieden web-based informatiesystemen, location-based services en Augmented Reality voor projectmanagers mogelijkheden om stakeholders te voorzien van belangrijke projectinformatie.

Hoewel nieuwe deze tools en technieken de potentie hebben om ondergrondse reconstructieprojecten te verbeteren en versnellen, kunnen zij, wanneer deze bijvoorbeeld niet goed ingepast zijn in de organisatorische omgeving, ook een versturende werking hebben op de betrouwbaarheid van planning- en uitvoeringsprocessen. In deze paperbundel gaan we in op deze spanning tussen technologieën en de organisatie-omgeving. We kijken hoe deze tools het voorkomen en beheersen van naar ongewenste situaties op de bouwplaats ondersteunen. Hieruit vloeit de volgende onderzoeksvraag voort:

*Hoe kunnen reconstructiewerkzaamheden aan ondergrondse infrastructuur met behulp van nieuwe tools en technieken betrouwbaarder worden gepland en uitgevoerd?*

## Filosofie en onderzoeksactiviteiten

Dit rapport bundelt vier papers die de resultaten beschrijven van één jaar deeltijdonderzoek voor “Stroomlijning Binnenstedelijke Rioleringsprojecten”; een onderzoeks- en ontwikkelingsproject van de werkplaats Pioneering Innovatieve Toepassingen in de GWW. In deze paragraaf lichten we de filosofie van dit project en de afgeronde onderzoeksactiviteiten toe.

Naar onze filosofie kunnen planning- en uitvoeringsprocessen met behulp van technologie betrouwbaarder worden uitgevoerd wanneer deze aansluit bij de werk- en denkwijze van professionals uit het werkveld. Tools en technieken moeten dus nauw aansluiten bij de behoeften van de verschillende disciplines die betrokken zijn bij uitvoering van binnenstedelijke rioleringsprojecten. Voor onze onderzoek en ontwikkeling behoeven we daarom methoden waarmee de werkdynamieken in de praktijk beschreven en bestudeerd kunnen worden. Manieren waarmee we de ‘cultuur van binnenstedelijke rioleringsprojecten’ daarom analyseren en beschrijven zijn: observaties van gebeurtenissen op de bouwplaats, interviews (Spradley 1979) en participatie in de managementtaken van werkvoorbereiders, uitvoerders en projectmanagers (o.a. Jorgensen 1989). Deze dataverzamelingwijzen helpen om technologie samen met de praktijk te ontwikkelen en stellen ons vanuit de rol als onderzoeker in staat om het adoptie- en implementatieproces van dichtbij te volgen.

Onze aanpak baseren we op de ethnographic-action research-benadering (Hartmann et al. 2009). Deze aanpak gebruikt cycli van etnografisch onderzoek naar denk- en werkwijzen van professionals en action research, waarbij een techniek op een iteratieve manier wordt ontwikkeld, geïntroduceerd en geëvalueerd met het werkveld. Deze grassrootsbenadering is geschikt om een tool of techniek in nauwe samenwerking met de praktijk te ontwikkelen en evalueren. Dit blijkt bijvoorbeeld uit drie case studies waarin informatietechnologie (o.a. een financiële besluitvormingstool, 3D-modellen en visualisaties van asfalteringwerkzaamheden) werd ontwikkeld door middel van intensieve samenwerking met de praktijk (Hartmann, Miller, Dorée 2009).

In lijn met onze filosofie en ethnographic-action research-aanpak hebben we de volgende ontwikkel- en onderzoeksactiviteiten uitgevoerd:

- Een ex-post evaluatie van het rioleringsproject Kuipersdijk Enschede. De planning van dit project liep enkele maanden uit. Aan de hand van interviews en documentstudie reconstrueerden we het werkvoorbereidings- en uitvoeringsproces. We analyseerden vervolgens besluiten en kritieke gebeurtenissen.

- Het project Anninksweg Hengelo: hier observeerden en analyseerden we bouwvergaderingen en werkzaamheden op de bouwplaats. Ook maakten we samen met de uitvoerder enkele visualisaties van het geplande bouwproces.
- In een aantal bijeenkomsten met ontwerpers en projectleiders bij BAM Wegen Oost spraken we over het gebruik van 2D en 3D-ontwerpsoftware (AutoCAD en Autodesk Civil 3D).
- We observeerden bouwvergaderingen en activiteiten op de bouwplaats bij het project Twekkelerzoom Enschede.
- Voor de eerste module van de Virtuele Bouwplaats modelleerden we scenario's voor constructiewerkzaamheden van een prototype rioleringsproject aan de hand van discrete-event simulaties en een visualisatie van het kritieke pad.
- We bestudeerden literatuur als raamwerk voor data-analyse en context van onze onderzoeksactiviteiten.

De bovenstaande onderzoeksactiviteiten hebben geleid tot de publicatie van de vier papers in deze bundel. Verder hebben we tijdens het afstudeertraject bij de gemeenten Enschede, Hengelo en Losser onderzoek gedaan naar mogelijke gebruikswijzen van de Horus video-surround tool. Horus biedt met deze tool on-demand 360-graden videobeelden van een bouwplaats voor aanvang van een project. Ook hebben we bij de Gemeente Hengelo projectleiders geïnterviewd over de adoptie en integratie van de smartphone-app BuitenBeter. Over twee onderzoeksactiviteiten verwachten we in een separate paper verslag te doen.

## Leeswijzer

Deze paragraaf beschrijft de opbouw van de paperbundel. We beschrijven iedere paper kort en geven aan waar deze gepresenteerd en gepubliceerd is.

De eerste paper draagt de titel: *De Gordiaanse Knoop van kabels en leidingen: hakken we hem door?* Deze paper is op 22 mei 2012 gepresenteerd tijdens de CROW Infradagen in de sessie kabels & leidingen. Het werk is gepubliceerd in het online CROW Infradagen archief. We bespreken hoe de betrouwbaarheid van planning- en uitvoeringsprocessen van reconstructiewerkzaamheden in de afgelopen jaren onder druk is komen te staan. We doen dit aan de hand vijf anticipatie- en controleprincipes uit de High Reliability Organizing (HRO) theorie.

De tweede paper, getiteld *Challenges for Construction IT adoption on project level*, hebben we in de sessie Information Technology and Support Systems op 7 september 2011 gepresenteerd tijdens de 27th ARCOM Annual Conference in Bristol. Het werk is gepubliceerd in de book of abstracts en in de elektronische conference proceedings (vol 1. pp. 443-452). In de paper beschrijven we aan de hand van drie casussen de implementatie van nieuwe technologieën bij civieltechnische bouwprojecten. We introduceren drie verschillende perspectieven die de adoptie van een nieuwe technologie beïnvloeden.

De derde paper heeft als titel *Systems Architecture for a Virtual Construction Site to support utility construction management tasks* en is op 27 juni 2012 gepresenteerd tijdens de 19<sup>e</sup> International Workshop van de European Group of Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE) in Herrsching, Duitsland. Het werk is in de elektronische conference proceedings gepubliceerd. Een samenvatting staat tevens in de book of abstracts. In de paper geven we een overzicht van bestaande ondersteunde tools en technieken. We bespreken verder onze eerste validatieslag van een Virtuele Bouwplaats die we hebben ontwikkeld om hulp te bieden bij het maken van een snelle, grondige scenario-gebaseerde analyse van geplande reconstructiewerkzaamheden aan ondergrondse infrastructuur.

De vierde paper: *An object model to support visualizations and simulations of subsurface utility construction activities*, presenteerden we op 4 juli tijdens de 14<sup>th</sup> International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE) in Moskou. Het werk is opgenomen in de elektronische conference proceedings. Een ingekorte versie staat in het Abstracts Volume. De paper ontwikkelt een objectmodel; de basis input voor de visualisaties en simulaties die constructiemanagementtaken ondersteunen. We bespreken hoe we samen met de praktijk een dergelijk model hebben ontwikkeld voor reconstructiewerkzaamheden aan binnenstedelijke ondergrondse infrastructuur.

De bundel eindigt met in het hoofdstuk 'afsluiting', waarin we reflecteren en een blik werpen op de voortzetting van het onderzoeksproject Stroomlijning Binnenstedelijke Rioleringsprojecten. We gaan tevens in op belangrijke follow-up punten naar aanleiding van de paperpresentaties op conferenties. Ook reflecteren we in het hoofdstuk 'afsluiting' op onze onderzoeksmethodologie. De samenhang van de onderzoeksvraag, -activiteiten, inzichten en resultaten die opgenomen zijn in deze paper, visualiseren we in Figuur 1.

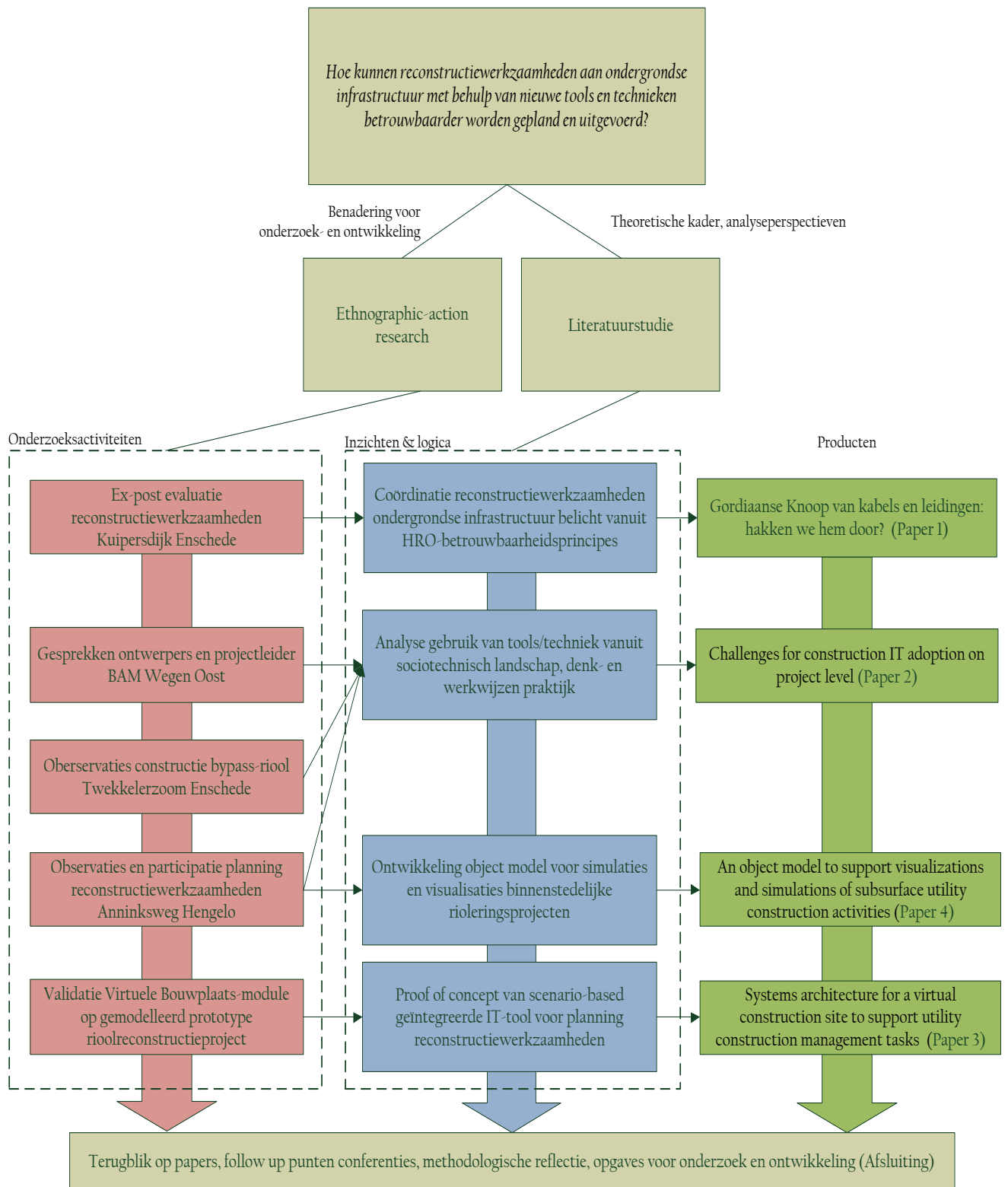


Fig. 1 - visualisatie opbouw paperbundel

# 1. De Gordiaanse Knoop van kabels en leidingen: hakken we hem door?

*Problematische coördinatie van riool-, kabel-, en leidingreconstructies bekeken vanuit theorie over hoogbetrouwbaar organiseren.*

L.L. olde Scholtenhuis, A.G. Dorée, Universiteit Twente

Gepresenteerd tijdens de CROW Infradagen 2012, Papendal  
Gepubliceerd in het online CROW Infradagen Archief

Langdurige overlast, uitloop en budgetoverschrijding komen voor bij een groot aantal reconstructiewerkzaamheden aan het riool, en ondergrondse kabels en leidingen. Oorzaken van deze problemen, die eerder regel dan uitzondering zijn, zijn bijvoorbeeld weersomstandigheden, graafschade of meerwerk door een plotse ontdekking van een weesleiding. Daarom beschouwt deze paper wat de coördinatie van deze onverwachte gebeurtenissen tijdens binnenstedelijke reconstructieactiviteiten zo ingewikkeld maakt. De coördinatie is in de afgelopen jaren sterker onder druk komen te staan als gevolg van privatisering, liberalisering en het tekort aan geschoolde vakmensen op de bouwplaats. Doordat de overheid zich terugtrok versnipperde informatie, kennis en ervaring over aanleg, beheer, en onderhoud van ondergrondse infrastructuur over een toenemend aantal nutspartijen. Dit leidde op de bouwplaats tot allerlei ambiguïteiten en coördinatieproblemen. Vanuit de theorie over sterk gedecentraliseerde, geïntegreerde organisaties die in onzekere en risicovolle omstandigheden betrouwbaar presteren, bekijken we betrouwbaarheid van coördinatieprocessen van binnenstedelijke reconstructiewerkzaamheden.

## Inleiding

“Alleen per kameel bereikbaar”, “centrumkruising is één grote zandvlakte” en “minder klanten door opbreking”. Deze koppen uit regionale kranten berichten over de ergernis en frustraties die reconstructies van ondergrondse infrastructuur in de binnenstad vaak veroorzaken. Tijdens deze werkzaamheden steken zowel civiele als nutsaannemers gelijktijdig de schop in de grond voor onderhoud aan het riool en het ondergrondse kabel- en leidingnet. Deze ingrijpende gebeurtenissen verstoren de bereikbaarheid van de drukbezette openbare ruimte: winkeliers zijn beperkter bereikbaar en men ondervindt hinder van lawaai en trillingen. Daarnaast manoeuvreert het bouwverkeer zorgvuldig, maar niet zonder gevaar, langs voetgangers, fietsers en autoverkeer.

Je zou verwachten dat de overlast in de binnenstad door dit soort werkzaamheden tot een minimum wordt beperkt. Toch blijken de meeste projecten langer te duren dan gepland en overschrijden daarnaast vaak hun budget. In deze paper bespreken we hoe complex het bij deze projecten voor de verscheidene uitvoerders en opdrachtgevers is om onverwacht opgetreden gebeurtenissen te coördineren. We belichten hoe de ontwikkelingen in de afgelopen decennia, versterkt door huidige ontwikkelingen, zorgen voor coördinatieproblemen van de verschillende reconstructiewerkzaamheden aan het riool, kabels en leidingen. We bekijken deze ontwikkelingen vanuit principes voor hoogbetrouwbaar organiseren die zijn afgeleid uit industrieën waar de gevolgen van onvoorzien omstandigheden catastrofaal kunnen zijn. In deze organisaties zorgen vijf principes voor betrouwbare processen die leiden tot minder ongewenste variaties (Weick, Sutcliffe et al. 1999) het vermijden van niet-doelen (Roberts and Creed 1993). In deze paper gebruiken we de vijf principes om te kijken naar binnenstedelijke reconstructiewerkzaamheden aan het riool, kabels en leidingen (afgekort RKL-werkzaamheden). We bekijken in het vervolg van de paper hoe deze principes passen

binnen ons onderzoeksproject, beschrijven de samenhang tussen partijen bij RKL-werkzaamheden en vergelijken dit met de organisatievorm die hoogbetrouwbare organisaties kent. We bespreken ten slotte hoe deze onderlinge verschillen het nastreven van principes voor betrouwbaarheid compliceren.

## Onderzoeksopzet

Deze paper is gebaseerd op interviews met experts uit de GWW-sector, observaties van bouw- en nuts vergaderingen en een ex-post evaluatie van ingrijpende RKL-werkzaamheden in Gemeente Enschede. Deze dataverzameling vond plaats gedurende een periode van ongeveer één jaar en gaf inzicht in de afstemming van werkzaamheden en uitwisseling van informatie bij dit soort werkzaamheden. Door deze processen te van dichtbij te volgen kregen we inzicht in de probleemsituaties en obstakels die betrokken opdrachtgevers en opdrachtnemers dagelijks tegenkomen.

## Hoe de Gordiaanse Knoop gelegd werd

Een Gordiaanse knoop is een knoop volgens de Griekse mythologie dusdanig ingewikkeld is dat hij alleen met het nodige geweld losgemaakt kan worden. ‘De knoop doorhakken,’ is hier een voorbeeld van. Deze paragraaf gaat in op hoe het liberaliserings- en privatiseringsbeleid van de afgelopen decennia en het tekort aan opgeleid personeel een gordiaanse knoop legden voor de coördinatie van RKL-werkzaamheden.

## Het binnenstedelijke rioleringsproject: enkelvoud of meervoud?

Van buitenaf lijken RKL-werkzaamheden één samenhangend project te vormen. Hoewel deze veronderstelling enkele decennia geleden op ging, is de verantwoordelijkheid aanleg-, beheer- en reconstructiewerkzaamheden inmiddels versnipperd geraakt en ingewikkelder geworden. Een ontwikkeling die hieraan heeft bijgedragen is de liberalisering van de nutssector. Deze leidde tot een tot een toename van het aantal nutsbeheerders. Door privatisering van openbare nutsbedrijven kreeg de overheid bovendien minder controle over deze partijen. Dit beleid zorgde in korte tijd voor sterke veranderingen die direct zichtbaar waren op de bouwplaats. Hoewel het aantal projectleiders en uitvoerders toenam, leek er paradoxaal genoeg bij RKL-werkzaamheden nog maar weinig sprake van samenwerking en leiderschap.

Om coördinatie van reconstructiewerkzaamheden beter te kunnen begrijpen kunt u deze voorstellen als een combinatie van onderling afhankelijke, niet geïntegreerde projecten. De taken en verantwoordelijkheden die voorheen lagen bij de gemeente, enkele openbare nutsbedrijven en hun aannemer zijn gaandeweg versnipperd geraakt over een groeiend aantal nutspartijen. Neem als voorbeeld een project waarbij in een winkelstraat een riool moet worden verlegd en enkele bomen worden geplant. De bomen komen boven bestaande infrastructuur te staan, waardoor er ook enkele kabels en leidingen moeten worden verlegd. Bij dit relatief eenvoudige werk loopt het aantal betrokkenen al snel op. De eerste opdrachtgever is de gemeente. Zij draagt zorg voor de bomen in de winkelstraat en is verantwoordelijk voor onderhoud aan het riool. Hiervoor is een aannemer geselecteerd. Overige opdrachtgevers zijn Vitens, Enexis, Cogas en KPN. Deze partijen zullen vanwege de werkzaamheden van de gemeente hun kabels en leidingen moeten verleggen. Dit combineren ze met reconstructie van hun overige kabels of leidingen in de straat. Ook zij delegeren de uitvoering van het werk naar hun aannemers. In de meest ongunstige selecteert iedere nutsbeheerder een andere aannemer, waardoor het aantal betrokken partijen bij dit ‘eenvoudige project’ oploopt tot minimaal zeven.

Vanwege de onderlinge afhankelijkheid van de verschillende reconstructieprojecten, moeten nuts- en civiele aannemers hun werkzaamheden op elkaar afstemmen. Zo moet voorafgaand aan een rioleringsproject bijvoorbeeld eerst een kabel gerooid of verlegd worden voordat werkzaamheden aan het riool kunnen starten. Naast de onderlinge afhankelijkheden, heeft iedere partij verschillende doelstellingen,

planningen en materieel. Het is daarom ingewikkeld om de verschillende bouwplannen op elkaar af te kunnen stemmen. Soms schiet deze afstemming tekort, waardoor zowel uitvoerende als opdrachtgevende partijen een gebrekkig beeld hebben van de onderlinge samenhang van de verscheidene reconstructieprojecten die op de bouwplaats worden uitgevoerd.

### **Groeiend tekort geschoolde vakmensen en gebrek aan kennis**

Een recente ontwikkeling die voor meer coördinatie-ingewikkeldheid op de bouwplaats leidt, is het groeiende tekort aan geschoolde vakmensen op de bouwplaats. Uit de gesprekken met uitvoerders bleek dat het in de komende jaren een grote uitdaging wordt om vervanging te vinden voor het aantal nutsmonteurs dat de sector uitstroomt. Dit leidt op den duur tot capaciteitstekorten waardoor ploegen minder flexibel inzetbaar zijn. Daarnaast splitst de bureaucratische structuur van grote nutsbeheerders ontwerp- en engineeringtaken, werkvoorbereiding en de uitvoering op en verdeelt deze over verschillende afdelingen of externe partijen. Het besluitvormingsproces wordt hierdoor minder overzichtelijk en duurt bovendien langer, omdat meer tijd besteed moet worden aan coördinatie en afstemming. Door meer uit te besteden komen grote nutsbeheerders verder van de bouwput te staan, waardoor hun ontwerp- en uitvoeringskennis langzaam afzwakt.

### **Impact**

Al met al blijkt de toename van het aantal partijen en afname van kennis in de sector te zorgen voor coördinatieproblemen. Vanwege beperkte afstemming van RKL-werkzaamheden is het ingewikkelder om snel en adequaat te reageren op ongewenste veranderingen die uitvoeringswerkzaamheden stilleggen. Om werkplannen te herzien moeten de verscheidene projectleiders op dat moment opnieuw met elkaar en met hun leidinggevend in onderhandeling. Dit proces is vaak tijdrovend, omdat de materialen en het materieel van de verschillende partijen niet per se gelijktijdig beschikbaar zijn en werkplannen soms meerdere stations moet passeren voordat deze goedgekeurd zijn. Een voorbeeld: wanneer een onverwachte weesleiding niet weg kan worden gehaald omdat de verantwoordelijke nutsaannemer onvoldoende capaciteit tot zijn beschikking heeft zal dit opvolgende werkzaamheden ophouden. Het gevolg? Nieuwe onderhandelingen over inzet en afstemming van materieel en vertraging.

De gordiaanse knoop kenmerkt zich dus door inefficiënte coördinatie en suboptimale afstemming van partijen (zie fig 2) niet eenvoudig te verbeteren valt. We veronderstellen daarmee dat de kans groot is dat RKL-werkzaamheden gepaard gaan met vertraging, extra overlast en budgetoverschrijdingen. De volgende paragraaf bekijkt hoe de ingewikkelde coördinatiestructuur invloed heeft op de principes die het mogelijk maken om op onverwachte ongewenste situaties te anticiperen de negatieve effecten hiervan bij optreden zo klein mogelijk te houden.



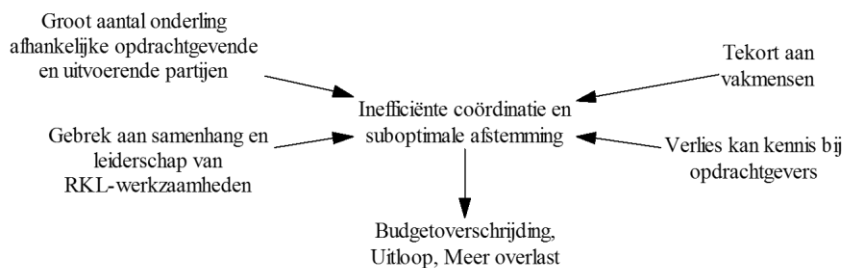


Fig. 2 – oorzaken en gevolgen van de Gordiaanse Knoop

## Betrouwbare processen, een recept zonder ingrediënten

Kerncentrales, vliegdekschepen en brandweerploegen hebben betrouwbare processen nodig, omdat de gevolgen van onverwachte foutsituaties bij hen catastrofaal kunnen zijn. Zulke organisaties zijn daarom sterk gedecentraliseerd en geïntegreerd om te kunnen werken in veranderlijke, onzekere situaties. De processen van deze ‘hoogbetrouwbare organisaties’ zijn gericht op het voorkomen (anticiperen) van onbedoelde handelingen. Wanneer deze toch optreden, zijn er controleprocessen die zich richten op het voorkomen van ongewenste gevolgen. Uit onderzoek uit een groot aantal hoogbetrouwbare organisaties blijkt dat ze allemaal onderstaande principes gebruiken om betrouwbaar te kunnen werken (uit Weick, Sutcliffe et al. 1999):

1. Sterke focus op fouten
2. Aandacht gericht op uitvoering
3. Weerstand bieden tegen vereenvoudiging
4. Respecteren van expertise
5. Veerkrachtig zijn

Deze principes lijken eenvoudig. Wellicht denkt u: *als deze principes bij technologische complexe organisaties zelfs voor betrouwbare, fout-arme prestaties te zorgen, waarom kan dat dan niet bij RKL-werkzaamheden?* De strekking van het antwoord is als volgt: het recept (de principes) is niet ingewikkeld, maar RKL-werkzaamheden beschikken niet over dezelfde ingrediënten (coördinatie-instrumenten) als hoogbetrouwbare organisaties. Hierdoor is het een stuk lastiger om betrouwbare processen te creëren.

Een belangrijk verschil tussen deze hoogbetrouwbare organisaties en de RKL-werkzaamheden is de manier waarop taken, verantwoordelijkheden en controle over middelen georganiseerd zijn. Hoogbetrouwbare organisaties vormen een eenheid, hebben enige vorm van hiërarchische structuur die de verdeling van taken, verantwoordelijkheden en middelen bepaalt. Door een heldere, maar flexibele organisatie met eenduidige doelen kunnen beslissingen snel genomen worden. Ook geldt bij deze organisaties dat de mensen die een besluit nemen volledige controle hebben over de middelen die zij nodig hebben om hun doelen te bereiken.

RKL-werkzaamheden zijn anders georganiseerd: meerdere onderling afhankelijke, niet verenigde partijen werken voeren tegelijkertijd werkzaamheden uit. Er bestaat geen echte projectorganisatie, maar een soort netwerk van de betrokken opdrachtgevende en opdrachtnemende partijen die door middel van onderhandeling tot overeenstemming komen over de afstemming van verschillende werkplannen. In deze situatie is het niet altijd duidelijk wie welke taak, verantwoordelijkheid en beslissingsbevoegdheid draagt. Omdat de aannemers en opdrachtgevers bovendien ieder eigen materieel en personeel hebben en dit verdelen moeten over meerdere projecten, kunnen middelen minder flexibel worden ingezet. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillen opbouw van hoogbetrouwbare organisaties en RKL-werkzaamheden.

Tab. 1 - verschillende 'ingrediënten' van hoogbetrouwbare organisaties en RKL-werkzaamheden hoogbetrouwbare organisaties

Hoogbetrouwbare organisaties	RKL-werkzaamheden
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eenheid</li> <li>• Mate van hiërarchie</li> <li>• Overeenstemming over doelen</li> <li>• Controle over personeel, materiaal en materieel</li> <li>• Snelle besluitvorming en flexibiliteit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderlinge afhankelijkheid, versnippering</li> <li>• Netwerk</li> <li>• Verschillende doelen</li> <li>• Versnipperde controle over middelen</li> <li>• Trage besluitvorming, weinig flexibiliteit door sub-optimalisatie</li> </ul>

## Op onverwachte situaties anticiperen en deze beheersen

Uit de vorige paragraaf blijkt dat het voorkomen en controleren van onverwachte situaties tijdens uitvoering van RKL-werkzaamheden vraagt om andere coördinatie-instrumenten dan bij hoogbetrouwbare organisaties. Bij RKL-werkzaamheden coördineren uitvoerende en opdrachtgevende partijen hun werk onafhankelijk van elkaar. Tegelijkertijd zijn er op de bouwplaats veel afhankelijkheden waar deze partijen rekening mee moeten houden. Bij onverwachte situaties zijn deze partijen daarom afhankelijk van betrokkenheid en participatie met anderen.

### Anticiperen op onverwachte situaties

Weick Sutcliffe en Obstfeld (1999) beschrijven drie principes die bijdragen aan betrouwbare processen in hoogbetrouwbare organisaties. We gebruiken deze principes en beschrijven waarom het bij RKL-werkzaamheden vaak maar beperkt mogelijk is om te anticiperen op onverwachte of ongewenste situaties.

### Sterke focus op fouten/ongewenste situaties

Voor een betrouwbaar proces is het belangrijk dat alle betrokken partijen bewust zijn van mogelijke fouten. Door voortdurend te kijken naar hoe fouten zich in bepaalde situaties zouden kunnen ontwikkelen en door optredende fouten te analyseren, bouwen ze een rijk en gedetailleerd overzicht van 'foutsituaties' op. Met dit rijkere beeld krijgen partijen meer kennis en ervaring. Zij kunnen daarmee een bredere kennisbasis waarmee zou uitvoeringsplannen kunnen opstellen. Ze kunnen deze kennis gebruiken om beter te anticiperen rekening op ongewenste situaties.

Het constateren van fouten wordt bij RKL-werkzaamheden ingewikkelder, omdat er een groot aantal partijen bij de werkvoorbereiding en uitvoering betrokken is. Als gevolg hiervan zijn er ook verschillende 'fout-eigenaren' die niet allemaal dezelfde fouten ondervinden of kunnen beïnvloeden. Partijen hebben daardoor vaak meer aandacht voor hun eigen fouten en richten zich niet vaak op 'fouten van anderen'. Hierdoor wordt er géén partij geprikkeld om een totaalbeeld van te verwachten ongewenste situaties te creëren.

### Aandacht gericht op uitvoering

Bij het anticiperen op onverwachte situaties brengt een organisatie zichzelf regelmatig op de hoogte van de nieuwe informatie en de gebeurtenissen en ontwikkelingen op de werkplaats. Dit overzicht kan gebruikt worden om in te schatten welke ongewenste situaties op zouden kunnen treden.

Het probleem bij RKL-werkzaamheden is dat het ontwerp, de werkvoorbereiding en uitvoering door verschillende partijen op verschillende momenten wordt uitgevoerd. Er vindt hiertussen weinig interactie plaats en het is voor velen moeilijk om onderlinge afhankelijkheden in kaart te brengen. Hierdoor worden zij minder geprikkeld om bijeen te komen om kennis en informatie over actuele

situaties uit te wisselen. Het resultaat is dat vrijwel iedere partij in een onvolledig beeld heeft van de samenhangende activiteiten op de bouwplaats.

### **Weerstand bieden tegen vereenvoudiging**

Fouten kunnen ontstaan doordat mensen situaties te sterk vereenvoudigen, waarbij de werkelijkheid wordt onderschat. Om dit te voorkomen is weerstand nodig tegen vereenvoudiging van de werkelijkheid. In realiteit kan commerciële druk op nutsbeheerders en uitvoerders ervoor zorgen zij een beperkte hoeveelheid tijd en geld kunnen besteden aan het analyseren van de werkelijkheid en hierdoor door vereenvoudigingen belangrijke ontwerp- of uitvoeringsknelpunten over het hoofd zien. Strategische en politieke belangen kunnen er bovendien voor zorgen dat partijen een onvoldoende kritische houding hebben ten opzichte van elkaars werkplannen. Er zijn bijvoorbeeld partijen zijn bijvoorbeeld geneigd om geen elkaar feedback te geven omdat ze hiermee ook toezeggingen te doen die hen zelf minder onafhankelijkheid en flexibiliteit geeft.

Een andere dynamiek die bijdraagt aan vereenvoudiging is het feit dat ontwerpers van riool, kabels en leidingen weinig contact hebben met uitvoerders. Zij zijn dus minder goed in staat om een begrip van de werkelijkheid te vormen, waardoor de kans op vereenvoudigde, onrealistische ontwerpen en uitvoeringsplannen toeneemt.

### **Onverwachte situaties beheersen**

Hoewel voorkomen beter is dan genezen, zullen er vaak toch onverwachte situaties optreden. Er zijn daarom ook processen (uit Weick, Sutcliffe en Obstfeld 1999) gericht op het omgaan met deze situaties. Door deze te gebruiken zou overlast en een lange doorlooptijd beperkt kunnen worden.

### **Respecteren van expertise**

Bij het oplossen van problemen is kennis en ervaring nodig. Wanneer er snel en effectief gereageerd moet worden op situaties moet men experts nodig. Dit impliceert dat er experts beschikbaar zijn en de bevoegdheid hebben om beslissingen te nemen wanneer onverwachte situaties optreden. Dit gaat niet altijd op bij RKL-werkzaamheden, omdat taken en verantwoordelijkheden hierbij versnipperd zijn geraakt. Inhoudelijke expertise weegt soms niet op tegen de commerciële belangen van een private partij. Hierdoor kan het zijn dat het advies van een expert niet wordt opgevolgd. Dit kan leiden tot allerlei indirecte maatschappelijke meerkosten.

### **Veerkrachtig zijn**

Het tweede principe dat de betrouwbaarheid van oplosstrategieën kan vergroten, is het nastreven van veerkracht in het werkvoorbereiding- en uitvoeringsproces. Dit kan bijvoorbeeld door het opbouwen van buffers, reserves en overcapaciteit. De verschillende agenda's en prioriteiten van de opdrachtgevers en opdrachtnemers van RKL-werkzaamheden maken het echter ingewikkeld om planningen op elkaar af te stemmen. Als gevolg zijn planning vaak weinig flexibel, doordat het ingewikkeld is om de buffers van de verschillende partijen goed op elkaar af te stemmen. Verder zal vanwege het groeiend tekort aan vakmensen het in de toekomst lastiger worden om buffers op te bouwen uit beschikbaar personeel. Hierdoor kan personeel minder flexibel worden ingezet, waardoor onverwachts meerwerk directe invloed heeft op uitloop van de planning.

## **Conclusies**

De nutssector is in de afgelopen decennia sterk veranderd. Door de toename van het aantal partijen en het terugtrekken van de overheid zijn bij reconstructiewerkzaamheden aan het riool, kabels- en leidingen meer partijen betrokken dan vroeger. Verder kampt de sector met een groeiend tekort aan vakmensen op de bouwplaats en het afnemen van uitvoeringskennis. Dit is wat leidt tot de Gordiaan-

se knoop van kabels en leidingen, waarbij het ingewikkelder geworden is om onderling afhankelijke werkzaamheden aan het riool en ondergrondse kabels en leidingen te coördineren. Partijen met verschillende commerciële en politieke belangen werken samen in een netwerk waarin middelen, taken en verantwoordelijkheden verdeeld zijn en er geen partij meer is die de leiding neemt over de afhankelijke werkvoorbereiding- en uitvoeringsactiviteiten.

Aan de hand van de principes voor hoogbetrouwbare organiseren wordt in deze paper beschreven dat anticipatie en beheersing van onverwachte gebeurtenissen in de werkvoorbereiding en uitvoering afhankelijk is van verschillende afhankelijke partijen. Geen van deze partijen heeft absolute controle en overzicht over de samenhangende werkvoorbereiding en uitvoeringswerkzaamheden. Zij zijn daarom bij het voorkomen en controleren van ongewenste situaties afhankelijk van elkaars participatie en betrokkenheid.

## Discussie

Coördinatie van RKL-werkzaamheden bevindt zich in Gordiaanse knoop. Hoewel er grote behoefte is aan coördinatie van ontwerp, werkvoorbereiding en uitvoering van onderling afhankelijke werkzaamheden, zorgt het aantal en de verscheidenheid van opdrachtgevers en opdrachtnemers voor een complexe situatie: versnippering van taken, bevoegdheden, controlemiddelen en verscheidene doelen beperken de mogelijkheden om op ongewenste situaties te anticiperen en deze te controleren.

Oplossingsrichtingen voor dit probleem zouden informatie- en kennisuitwisseling tussen partijen moeten bevorderen om zo een groter anticiperend en controlerend vermogen te krijgen. Dit zou kunnen betekenen dat partijen vroegtijdig en vaker met elkaar om tafel gaan zitten om samen plannen te maken en risico's van onderling afhankelijke taken in te schatten. Bovendien kan met technologie als bouwprocesvisualisaties op een eenvoudige, goedkope en overzichtelijke manier bekeken worden welke effecten bouwplannen van verschillende partijen op elkaar hebben. Het gebruik van deze technologie vraagt om participatie en betrokkenheid van alle partijen, maar zal uiteindelijk de coördinatie vereenvoudigen en meerkosten, vertraging en overlast verminderen.

Coördinatieproblemen kunnen ook worden verminderd wanneer opdrachtgevers samen kiezen voor gecombineerde aanbestedingen van hun werken. Omdat er in die situatie slechts één aannemer en eindverantwoordelijke is en dus een beter overzicht en controle heeft over RKL-werkzaamheden. Hoewel gecombineerd aanbesteden van RKL-werkzaamheden voor aanleg al een populair alternatief is, gaat dit nog niet op voor reconstructiewerkzaamheden.

Tot slot zou de controle over RKL-werkzaamheden ook vergroot kunnen worden door het aantal beherende en uitvoerende partijen in de nutssector terug te brengen. De overheid kan bijvoorbeeld taken van nutsbeheerders terugnemen. Gezien het huidige politieke en economische klimaat lijkt dit zeer onwaarschijnlijk.

## 2. Challenges for Construction IT adoption on project level

L.L. olde Scholtenhuis<sup>1</sup>, A.G. Dorée and T. Hartmann

*Department of Construction Management and Engineering, University of Twente, Enschede, 7500AE, the Netherlands*

Gepresenteerd tijdens de ARCOM 27th Annual Conference, 2022, Bristol, UK

Gepubliceerd in Book of Abstracts en elektronische proceedings

Construction IT - as ubiquitous computing, location based services, GPS, 3D GIS, 4D design - challenges the work practices in inner city infrastructure projects in terms of improving information exchange between client and contractor and communication with stakeholders in the project environment. Although Construction IT (CIT) can offer benefits to support these communication streams, most project teams in (Dutch) inner city reconstruction projects do not make use of the available technologies. This paper discusses the challenged practice in inner city reconstruction projects in two mid-sized municipalities and a large Dutch contractor. With an ethnographic research approach, this paper uses perspectives of individual change, work practices and CIT-features to document and structure the coping processes of clients, contractors, and technology suppliers. A first analysis on the use of 4D-modelling, 3D-design and 3D-GPS systems provides insights in the mismatches between individual ways of reasoning, existing work practices and CIT features. These mismatches helped to identify challenges that change agents should consider when developing or introducing new technologies.

*Keywords: industry recipe, socio-technical landscape, Construction IT, innovation*

### Introduction

The recent growing population density in Dutch urban areas pressurises the scarcity of public space. With the increasing number of people using space in city centres, construction managers are urged to minimise the impact that their activities have on the environment. They need to make efficient use of the construction site, while simultaneously minimise nuisance and prevent schedule overruns. The tasks of the construction manager get more complicated on inner city projects that involve renovation of underground infrastructure and reconfiguration of public space at street level. Another complicating factor is the densely populated underground that often contains complex patterns of different types of cables and piping. Together with this physical complexity, the amount of different stakeholders that these projects involve turn inner city projects into a challenging project management task.

CIT can support inner city reconstruction projects by providing a structured platform for information exchange between client and contractor and stakeholders in the project environment. For example, CIT-tools enable parties to exchange, better align or optimise different designs, schedules and construction work flows. Albeit these features, most project teams that work on inner city reconstruction projects have not adopted the new technologies.

Construction management literature states that CIT influences the working practices of people and organisations. It suggests that these practices must be aligned with CIT to overcome difficulties while adopting new technologies (e.g. Adriaanse 2007 and Egbu et al. 1998). Although this research generally describes how construction industry's characteristics influence the adoption of CIT, it does not provide insight into the problems that appear at construction project level. A more pragmatic,

---

<sup>1</sup> l.l.oldescholtenhuis@utwente.nl

bottom-up approach that we use in this research identifies what really troubles inner city reconstruction professionals in their daily work practice when they confront new CIT.

This paper describes a first analysis of how CIT challenges practice on three Dutch inner city reconstruction cases. We explored this from different angles by studying relations between individual reasoning, working practices and features of CIT. The next section introduces the perspectives of socio-technical landscapes (Kemp and Rip 1995), individual change (Weinberg 1997), and industry recipes (Spender 1989) that helped to study coping processes of clients, contractors, and technology suppliers. The subsequent section discusses mismatches between individual reasoning, work practices and features of 4D-modelling, 3D-design and 3D-GPS excavation activities. It provides insights in how more structured and formal use of information can improve the adoption of CIT-features. It also elaborates on how hybrid use of technologies should be limited to enable professionals to fully benefit from new CIT. This paper concludes with a discussion, conclusion and an outlook to our consecutive research activities.

## **Describing individual change and work practices using three different perspectives**

New technologies such as CIT enter the construction arena continuously. Some take time to get adopted, some will never be. Innovation adoption is a change process which takes place at individual, team, and organisational level (Cameron & Green 2004: 8). In this section, we use the perspective of socio-technical landscapes to introduce and relate industry recipes, a psychodynamic model of change and CIT-features. This framework helps to identify mismatches between individual ways of reasoning, existing work practices and CIT innovations in inner city reconstruction projects.

### **Technology adoption in socio-technical landscapes**

The perspective that considers the features of a technology in a broad context is the socio-technical landscape. A socio-technical landscape describes how technologies are part of a social environment that consists of different norms, habits and standards. As part of this landscape, Rip (1995) and Kemp et al. (1994) use the term technological regime to describe "complex of engineering practices, [...] skills and procedures, ways of handling relevant artefacts and persons [...] all of them embedded in institutions and infrastructures." The social environment of which technologies are part has its own dynamics and shapes opportunities for novel configuration of technologies in their environment (Rip and Kemp 1995).

### **Individual reasoning within the innovation adoption process**

During an innovation adoption process, change recipients confront incentives to change their ways of thinking and acting. The psychodynamic process model of Weinberg (1997) describes the different stages and key events that individuals experience during a change process (fig 3).

In the model, a change recipient with established work practice meets a foreign element. For inner city construction industry, such an element can be CIT. Once that happens, the recipient will first try to reject it to maintain the existing situation. When she realises that rejection is not possible, she tries to implement the foreign element without changing anything to her existing work practice. This often results into unintended change. To achieve better integration, an individual keeps rejecting the foreign element, until a transformation idea will help her to change the old work practice and to integrate the element. As a next step, the recipient tries to integrate the element with the existing work practice to create a new status quo. During the process, the various iterations illustrate how all kinds of external influences have disturbing effects on the deliberation process of the change recipient.

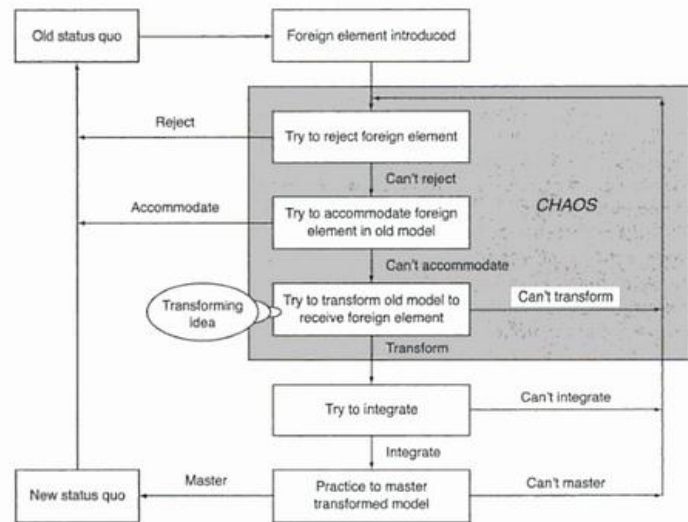


Fig. 3 - critical points in the change process (Weinberg 1997)

Next to individual reasoning about features of CIT, also the concept of work practices can be used to better understand the adoption of CIT. Next paragraph therefore describes the industry recipe that helps to describe and understand work practices of practitioners in inner city reconstruction industry.

### Using industry recipes to identify and describe work practices

Technologies mostly originate outside organisational boundaries. According to Spender (1989:182), existing work practices must synthesise all the relevant technologies into a coherent rationality that matches the ways of thinking and acting that are relevant to that industry's context of activity. The individual perspective forms a basis to understand the change process, but does not offer the explanatory power to describe how project groups in inner city reconstruction industry form such coherent rationalities. One reason for this is that established working practices are co-creations that emerge through collaboration of different individuals.

To understand how insiders of an industry organise their daily work practice, Spender (1989) introduces the industry recipe; a loose, ambiguous, and open concept to describe ways of thinking and acting in an industry. Spender discusses Schutz (1967, 1970a, 1970b, 1972): "a recipe is a shared pattern of beliefs that the individual can choose to apply to his experience in order to make sense of it, so this response can be rational." Insiders accept and understand the body of knowledge that an industry recipe describes. The knowledge and assumptions that underlie industry recipes help practitioners while creating strategies and making decisions (Spender 1989). These recipes of shared meaning change with time. As it changes, industry participants go through a period of openness, data gathering, and exposure to the environment. What follows is a period of closure during which industry participants reconstruct data, make this into information and conclude this in a new industry recipe (Spender, 1989, p63). "As time proceeds, the recipe becomes more coherent and more of a closed universe of discourse," adopters will increasingly reject what not makes sense in the reconstructed recipe (Spender 1989: 87-88).

Industry recipes offer standards of how insiders think and act, yet they also form a barrier to change. Tidd (1997: 34-35) states that routines and ingrained ways of thinking can be barriers that prevent people to think differently. Although it helps to prioritise information, the way of selectively filtering

information limits creation of alternatives and future options and often leads to overdue commitment to the current strategy (Webb 2008).

### CIT-features

Software developers create CIT with a multitude of basic features that are applicable to practically all software. As Repetti, Souter and Musy (2005) argue, basic features should be, at least, an understandable interface and data management functionalities.

Further, specific CIT offers specialised features. For example, features can be visualising or simulating construction or design information. When using CIT in practice, individual reasoning and work practices should be in line with the features of a tool to make full use of its benefits. The conceptual framework in fig. 4 combines the perspectives of CIT-features, individual thoughts and work practices. To achieve successful adoption of CIT, practitioners should align these three perspectives to optimise CIT adoption.

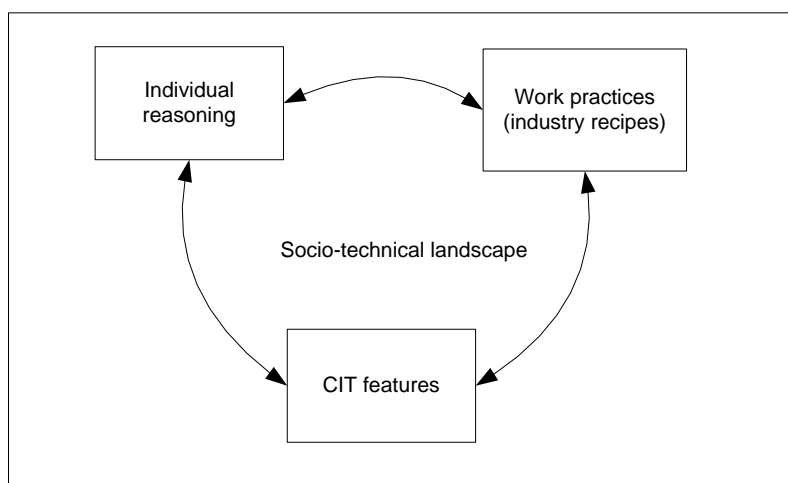


Fig. 4- research framework that illustrates necessary alignment between individuals, work practices, and CIT-features.

### Research Method

We used an ethnographic approach to study relations between the reasoning of individuals, work practices and CIT-features without intervening with daily practices of the participants on the projects. This supports the claim Spender (1989: 75) makes about studying work practice. He states that, in order to understand industry recipes, researchers must transform from outsider to insider into the rationality of the population they study. From this context, the researcher can make sense from the language, culture and perception of reality through the eyes of the insider. As an important field study practice within ethnographic research, participant observation is a good way to collect data when the researcher wants to explore and gain understanding about a culture that he is not part of (Jorgensen 1989: 14).

Ethnographic research took place at two Dutch inner city reconstruction projects and at one large Dutch contractor. Here, we observed construction sites and multi-stakeholder meetings. We had formal and informal conversations with technology developers, project team members and construction workers. Furthermore, we obtained project documentation such as drawings and construction schedules. We collected and structured the data in an ethnographic diary that described what work practices and implementation problems of CIT. To analyse this data, we created a log-book. In the diary and documents we obtained, identified and labelled key-sentences and filtered these to extract



more meaningful information. This resulted into a series of narratives that describe mismatches between individual reasoning, work practices and CIT-features.

## **Results from field research**

In this section we elaborate on three cases. We first provide brief project descriptions and elaborate on these in terms of individual reasoning, work practices and CIT-features. We conclude each case with an analysis.

### **Case 1: 4D support for construction schedule coordination on project in inner city of Hengelo**

The first inner city reconstruction project is located in Hengelo, a city in the eastern part of the Netherlands with 80.000 inhabitants. A part of the six month project involves replacement of cables and piping and reconstruction of a main traffic intersection. The project has three contractors. The main contractor renovates sewer pipes and the interior on street level. The second contractor reconstructs all other cables and piping, while a third installs a new traffic signalling system at the intersection.

#### **Individual reasoning**

We individually met the project manager of the municipality and the daily supervisor of the contractor to discuss the value of a 4D-model that simulates the construction activities. They valued it positively and argued that this could be helpful to better align the onsite construction activities that different parties simultaneously execute. A third practitioner that gave his opinion about 4D was the daily project supervisor of the municipality. He did not perceive 3D-drawings as value adding and argued that the absence of depth-information about the underground assets would not make it possible to make sense from 3D and 4D-models. He stated that collecting and modelling depth-information would only add value on more complex projects.

To implement 4D, one also needs 3D-designs of the existing and new situation. As stated below, the current work practice only uses 2D models.

#### **Existing work practice**

During the multi-stakeholder meetings and work practice we observed that there was no structured or formal way to coordinate and align the construction schedules of the different contractors. Although the contractor and municipality organised multi-stakeholder meetings to discuss and align schedules, no formal integration of the schedules took place. For example, there was no 'main schedule' that incorporated all schedules. On the project, the main contractor's daily supervisor created a Gantt-chart with MS Project software. Next to that, the utility and traffic signalling contractors did not create a formal schedule at all. They used key-dates and experience based estimations of construction activity durations to plan activities. During the meetings, different parties 'aligned' the different schedules only through intuitive and experience based discussions.

Another characteristic about the work practice was the use of digital 2D-CAD drawings. The contractors favoured working with these 2D artefacts. During the multi-stakeholder meetings, they only exchanged and discussed annotated printouts. Apart from the main and utility contractor, the traffic signalling contractor did not have a digital design at all. Instead, they exchanged hardcopy sketch drawings.

#### **4D features**

A 4D-models integrates the digital schedules and designs of the different construction stakeholders involved in a project. This combination between a static design and time-based construction schedule

results in a simulation of construction activities. It helps parties to create and improve alternative construction plans. When creating such, a 4D-modeller links designed objects - such as sewer pipes, asphalt pavement, street lanterns - to the specific parts of the schedule that represent the related construction activities.

A 4D-model consists of a digitised schedule that represents the construction activities. To link this with construction objects, the modeller should at least integrate this with two digitised 3D-models; one describing the physical as-is situation, the other the designed future. Tab.2 compares the differences between the currently available information and input that is needed to support implementation of 4D.

Tab. 2 - required versus available input for the 4D-model on the Hengelo project

	<b>Software Requires</b>	<b>Used by Main contractor</b>	<b>Used by utility contractor</b>	<b>Used by traffic signalling contractor</b>
<b>Representation of as-is situation</b>	Digital 3D model	Digital 2D CAD		.
<b>Design of future situation</b>	Digital 3D model	Digital 2D CAD	Digital 2D CAD	Sketch on paper
<b>Construction planning</b>	Digitised construction schedule	MS Project files	None	None

### Analysis

The observations show various mismatches between the perspectives from fig. 4. These mismatches prevent practice to adopt and make full use of the features that 4D-modelling offers.

First, from the perspective of individual reasoning, three practitioners valued the benefits of 4D-modelling differently: two people valued it as beneficial, while a third did not see direct benefits.

This case further shows that, although work practice contains the essential information, the designs and schedules were not available or structured in the right format to use as input for a 4D-model. To create the right, valuable input programmers must make their schedules more explicit. This means that they should digitise and exchange these during stakeholder meetings. Further, 2D-CAD designs should be used to transformed into a 3D-model before it can function as input for a 4D-model.

### Case 2: introduction of 3D-GPS system in inner city sewer project Enschede

The second project we observed currently takes place in the centre of Enschede, a city with 150.000 inhabitants located in the eastern part of the Netherlands. The project concerns the construction of a 200 meter bypass sewer that replaces the old sewer pipe which connects the city centre sewer of Enschede to the treatment plant.

#### Individual reasoning

The contractor of this project owns an excavator with a 3D-GPS technology. The project manager of the contracting company and municipal project supervisor were very positive about the features that this new technology offers. They stated that 3D-GPS helps engine men to perform excavation activities quicker and more accurate as compared with the traditional, manual excavation process.

#### Existing work practice

The project we observed used two different work practices: a manual land marking and excavation process and one that includes 3D-GPS equipment. In the traditional work practice, land surveyors use lasers and hand-held GPS-stations to exactly identify the locations where excavations must take

place. They manually place pickets and cords to mark the intervention area. By introducing the 3D-GPS technology on full scale, traditional, manual land marking becomes redundant.

On the project, the construction workers needed an excavator and crane to perform the installation of a heavy concrete well. In contrast with the crane, only the excavator was equipped with 3D-GPS. This meant that traditional land marking was still needed to help the crane operator to determine the correct position of the concrete well. As a consequence, the 3D-GPS features of the excavator could not be used and was left idle.

#### **3D-GPS features**

When using 3D-GPS, the cabin of an excavator is equipped with a computer screen that virtually models the position and movements of the excavator within the existing and designed situation. Using this technology, engine man now directly knows where to perform excavations without needing marks that are set up with pickets and cords. When the construction fleet uses this technology, land marking becomes redundant.

#### **Analysis**

This case illustrates that, albeit the positive individual reasoning about CIT, a mismatch between work practice and CIT-features can hamper successful CIT adoption. In this specific situation onsite equipment did not all use 3D-GPS systems. This meant that there still was a need for traditional land marking. It prevented the contractor to benefit from its 3D-GPS system. Only if the both the crane and excavator used 3D-GPS, new work practices could make traditional surveying redundant. This hybrid situation where old and new technologies and work practices co-existed thus had a negative impact on the use of CIT. In other words, 3D-GPS can only substitute traditional land marking when the full construction fleet involves 3D-GPS in their work practice.

### **Case 3: co-existence of 2D and 3D-design activities at a Dutch contractor**

During the research, we repetitively visited a large Dutch contractor who is currently implementing 3D-designing in its organisation. We discussed the implementation of 3D-modelling at organisational level and discussed the existing work practice with a designer, project manager and technology supplier.

#### **Individual reasoning**

The designers at the contractor currently use the design features of the 3D-software to aggregate existing 2D-drawings into a 3D-model. They use this additional to their standard 2D-design software to work on specific parts of the design. For example, designers use the viewpoints within a 3D-model to design more sophisticated elements, such as slopes. These elements are easier to make in a 3D-design environment.

#### **Existing work practice**

The work practice that illustrates how the different designers co-operate can be described as follows. First, a 2D-designer makes the drawings that represent different viewpoints. Next, a 3D-designer aggregates these viewpoints into a 3D-model. Using this model, the 3D-designer works on specific design aspects. Consequently, when the 3D-designer identifies design errors, he communicates this with the 2D-designer. The 2D-designer then separately changes 2D-model so that it matches the 3D-model. At the final design stage, another designer uses a different tool to create a 3D visualisation.

#### **3D features**

When the design process is executed in the way that technology suppliers propose to use it, 3D-design activities will form the basis for the design process. Using this approach, designers can create a 3D-model and derive other meaningful information. For example, one can derive 2D-images from

different 3D-viewpoints, and use the 3D model as basis for a high-end visualisations. Further, the construction project team can directly derive design information that provides input for cost calculation and scheduling activities.

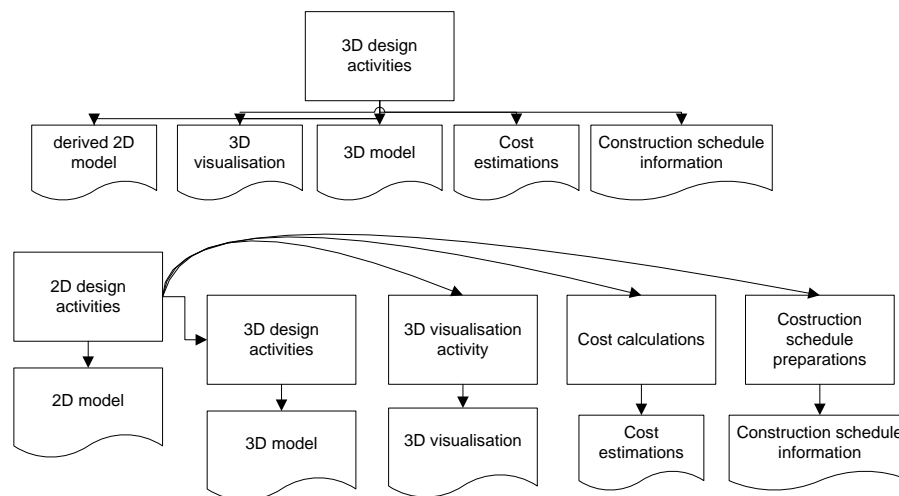


Fig. 5- design activities that use 3D-models as point of departure (above) versus separate 2D, 3D-design and visualisation activities as in practical example (below)

### Analysis

This example indicates that the individual reasoning for using 3D is not fully in line with the features of 3D-modelling. As a consequence, the work practices that are based upon the individual reasoning also do not match the CIT's features. In the work practice that currently exists, 2D and 3D-design processes co-exist and are executed in an independent, fragmented way. Further, current work practices leave 3D-modelling features that provide input for cost calculation and scheduling unused.

Fig. 5 illustrates how the process as proposed by technology suppliers relates to the design and visualisation process as it actually is in the current work practice. The hybrid situation where 2D and 3D are used in a fragmented way, limits practitioners to make full use of the features that 3D-modelling offers.

### Discussion

This research adds more detail to the claim that organisational environment greatly influences the potential to adopt CIT (e.g. Adriaanse 2007, Egbu et al. 1998, Rip and Kemp 1995). The first case shows that lack for formalisation and structuring of information hampers alignment of CIT-features, individual reasoning and work practices on in inner city reconstruction projects. Further, case two and three support that a hybrid environment that consists of old and new technologies and work practices also limits the use of new CIT-features. We suggest that initiatives are needed to reform inner city construction industry so that construction activities can be streamlined better.

### Conclusion

Construction IT (CIT) challenges work practices and individual ways of reasoning of practitioners. Some CIT will be adopted fairly quick, while others will never be adopted in practice. This paper applies three different perspectives to understand the dynamics of change at inner city reconstruction projects. Ethnographic research was conducted understand how insiders in practice think and what troubles them when using new CIT. Applied to three cases, the psychodynamic process model, industry recipes and socio-technical landscapes effectively helped to identify mismatches between existing individual ways of thinking, work practices and CIT-features.

The results of the field study indicate that a mismatch between individual ways of thinking, work practices and CIT-features hampers the adoption of CIT. On the Hengelo project, the perspective of individual reasoning led to the insight that practitioners do not equally agree on the potential benefits of 4D-models. We further concluded that work practices on the project were not sufficient to deliver 4D-model input in the right format. To create meaningful simulations, 4D features, individual reasoning and work processes should therefore be better aligned.

On the Enschede project, the project manager and supervisor were positive about features and benefits of 3D-GPS excavators. Although their knowledge was sufficient to deal with the features of the technology, the excavator using 3D-GPS was left idle because the complementary equipment did not use this new technology. In this hybrid situation where old and new technology co-existed, CIT-features and individual ways of thinking were well aligned, but work practice did not support full use of the new technology.

The case of 3D adoption by the contractor showed that a fragmented design approach where 2D and 3D-design were executed separately. In this case, there was no match between the features that 3D-modeling offers and the way that individuals perceive how to use 3D. It also affected work practice that is currently organised in such a way that it support the dominant 2D-thinking styles. It does not offer room to make full use of the features that 3D-design packages have.

From practical standpoint, we conclude that introducing CIT requires better alignment between practitioner's ways of thinking, working and the features of CIT. Practitioners currently mainly rely on traditional, experience and feeling based work practices where tacit knowledge is not formalised, nor communicated in a structured way. To change this process, practice should become aware of the fact that a more structured way of exchanging information helps streamlining inner city projects better. Secondly, as hybrid situations that combine old and new work practices have negative consequences on the benefits of CIT, the length of these situations must be minimised.

### **Consecutive research efforts**

To look for more profound evidence, future research will explore the relations between individual reasoning, CIT-features and work practices more extensively. We plan to integrate recent literature and gather more empirical data by executing more field observations and conducting ethnographic interviews.

### **Acknowledgements**

We greatly thank Stichting Pioneering (the Netherlands) for financing this research.

### 3. Systems Architecture for a Virtual Construction Site to support utility construction management tasks

*L.L. olde Scholtenhuis, T. Hartmann, A.G. Dorée*

*University of Twente, the Netherlands*

*l.loldescholtenhuis@utwente.nl*

Gepresenteerd tijdens de 19<sup>e</sup> EG-ICE International Workshop, 2012, Herrsching, Duitsland

Gepubliceerd in Book of Abstracts en elektronische proceedings

**Abstract.** Visualization and simulation tools offer support for construction management tasks for a wide scope of civil engineering purposes. However, to the best of our knowledge, there is no tool available that is specifically aimed to support construction managers' tasks on subsurface utility construction projects. As a starting point for such a tool, this paper provides a systems architecture for the Virtual Construction Site (VCS) we plan to develop together with practitioners during a four-year ethnographic-action research project. The VCS-architecture integrates features of existing tools. This allows construction managers to use various viewpoints when they conduct a thorough scenario-based analysis of construction plans, designs, and schedules. In this paper, we first elaborate on existing tools' characteristics. We subsequently explain how we integrated these in the systems architecture that we subsequently want to use to guide our ethnographic-action research efforts in the next four-years. In the second part of the paper, we describe an initial proof of concept of the VCS. We describe how we developed and implemented a first version of a discrete-event simulation and critical path calculation module on a prototypical sewer construction project. We conclude with an outline of consecutive research steps.

#### Introduction

A wide range of software packages can support construction managers in their effort to evaluate and align various designs and construction schedules. For example, visualization and simulation tools can make tacit knowledge more explicit, structure information, and allow professionals from the various involved disciplines to make sense of how their individual work relates to other construction activities. Although visualizations and simulations offer this powerful support for a wide range of civil engineering management activities, most tools are not adapted to the subsurface utility construction domain. Additionally, the limited inter-operability of existing tools makes it more difficult and time consuming to assess construction plans with a combination of multiple tools. To facilitate this better, practitioners need a comprehensive tool that integrates features of existing software packages. When they, for example, combine line of balance schedules, discrete-event simulations, and 4D-CAD, construction managers can evaluate their plans using these multiple viewpoints. Such an integrated tool supports a thorough scenario-based evaluation of construction design plans. In this paper, we introduce our first ideas for our four-year research project that aims to develop an integrated tool; a Virtual Construction Site (VCS) for subsurface utility construction projects.

The paper is structured as follows. First, we review construction management supporting tools that currently exist. As we expect to benefit from features of these tools, we subsequently propose a systems architecture that integrates them. Next, we elaborate on how this architecture guides our development efforts during our four-year ethnographic-action research project. As an initial proof of concept, we further discuss a prototypical sewer project for which we developed and implemented a discrete-event simulation and critical path calculation. The paper concludes with a brief discussion of our further research plans.

## Tools to support construction management tasks

This section addresses the existing tools that support construction project management. We will first elaborate on characteristics of simulations and visualizations. We then elaborate on our four-year development project that aims to develop and integrate such tools to support a comprehensive scenario-based analysis of construction plans for subsurface utility construction activities.

Simulations can help to analyze uncertainties of construction plans. They are “the process of designing a model of a real system and conducting experiments with this model for the purpose either of understanding the behavior of the system or of evaluating various strategies” (Shannon 1975). Process simulations, for example, calculate construction process durations based on a specific sequence of works, using productivity information (Huang et. al 2007). This helps to compare alternative solutions and to gain insight into the operations of a system (Oloufa 1993). Examples of process simulations are discrete-event simulations; these address the uncertain characteristics of construction process using stochastic queuing models (Lee, Peña-Mora and Park 2006). In construction, discrete-event simulations are used to analyze uncertainties of onsite construction activities.

Complementing simulations, visualizations are static or dynamic visual representations of data. These can be graphs, animations, construction drawings, and schedules. Visualizations include “the use of computer supported, interactive, visual representations of data to amplify cognition” (Card, Mackinlay and Shneiderman 1999). Construction managers can benefit from these visualizations, since they allow, for example, for a better identification and communication of relations between various construction data (Chiu and Russell 2011). Examples of visualizations are design review and constructability review tools. Design review tools, such as AutoCAD Civil 3D allow designers and construction managers to model 2D- drawings in a virtual environment. The tools integrate various parts of the final design and help people to better understand how these inter-relate. Further, design review tools can support coordination meetings for construction and help to significantly reduce the amount of design errors (Hartmann et al. 2008). Constructability review tools such as 4D-CAD systems integrate schedules with 3D designs to visually represent the spatial configuration of construction activities within time. This supports the analysis and communication of construction plans (de Vries and Harink 2007). Such tools additionally allow construction managers to visually detect spatial conflicts during construction operations. For example, the tools help to identify clashes between operating construction equipment and onsite physical objects during the construction process. Hartmann et al. (2008) found out that 4D-CAD applications are used to, for example, review the integrity of schedules and construction sequences, evaluate time-space conflicts, and to support trade coordination.

Other, more abstract visualizations such as critical path schedules and line of balance (LOB)-charts help to assess the quality of construction schedules on a more general level. Critical paths use technical relations between construction tasks to calculate the sequence of activities that determine the shortest possible project duration. LOB's are often used to make location-based visualizations of the progress of construction activities. Such visualizations help managers to analyze how they efficiently allocate resources on parts of the construction site.

Construction managers can only include a limited number of viewpoints into account when they use tools to evaluate their plans independently. For example, critical path and line of balance calculations do not provide insight in the spatial configuration of construction operations (Jongeling and Olofsson 2007). To improve this, critical path calculations need to be combined with construction drawings in order to evaluate the spatial consequences of a construction plan. Jongeling and Olofsson (2007) therefore successfully applied and integrated LOB and 4D-CAD techniques for the construction of a

building. To the best of our knowledge, however, an integration of such tools does not exist for utility construction projects. During our four-year development project, we therefore plan to develop a utility construction domain specific VCS integrates tools such as LOB and 4D-CAD. This VCS aims to enable construction managers to conduct grounded, scenario-based analyses of their construction plans.

### Systems Architecture

This section elaborates on the systems architecture that we provide in fig 6. We created this architecture as a theoretical point of departure for our development efforts during our four-year ethnographic-action research project. The systems architecture describes the various modules and their interrelations. Each module will fulfill a distinctive function; the different viewpoints they use to represent construction plans allow construction managers to incorporate various criteria to make a scenario-based comparison of alternative construction plans. A module performs either simulations, calculates quantitative indicators or creates visualizations. The basic inputs for these modules are construction plans such as drawings, designs or existing construction schedules. Managers can model these inputs by using several databases. In the remainder of this section, we describe the modules and elaborate on their interrelations.

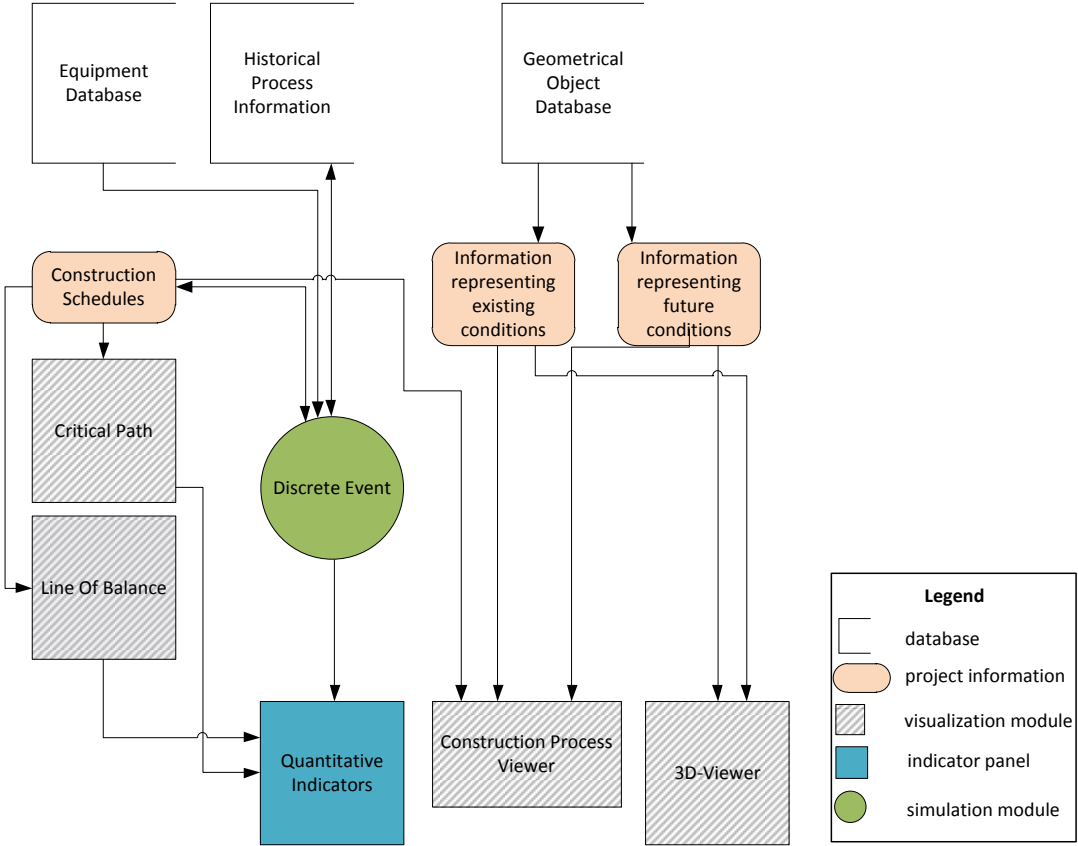


Fig. 6 - Systems Architecture for the Virtual Construction Site that supports utility construction management tasks.

### Databases and input data

Fig. 6 indicates the project specific input data (project information) and databases we plan to incorporate in the VCS. Firstly, the VCS has a database to store information about equipment for subsurface utility construction activities. We plan to incorporate information such as operational costs, capacity, and task durations of, for example, breakers, excavators, and cranes. A second



database stores historical process information of previous real-life projects. Such data are, for example, construction schedules, construction tasks durations, and descriptions of unexpected events on past projects. At later stages, we can use this information to derive probability distributions for variables in the simulation module. We plan to add probability distributions to, for example, construction task duration, to incorporate real-life fluctuations in the simulations. Both the equipment and historical process information module provide input for the discrete-event simulation module.

The third database will contain geometric object models that describe spatial dimensions and relations between various construction objects. In this database, we plan to include specific construction objects for the domain of subsurface utility construction. We chose to develop such an object-model ourselves (olde Scholtenhuis and Hartmann, 2012), since existing object-models in the utility domain, are often too large-scaled, and do not contain a sufficient level of detail to model utility construction activities. Objects that this model represents are, for example, sub-surface infrastructure assets, soil, asphalt, drains, and curbs. The object-model database provides input for the 3D viewer.

### **Discrete-event simulation module**

Another part of the VCS-development project will be the discrete-event simulation module (fig. 6). This module allows construction managers to conduct a scenario-based analysis of uncertainties on construction operations. The basic inputs for the simulations are the project information such as resources, activities, and their technical relations. Using these, the module can simulate the construction operations and derive a reference construction schedule. Such a construction schedule further describes variables such as total cycle time of construction activities and idle times of the mobilized resources. Managers can use this simulation output to create alternative construction plans. For example, they can mobilize more resources or change construction activities. Additionally, the module allows the construction manager to evaluate the impact that uncertainties have on the progress of construction operations. Uncertainties are, for example, ground frost, heavy rain, excavation damage, or malfunctioning equipment. Construction managers can simulate such uncertainties by changing task durations or, for example, inserting idle times.

Ultimately, the scenario-based simulations will allow the construction manager to evaluate various construction plans alternatives. Additionally, we plan to integrate the discrete-event simulations with the visualization and indicator modules from fig. 6. This enables the construction managers to evaluate construction plans from multiple viewpoints, which helps them to take more grounded decisions.

### **Visualization modules**

To represent the project designs, construction schedules, and the simulation data in an understandable way, we also plan to develop visualization modules (fig. 6).

First, a line of balance chart (LOB) creates a location-based visualization of the construction tasks. To create an LOB, the module uses information about resources and their technical relations to create production curves. It then integrates the production curves of all construction activities in one chart that shows the theoretical construction progress on specific locations of the construction site. Construction managers can use this chart as an input for alternative visualizations. In this way, the visualization helps them to, how they can efficiently allocate their resources on the construction site.

Complementary to the LOB, we plan to develop a critical path module. This module uses the relation between construction activities to calculate the critical path for a construction schedule. A critical path consists of the longest chain of sequentially related activities that ultimately determine a

project's duration. Delay on one of the activities in this chain results in a delay of the project as a whole. The module visualizes a Gantt-chart that highlights the path of critical construction activities.

The next visualization module we plan to develop is the 3D-viewer. The 3D-viewer allows the user to model and review the information representing existing physical project conditions. For this, the construction manager can select and position objects from the geometrical object-database in a virtual environment. This results in a 3D model that describes subsurface assets and the street interior. In an analogous way, construction managers can model the design situation and compare this with the modeled existing situation. The module also allows the construction manager to overlap the models of the existing and future situation, and navigate through them to detect spatial clashes between objects in an early stage.

Finally, we integrate a Construction Process Visualization module that enables the construction manager to virtually rehearse alternative construction plans. This module allows construction managers to link the construction-objects from the 3D-viewer with the activities on the construction schedule. This results in a construction progress animation that provides insight about the construction activities that take place within time. This visualization helps to detect spatial clashes or other execution problems and helps construction managers to evaluate various construction schedules.

### **Quantitative indicator modules**

The visualization and simulation modules allow construction managers to better understand the plans they created. Furthermore, the modules enable construction managers to quickly create and evaluate alternative construction schedules. To allow construction managers to compare the alternatives, we also plan to develop a quantitative indicator panel. For each alternative, this module calculates global indicators such as costs, project duration, and percentage of equipment idle time. Further, the panel includes numerical indicators that provide an indication of the quality of the LOB-chart. These indicators are continuity, synchronization, and uniformity (Ungureanu, Hartmann and Șerbanoiu forthcoming).

### **Interrelations between the modules**

One key characteristic of the VCS is that it integrates various modules that are often used independent from one another. The VCS enables construction managers to conduct scenario-based evaluation of the construction plans. The integration of various viewpoints in a scenario-based comparison of alternative construction plans enables construction managers to make more grounded decisions. This section provides more information about the interrelations of the modules and shows how results from one module can be used as input for another.

In fig 7, we provide a process diagram that describes the interrelation between the VCS- modules. It shows that construction managers can use the databases and project specific information to derive information about attributes such as required resources, technical relations, construction activities, and quantities. The discrete-event simulation uses this information to model construction operations. This provides a schedule that the construction manager can evaluate using the LOB, critical path calculation, and global indicator modules. Additionally, construction managers can also model the physical project conditions with the 3D-viewer. They can subsequently use the construction schedule and 3D-model to create Construction Process Visualization. During this process, construction managers can continually change project specific information to evaluate alternative construction plans. Together, the modules allow construction managers to use various viewpoints for analysis of their plans: they can make location and activity-based evaluations of the construction schedule or

calculate global indicators, while also taking into account the spatial relation between construction activities and physical project conditions.

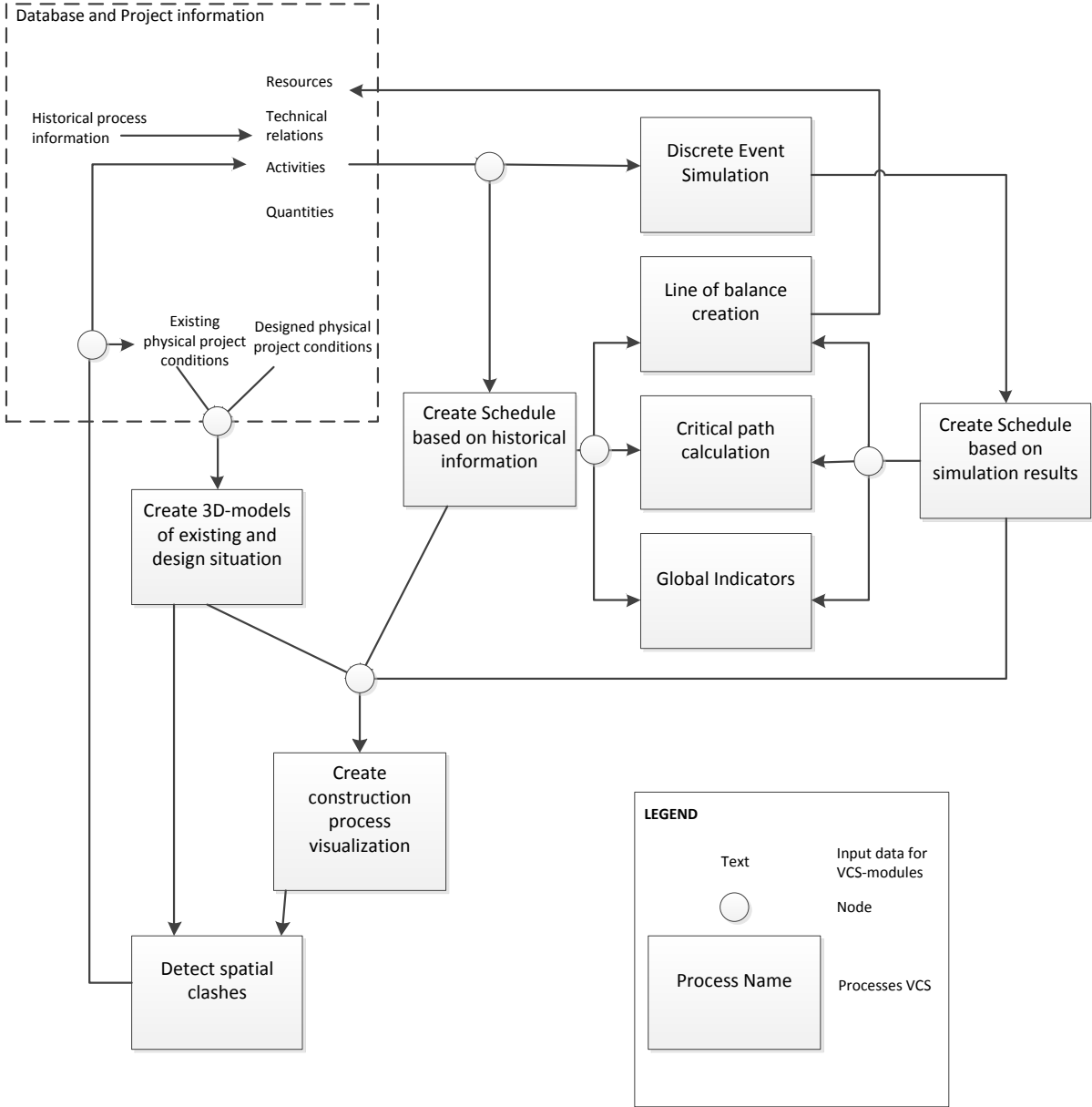


Fig. 7 - process model describing the flow of data between modules of the virtual construction site

### Development approach

The systems architecture from the previous section provides an outline of theoretically relevant features for our VCS. In our research project, we plan to use this architecture as a theoretical guide for our development efforts. During these efforts, we use the ethnographic-action research approach (Hartmann, Fischer and Haymaker 2010) to develop a VCS that closely fits the specific needs of subsurface utility construction managers. More specifically, this approach enables researchers to observe the behavior of insiders and activities within a culture, while it also allows them to become insider by being involved in the activities that take place within this culture. In our situation, we plan to observe utility construction management meetings and onsite construction activities. The observations provide input for our action research part, where we iteratively want to develop the VCS's modules. Each modular part has a specific function. It performs a visualization or simulation

tasks or calculates indicators. For each time we develop and integrate a module, we plan to implement the next version of the VCS on real-life projects for calibration and validation. The next section of this paper presents results from our first efforts to develop the discrete-event simulation and critical path modules. For these modules we conducted a proof of concept on a prototypical sewer-line construction project.

### **Proof of concept: discrete-event simulations for a prototypical sewer project**

Based on the plans from our systems architecture, we decided to develop a draft version of a discrete-event simulation module in a java environment. As a proof of concept, we then simulated two alternative construction schedules for a simple sewer construction project. We subsequently exported the results to GanttProject, where we calculated and visualized critical paths for the schedules that the simulations provided as output.

The project we simulated included five road sections that were broken up, excavated and shored. The next tasks were to prepare the bed, install the pipes, hand backfill the trench, remove the trench, finalize backfilling, and compact. These activities are described in more detail in the sewer-line construction model from Halpin (1992 pp.236-240). For each activity in the simulation, we defined technical relations and durations. Subsequently, the simulation calculated, start and end-times, for all construction operations. Using the output from the simulation, we visualized a Gantt-chart and used GanttProject to calculate the critical paths.

To experiment with the module, we created two construction plans that mobilized different resources. In the first scenario, we used one breaker, excavator, crane, crew, roller, and truck. For the second scenario, we doubled the resources. We visualized the results from the two scenarios using the Gantt-Charts. Fig. 8 shows that critical paths of the two scenarios appeared to be very different. Construction managers could use these different outputs to experiment with alternative construction plans. The proof of concept shows that the discrete-event simulation and critical path calculation modules allow construction managers to quickly generate and evaluate alternative construction plans.

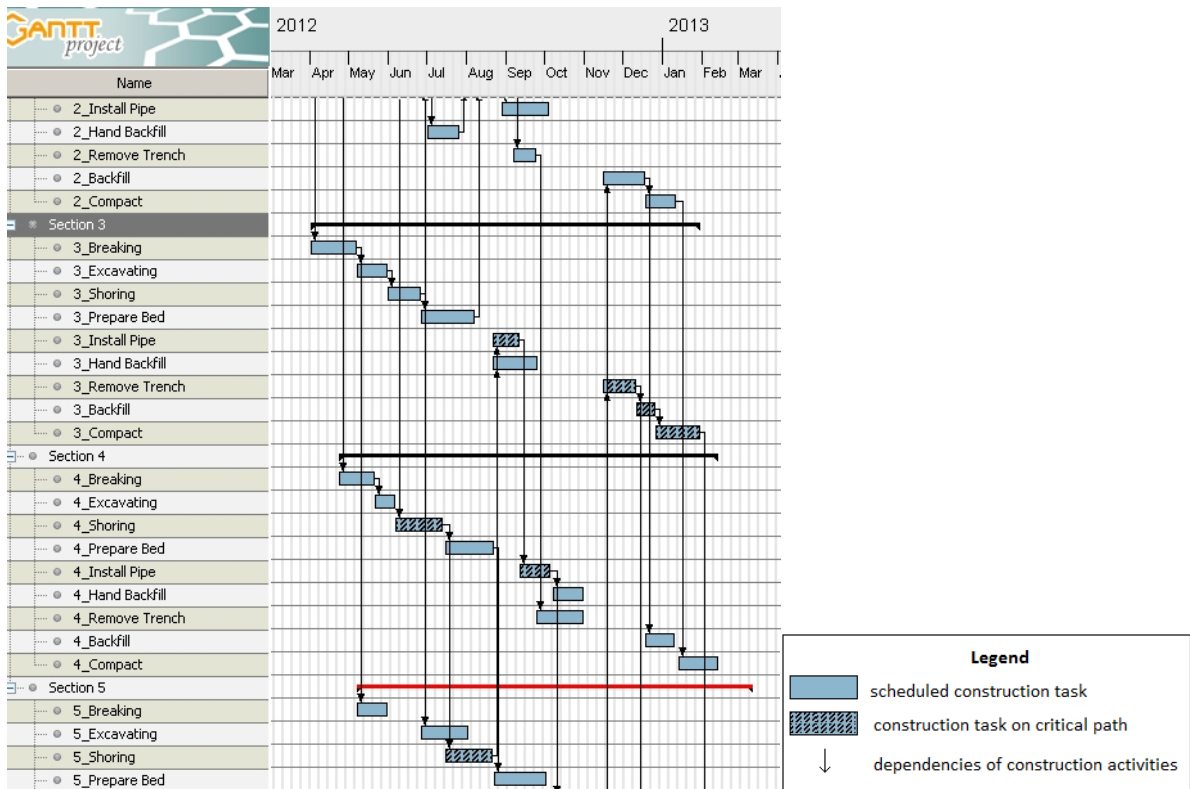
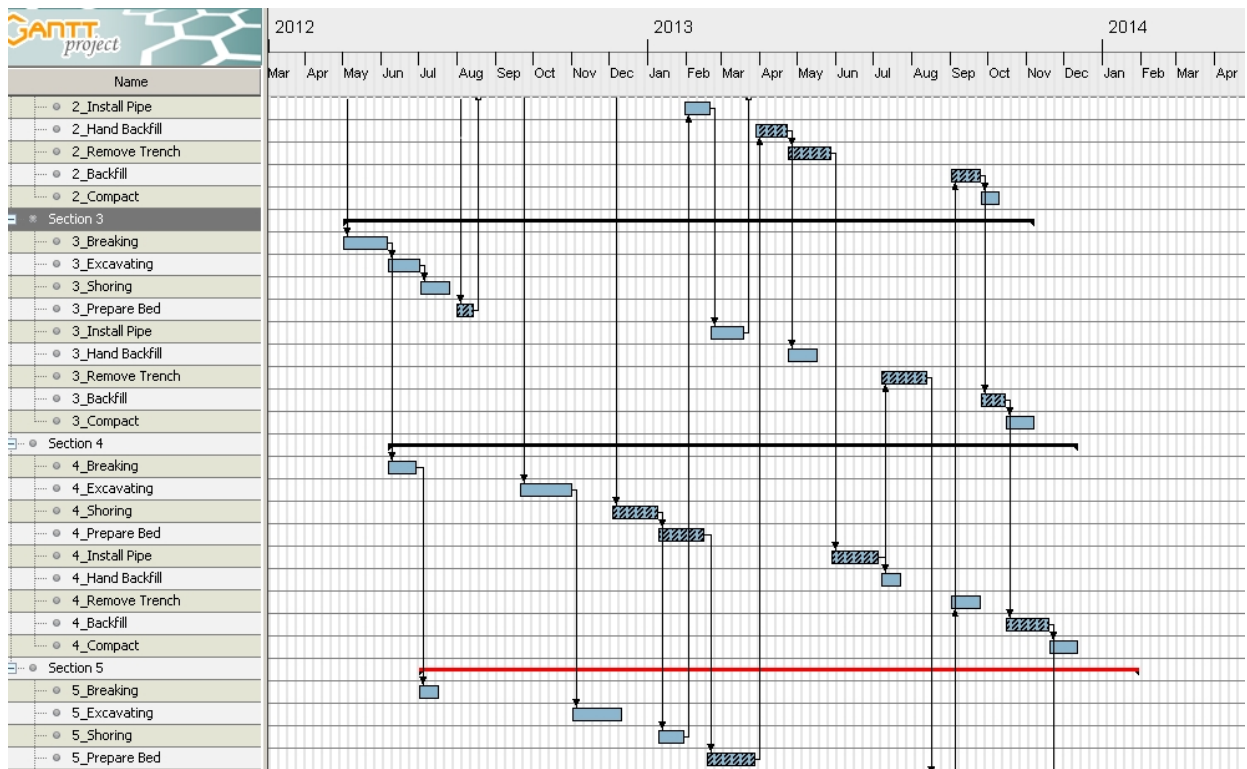


Fig 8 - visualization of critical paths on two alternative schedules for a prototypical sewer project (chart on top of the page shows scenario 1, at the bottom: scenario 2)

## **Discussion**

During our proof of concept, we created and evaluated two construction plans for a simple sewer construction project. This scenario-based approach can help the construction manager to make more grounded decisions about her construction plans. Further, the two tested modules will, after future development steps, provide input for the other visualization and indicator modules. For example, construction managers can assess the construction schedule from the simulation module using LOB or Construction Process Visualizations. If the latter module identifies, for example spatial clashes, it helps to create alternative, improved schedules.

## **Conclusion**

In this paper, we provide our first ideas for our development of a VCS that supports construction management tasks of subsurface utility projects. We provided a systems architecture that will guide the ethnographic-action research efforts during our four-year research project. The paper describes a proof of concept we conducted for two modules on a prototypical project. The results indicate that the simulation module allows construction managers to conduct a quick, scenario-based evaluation their construction plans. We plan to implement the modules on a real-life project as a start for our ethnographic-action research efforts.

## **Consecutive research efforts**

We plan to gradually develop and implement the modules that will ultimately comprise our VCS. On short term, we plan to start our ethnographic-action research efforts by implementing and evaluating the discrete-event simulation and critical path modules on a real-life project. Here, we want to run the simulation and compare these results with the real progress onsite. Subsequently, we plan to extend the VCS step-by-step by developing, integrating and validating new modules. Ultimately, this would result in the VCS as we outlined in this paper.

Another challenge would be to provide evidence about the benefits of this tool. We should therefore look at ways to quantify the advantages of the VCS. To do this, we could organize lab-experiments that compare existing tools and work practices with the VCS. We could measure differences and similarities of the construction plans developed with these different tools using quantitative indicators such as amount of clashes, cycle times, idle times, and critical paths.

## **Acknowledgements**

We greatly thank the Werkplaats BIM and Werkplaats Innovatieve Toepassingen GWW of the Dutch innovation platform Stichting Pioneering, for their participation in this research.

## 4. An object model to support visualizations and simulations of subsurface utility construction activities

*L.L. olde Scholtenhuis & T. Hartmann*

*Department of Construction Management and Engineering, Faculty of Engineering Technology, University of Twente, The Netherlands*

Gepresenteerd tijdens de 14<sup>e</sup> Int. Conf. on Computing in Building and Civil Engineering, 2012, Moskou  
Gepubliceerd in Abstracts Volume en elektronische proceedings

**Abstract** - To coordinate the construction activities on subsurface utility construction projects, managers need to integrate and evaluate various alternative design and construction plans. Visualization and simulation (V&S) tools can support this process because they can enhance project managers' understandings of the consequences of their construction plans. Object models are the basic input for V&S tools. Yet, to our best knowledge, object models used in existing tools, are not well-suited to evaluate plans for subsurface utility construction projects. One reason for this is that current object models are often used to create geo-referenced networks for utility maintenance purposes in larger geographical regions. To be of use for V&S tools that support subsurface utility construction projects, object models need to contain more detail and should be based on the activities within the construction stage of the project. We therefore iteratively developed a new object model using our close observations of construction activities on a Dutch inner city utility reconstruction project. This paper presents our initial object model that, during next research steps, will be further developed and implemented at several subsurface utility construction projects.

*Keywords:* subsurface utility, visualization, simulation, object model, ethnographic action research

### Introduction

To evaluate and align construction plans, construction managers often create and experiment with models of the system to be constructed or designed. Experiments such as simulations can offer several benefits. According to Ruwanpura and Ariaratnam (2007) they:

- Help 'to better understand the system': simulations allow professionals to generate constructability knowledge at early project stages,
- Support 'conduct what-if analyses': this allows construction professionals to quickly and effectively evaluate various alternative construction plans,
- Can evaluate the impact of probabilistic elements on the process: simulations can, for example, make predictions of how uncertainties such as weather influence a construction process,
- And, eventually help professionals to execute their task quicker and less prone to error.

Visualizations can also help to increase people's understanding of design or construction plans. For example, construction process visualizations that represent 'views of the construction sequence at any given time of the process' (Adeij-Kumii and Retik 1997). A different example is 3D-visualization of pipeline systems. In the utility sector, such visualizations can be of great importance to support maintenance tasks, since they provide 'a better perception and understanding of the complexity of the underground networks' (Du et al., 2006). Du et al. (2006) also state that a lack of this understanding

has led to blind-cutting or fault damaging of pipelines, which has led to cut-off of gas, water, and heat supplies, communication lines, and the overflow of sewage.

Object models are the basic input for tools with visualization and simulation features (V&S tools). Construction industry has numerous of such models, for example to support house building (Eastman and Siabiris 1995), steel production industry (Eastman et al. 2005), and maintenance and operations of utility networks. To our best knowledge, however, there are no object models to support visualizations and simulations for the construction phase of subsurface utility projects. This research was aimed to fill this gap. It describes how we worked together with construction managers of a sewer reconstruction project to iteratively develop an object model that supports visualization and simulation for subsurface utility projects.

This paper continues as follows. First, we discuss existing object model literature and elaborate on how shortcomings of existing object models hamper effective use of V&S tools for subsurface utility construction projects. The paper then discusses the new object model we developed. After that, we validate the model, describe our consecutive research steps and end with a conclusion.

## Theoretical points of departure

This section first elaborates on existing object models and addresses the shortcomings that these models have to support visualizations and simulations of subsurface utility construction plans. We finally propose some changes to existing object models that we use in our research approach.

Models represent data about a certain domain. They are an abstraction, simplification or idealization of reality that can be used for realization, simulation or as a prototype (Petri 1977). One more specific type is an object model, which contains sets of “interrelated data about some ‘thing’ ” (Bjork 1992). To describe these ‘things’, each model includes and leaves out different types of information. The choice to highlight and hide information depends on the level of the view modellers use (Bjork 1992). As a consequence, one object can be modelled very differently by people that have divergent viewpoints. This is important to notice, since model users might not share the viewpoint of a modeller. Also in construction, this results in building project and process models that do not model a reality, but the modeller’s partial understanding of that reality (Turk 2001). Therefore, modellers should be aware of the viewpoint of the construction managers who will use the work of the modeller in their work practice.

The diversity of disciplines in the construction industry causes very different viewpoints on construction models. These models each focus on different levels of abstraction, construction domains, and stages in the lifecycle of a system. For example, Eastman (1995) developed a model that contains physical and abstract information to model building and architectural knowledge. This model aims to represent data – e.g. spatial forms, activities and construction information - about a building over all its life stages. Another example is the 3D-product model for the steel construction industry, CIS/2 (Eastman et al. 2005). Next to the building sector, also utility and infrastructure sectors make use of object models. For example, Du et al. (2006) discusses comprehensive information systems of urban underground pipelines that are used to support tasks of operators, users and agencies. Du et al. (2006) further state that the use of 3D-models of this infrastructure can effectively help to express positions and spatial relationships of pipelines. Although this helps to support construction tasks, since it reduces blind cutting and fault damaging (Du et al. 2006), most underground piping models still lack a third dimension and are merely used for maintenance purposes. Also El-Diraby and Osman (2011) discuss various existing databases that contain object models for urban infrastructure products (SDFIE, LandXML, Multispeak and a utility data model for highways) that respectively focus on



spatial and attribute data, data exchange for land planning, civil engineering and land surveying, small electric and highway related utilities.

The construction object models mentioned in the previous paragraph are developed for various domains and operate independently. To solve inter-operability problems of these object model databases, El-Diraby and Osman (2011) developed an ontology for construction concepts in urban infrastructure products. The ontology contains an abstract, philosophical conceptualization of "the essence of knowledge that relates to construction aspects of infrastructure products." Although the ontology represents knowledge for civil infrastructure projects, it is not aimed to support visualizations and simulations of subsurface utility construction plans in practice. One reason for this might be that El-Diraby and Osman (2011) used a top-down development approach. Instead of observing construction objects and activities in practice and subsequently developing the ontology, El-Diraby and Osman (2011) first designed an ontology and later tested this on eight case studies, meetings and an evaluation.

Despite the existence of various object models and ontologies existing to date, literature lacks an object model that practitioners can use in V&S tools to evaluate subsurface utility construction plans. Current large scaled, geo-referenced object models from the utility sector are often developed for single domains and applicable to maintenance tasks only. Since subsurface utility construction activities take place on a more local scale, object models need to be adapted to that. Another short-coming of existing object models is that they often represent the viewpoint of a modeller. Since construction managers from practice might not have the same viewpoint on reality, such difference might hamper the use of these models in V&S-tools that support construction management tasks. To be of use for this, we suggest that models contain objects with a greater level of detail and represent objects in such a way that they can describe most of the activities that are part of subsurface utility construction projects. To develop such, a modeller needs in-depth knowledge of how managers create and evaluate construction plans. This requires a study of the phenomenon of subsurface utility design and construction in the field. By using a bottom-up development approach, this can result into an object model that better reflects the viewpoint of construction managers in practice, hence better supports V&S tools.

## Research approach

To understand how object models can support V&S tools for subsurface utility construction projects, we need to make sense of the design and construction activities that take place in the field. This provides insight to develop an object model that incorporates the viewpoint of construction managers. Turk (2001) states that models are often not created as such: instead, modelers use naïve or top-down development approaches that risk that they poorly reflect practice. To prevent this, we used a bottom-up, phenomenological approach and examine the meaning of objects within the context in which they are used. This leads to an object model that is more adapted to the domain of subsurface utility construction projects, hence better supports V&S-tools in this sector.

One approach that is based on phenomenology is the ethnographic action research approach developed by Hartmann et al. (2009). This approach combines ethnographic and action research in an ongoing research cycle. Ethnographic observations and interviews allow researchers to obtain an insider's view that is not accessible to people outside a domain, and to use this to explore a complex phenomenon (Jorgenson 1988). The action research part allows the researcher to participate in this phenomenon to "gather and verify knowledge about complex project routines and how practitioners follow these routines on their respective project." (Hartmann et al. 2009). Using this approach, we studied a sewer reconstruction project in the center of a Dutch mid-sized city. This project involved

reconstruction of a few sewerage pipes, subsurface cables and piping, and street interior. During this five month project, we first observed construction activities and some multi-disciplinary construction meetings, and had informal dialogues with various project stakeholders. Later on, we worked together closely with the contractor's project manager to visualize their construction plans. We created a computer model of the physical construction objects using Autodesk AutoCAD 2011 and used these to visualize the project's construction activities using Autodesk Navisworks 2011 software. We subsequently used this visualization to support a multi-stakeholder construction meeting.

We kept track of our observations by making a research diary. We also collected the notes, construction schedules, and drawings that we used to develop the visualizations of the construction plans. In the end, we used this data to make a record of construction activities and related objects. We did this by analysing the objects in the simulation. We categorized these objects using their source documents. Subsequently, we studied the schedules and construction plan visualization to derive the related construction activities. This resulted in the object model we present in the next section.

### **Subsurface utility project object model**

This section provides our preliminary version of the object model for a subsurface utility design and reconstruction project. On the next page, we provide tab 3. This table contains our object model. When we created the model together with the contractor's project manager, we found out that each involved party – e.g. contractor and client - prioritized different objects and construction activities. Therefore, we used multiple source documents to extract objects from. These documents describe various perspectives that enabled us to incorporate the viewpoints of the various parties that worked on the project. The first column describes the source documents from which we extracted objects. These documents were provided by the various parties in column two. We further indicated the relation between the object, construction task, and responsible party by categorizing the objects according to the provided documents. The overview of objects and related construction tasks that were important input for the visualizations of the construction plans are provided in the third and fourth column.

Tab. 3 - object model for visualization and simulation of subsurface utility design and construction plans

Document	Provider of document	Derived object	Related task
2D-Map of the as-is situation on ground level	Municipality	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pavement section</li> <li>• curb</li> <li>• refuge</li> <li>• traffic conductor</li> <li>• sign</li> <li>• traffic light</li> <li>• pavers</li> <li>• asphalt</li> <li>• excavation trench</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• demolishing</li> <li>• removing</li> <li>• excavating</li> <li>• storing temporary</li> </ul>
2D-Map of existing sewerage network	Dutch Land Registry Office	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sewer pipe section</li> <li>• drain</li> <li>• house connection pipe</li> <li>• dewatering machine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• excavating</li> <li>• removing</li> <li>• installing</li> </ul>
2D-Map of to-be situation sewerage network	Municipality	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sewer pipe section</li> <li>• drain</li> <li>• house connection pipe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• storing temporary</li> <li>• elevating</li> <li>• installing</li> <li>• filling up</li> </ul>
2D-Map of existing other cables and piping networks in intervention zone	Dutch Land Registry Office	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pipe section</li> <li>• cable section</li> <li>• house connections</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• excavating</li> </ul>
2D-Map of to-be situation other cables and piping	Various utility operators and their contractor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pipe section</li> <li>• cable section</li> <li>• switch, signal, and control box</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• boring</li> <li>• installing</li> <li>• filling up</li> </ul>
Construction schedule for public space renovation	Public space contractor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trench</li> <li>• foundation</li> <li>• lower asphalt layer section</li> <li>• upper asphalt layer section</li> <li>• traffic detection loop</li> <li>• pavement section</li> <li>• curbs</li> <li>• greenery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• excavating</li> <li>• demolishing</li> <li>• removing</li> <li>• installing</li> </ul>

## Validation

We showed our visualizations in a multi-disciplinary construction stakeholder meeting that five project team members attended. To validate our model, we investigated whether our construction plan visualization reflected the viewpoints of the practitioners. More specifically, we asked whether practitioners recognized and acknowledged the objects in the visualization. Eventually, participants confirmed this and stated that they could make sense of our visualizations. Figures 9-12 each provide a screenshot of this visualized model.

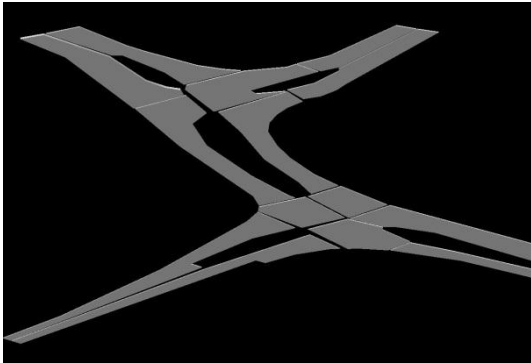


Fig. 9 - asphalt layer sections on intersection

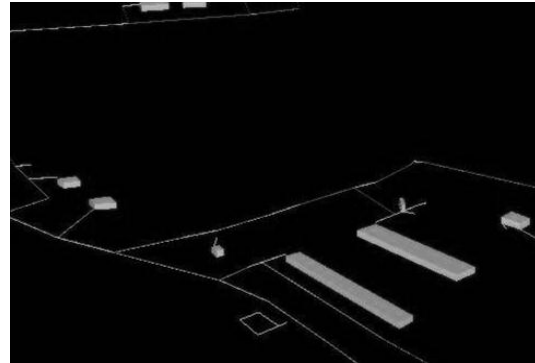


Fig. 10 - traffic detection loops and cable sections for traffic signs

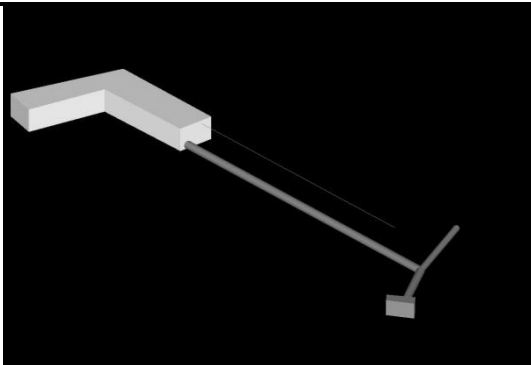


Fig. 11 - excavation trench, pipe sections, and dewatering machine

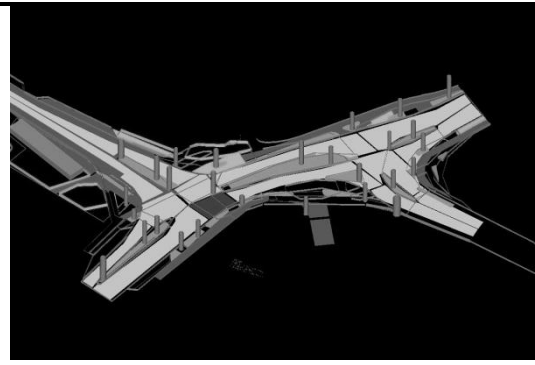


Fig. 12 - view on intersection with the various visualized objects

## Further research steps

This paper describes the first results of our object model development for visualizations and simulations of subsurface utility construction activities. Our bottom-up research method allowed us to make an object model that reflected the viewpoints of practitioners of a utility construction project. Nevertheless, we should stress the preliminary status of our work. In subsequent research efforts, we need to study additional sewer construction projects to be able to validate and generalize our findings.

Another interesting step for further research is to study how our object model evolves during the life cycle of the assets that it describes. As the life cycle of a utility network progresses, object models might need to be adapted accordingly. In line with this, model evolution allows additions, modifications, and deletions (Eastman and Sheng Jeng 1999) to the existing model in such a way that it can

flexibly deal with changing construction methods, or changing requirements to an object during the life cycle. Eastman and Sheng Jeng (1999) developed such a product model to supported building design. In consecutive research steps, it would be interesting to investigate how our object model could support changing conditions and construction processes in the lifecycle of utility infrastructure.

## **Conclusion**

Object models are important input for visualizations and simulations of construction processes. Although there is a wide range of available object models for building, architecture and engineering purposes, literature lacks a detailed object model that can effectively support visualizations and simulations of subsurface utility construction activities. This paper described how we developed our first version of such a model in close collaboration with practitioners. The model that contained objects such as pavement sections, pipe sections, trenches and foundation sections, and was used to create a visualizations of construction plans for a utility reconstruction project in a mid-sized Dutch city. Consecutive research efforts are aimed to further develop and validate this model.

## **Acknowledgements**

We greatly thank *Gemeente Hengelo* and *Wegenbouwmaatschappij Heijmans B.V.* for the freedom they gave us to observe their construction project and for their cooperation during the development of the object model. We also thank *Stichting Pioneering* for subsidizing this research.

## Afsluiting

Deze paperbundel bespreekt de problematische coördinatie en afstemming van werkzaamheden aan ondergrondse infrastructuur zoals het riool, kabels en leidingen. De betrouwbaarheid van deze processen is in de afgelopen jaren onder druk komen te staan. De praktijk waarin deze processen plaatsvinden, wordt tevens voortdurend geconfronteerd met nieuwe tools en technieken zoals 3D, bouwprocesvisualisaties, GPR, AR, en no-dig uitvoeringstechnologieën. In deze dynamiek van technologische en organisatorische verandering streven uitvoerders en projectmanagers van ondergrondse reconstructiewerkzaamheden naar een betrouwbaar planning- en uitvoeringsproces. Met andere woorden, zij willen ongewenste situaties beheersen of voorkomen. In deze bundel bekijken we hoe dit streven de technologische vernieuwing en veranderende organisatorische context van binnenstedelijke rioleringsprojecten doorkruist. We stellen hierbij de vraag:

*Hoe kunnen reconstructiewerkzaamheden aan ondergrondse infrastructuur met behulp van nieuwe tools en technieken betrouwbaarder worden gepland en uitgevoerd?*

Op grond van de vier gebundelde papers kunnen we ten aanzien van deze vraag het volgende concluderen:

- Vanwege de verschillende coördinatiemechanismen is ten opzichte van hoogbetrouwbare organisaties het beheersen en voorkomen van ongewenste en ongeplande situaties bij reconstructiewerkzaamheden aan ondergrondse infrastructuur ingewikkelder. De veranderingen die dit coördinatiemechanisme afgelopen jaren heeft ondervonden heeft de betrouwbaarheid van planning- en uitvoeringsprocessen onder grotere druk gezet. Oplossingsrichtingen voor deze coördinatieproblematiek zijn volgens deze paper, onder andere: bevordering van informatie- en kennisuitwisseling, betrekken van uitvoerderskennis tijdens planningsfasen, repeteren van projecten met visualisaties en simulaties en gecombineerde directievoering van reconstructiewerkzaamheden (paper 1).
- Tools en technieken als 3D-GPS, 3D-ontwerp review en bouwprocesvisualisaties kunnen helpen om planning- en uitvoeringsprocessen betrouwbaarder (minder fouten, beter, sneller) te maken. Om gebruik te maken van de voordelen die de tools bieden is het belangrijk om deze af te stemmen op de denk- en werkwijzen en het landschap waarin deze worden gebruikt (paper 2). De paper doet hiervoor de volgende suggesties: meer formaliseren en gestructureerd uitwisselen van projectinformatie zoals planningen en inkorten van hybride periode waarbij oude en nieuwe technologie gelijktijdig wordt gebruikt.
- Een geïntegreerde modulaire Virtuele Bouwplaats kan planning- en uitvoeringsprocessen verbeteren ondersteunen. Paper 3 beschrijft en valideert hiervoor een concept systeemarchitectuur die werkvoorbereiders en uitvoerders helpt bij het maken van robuustere planningen en hen stimuleert tot nadenken over anticipatie- en beheersmaatregelen voor ongewenste situaties.
- Bestaande objectmodellen die de basisinput zijn voor simulaties en visualisaties, zijn niet toegesneden op reconstructiewerkzaamheden aan binnenstedelijke ondergrondse infrastructuur. In paper 4 wordt daarom de ontwikkeling van een passend objectmodel besproken en gevalideerd met uitvoerders en projectmanagers van een rioleringsproject.

De vier gebundelde papers presenteerden we en verschenen in de proceedings van een viertal conferenties. Naar aanleiding van deze bijeenkomsten kunnen we de volgende aandachtspunten en vervolgtacties benoemen:

- De presentatie van paper 1 tijdens de CROW Infradagen 2012 te Papendal heeft het Pioneringproject Stroomlijning van Binnenstedelijke Rioleringsprojecten in beeld gebracht bij professionals uit de GWW-sector. Verder leidde het tot vergroting van het netwerk, met, onder andere, contacten en uitnodigingen bij het Gemeentelijk Platform Kabels en Leidingen (GPKL), Gemeente Amsterdam, Den Haag, Rotterdam en het Centrum Ondergronds Bouwen. Ook hebben we verwijzingen naar relevante rapporten en nota's ontvangen.
- Tijdens de ARCOM 27th Annual Conference 2011 te Bristol zijn contacten gelegd met professoren en PhD's die zich bezig houden met IT en construction management. Naast uitbreiding van het netwerk leidde dit tot een literatuurverwijzing.
- Papers drie en vier zijn tussen 27 juni – 6 juli gepresenteerd op de 19<sup>e</sup> EG-ICE International Workshop 2012 Herrsching en 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE) 2012 Moskou. We hebben hier kennis gemaakt met wetenschappers in het onderzoeksveld van modelleren en computing in civil engineering. We legden met name contact met personen uit de onderzoeksgebieden objectgeoriënteerd programmeren, construction planning en simulaties. We hebben op beide conferenties literatuurverwijzingen ontvangen. In Herrsching hebben we bovendien contact gelegd met onderzoekers van de Ruhr Univesität Bochum. Met hen zullen we in de nazomer van 2012 een workshop over bouwprocesssimulaties beleggen. Verder hebben we van collegae de uitnodiging gekregen ons werk te presenteren op het Duitse Forum Bauinformatik.

## Methodologische reflectie

Gedurende ruim één jaar deeltijdonderzoek hebben we gewerkt op basis van de etnografische onderzoeksaanpak. De verscheidene interviews met experts en observaties van projecten hebben het Pioneringproject Stroomlijning Binnenstedelijke Rioleringsprojecten meer bekendheid gegeven. Daarnaast hebben deze activiteiten de mogelijkheid gegeven tot een verkenning van projecten alsook actoren en hun bevoegdheden, verantwoordelijkheden en werkwijzen tijdens binnenstedelijke rioleringsprojecten.

In de onderzoeksperiode riep mijn aanwezigheid tijdens vergaderingen en bijeenkomsten dikwijls reacties en vragen op. Vakmensen, uitvoerders, projectmanagers en toezichhouders keken soms vreemd op, waren argwanend, of voelden zich bedreigd door mijn aanwezigheid, totdat bleek dat ze voor mij als onafhankelijke nieuweling weinig te vrezen hadden. Wanneer ik dit liet doorschemeren en mijn interesse toonde voor de projecten en rollen van deze personen, werd een groot deel van hen vaak een stuk toegankelijker. Mijn inzicht: een positie als etnografisch onderzoeker moet je verdienen en verdedigen. Dit acceptatieproces kost tijd, maar geeft daarna vrije toegang en medewerking van mensen die je van waardevolle data over het onderzoeksveld kunnen voorzien.

Om de etnografische onderzoeksaanpak goed te kunnen uitvoeren heb ik mij in het afgelopen jaar ook enkele technologieën eigen moeten maken. Voorbeelden hiervan zijn de KLIC-viewer, Autodesk Civil 3D, Autodesk Navisworks, JAVA-language en de Horus video-surround tool. Met de nodige algemene gebruikerskennis van software, online tutorials en basiskennis over modelleren waren de meeste delen van deze technieken eenvoudig te bedienen. Met de nodige training, motivatie en overtuiging kunnen veel projectmanagers uit het civiele werkveld de technieken ook onder de knie krijgen.

Ten aanzien van het bestuderen van techniekimplementatie wil ik tot slot nog reflecteren op het label 'weerstand'. Een professional die met nieuwe technologie wordt geconfronteerd, biedt in vele gevallen 'weerstand'. Maar wat is de rol hier eigenlijk van? Louter afwering, terughoudendheid en afstoting van technologie? Ondanks het ogenschijnlijk afhoudende karakter van argumenten als 'het gaat nu eenmaal zo', 'zonder techniek gaat het ook al goed?!' en 'de voordelen zijn onzeker,' vindt technologische vernieuwing voortdurend plaats; onbewust of juist gewenst. Ik noem twee praktijkvoorbeelden: we spraken een MBO-student Civiele Techniek, opgegroeid met computers, 3D en virtuele realiteit. Hij had graag 3D-ontwerpen willen leren tijdens zijn studie. Na het raadplegen van zijn opleiding bleek echter dat dit niet mogelijk was, omdat docenten deze software niet beheersten en dus eerst op cursus zouden moeten. Verder vertelde een ervaren uitvoerder, een computerleek, dat hij weinig wilde weten van nieuwe technologie. Toch, vertelde hij dat hij de geavanceerde kabeldetectie-apparatuur die hij in de loop der jaren had leren bedienen dagelijks dankbaar gebruikte.

In de bovenstaande voorbeelden gaan kritische beschouwingen van techniek gepaard met (wensen tot) geleidelijke vernieuwing. Ik denk daarom dat de genoemde weerstandsargumenten deel uitmaken van een kritische beschouwing van hoe techniek verstoring en onzekerheden introduceert in bestaande stabiele werk- en denkwijzen. Om te begrijpen hoe technologie de praktijk werkelijk kan versterken moeten we vanuit onze rol als etnografisch-actie onderzoeker 'weerstand' daarom niet als barrière zien, maar als kritische beschouwing van techniek en praktijk. We moeten daarom met professionals de discussie aangaan, en onderzoeken hoe versturende technologie op voorspelbare en stabiele wijze in werkpraktijk ingepast kan worden. (zie ook Hartmann en Fischer 2009).

## Opgaven voor onderzoek en ontwikkeling

Tot slot vloeien uit de vier papers nog enkele suggesties voor vervolgonderzoek voort. Wanneer de bedoeling is om de betrouwbaarheid van planning en uitvoering te vergroten dan liggen er de volgende opgaven voor onderzoek en ontwikkeling op tafel:

- Om een waardeoordeel te geven over de gebeurtenissen en processen tijdens voorbereiding en uitvoering van reconstructiewerkzaamheden, zal moeten worden nagegaan hoe uitvoerders holdups (oponthoudmomenten) voorkomen en beheersen. De principes voor hoogbetrouwbaar organiseren kunnen worden gebruikt om de acties ter voorkoming en beheersing van holdups te belichten (n.a.v. paper 1).
- Ontwikkelde tools en technieken zullen afgestemd moeten worden met de denk- en, werkwijzen van uitvoerders en projectmanagers. Een meer gestructureerde communicatie van informatie en het verkorten van periode waar oude en nieuwe technologie naast elkaar wordt gebruikt dragen hieraan bij. Verder is het voor ontwikkeling van tools en technieken die informatie-uitwisseling ondersteunen belangrijk om gedetailleerd in beeld te brengen hoe de informatiestromen en besluitvorming tussen verschillende partijen in het voorbereidings- en uitvoeringstraject van binnenstedelijke rioleringsprojecten verlopen (n.a.v. paper 2).
- De onderzoeksactiviteiten lijken erop te duiden dat een weg van geleidelijke verandering ook geldt bij ontwikkeling, evaluatie en verbetering van nieuwe technologie als de Virtuele Bouwplaats (paper 3). De Virtuele Bouwplaats-modules zullen daarom stapsgewijs en iteratief en in nauwe samenwerking met de praktijk moeten worden ontwikkeld en toegepast bij pilotprojecten voordat ze op grotere schaal bruikbaar zijn in de praktijk.
- Het proces van ontwikkeling en implementatie is verder voor innovatieonderzoek een bron van data. Aspecten in dit proces die zeker onderzoek waar zijn tijdens de ontwikkeling van de Virtuele Bouwplaats zijn daarom ook: adoptie en acceptatie, integratie van tools in werkpraktijken, championship en diffusie.



## Nawoord

Deze paperbundel opende met een beschrijving van de struisvogeltactiek voor het ontkennen van de problematiek van coördinatie en afstemming van werkzaamheden aan binnenstedelijke ondiepe ondergrondse infrastructuur. Om de ondergrondse problematiek te beschrijven, te analyseren en op zoek te gaan naar ondersteunende tools en technieken stak daarom ik volgens ‘de omgekeerde struisvogeltactiek’ mijn kop in het zand. Ik, observeerde, participeerde, interviewde en discussieerde met diverse gemeenten, netbeheerders en aannemers. Het resultaat van deze activiteiten is aan de hand van vier conferentiepapers verwerkt in deze bundel die mijn studie Construction Management & Engineering aan de Universiteit Twente afsluit en aansluitend het startsein geeft voor mijn promotietraject. In dit nawoord blik ik terug en kijk ik vooruit.

Wanneer ik mijn huidige inzichten van ondergrondse infrastructuurprojecten vergelijk met die van twee jaar geleden kan ik wel stellen dat mijn beeld van de praktijk bij aanvang tamelijk naïef was. Het volgende geleerd in de collegezaal: uitvoeringskennis vroegtijdig betrekken bij ontwerp, verschillende disciplines integreren in het ontwerpproces, actief communiceren met omwonenden en tijdens bouwvergaderingen concrete afspraken maken over ontwerp en uitvoering. In de praktijk bleek alles niet zo geordend en gestroomlijnd te verlopen. Fragmentatie, strategische en commerciële belangen en complexe wetgeving maken een fictief ‘collegezaalbank’-project een stuk ingewikkelder en dynamischer. Tijdens mijn onderzoek maakte ik ook kennis met belangenbehartigers en kennisinstituten uit de nutssector en volgde verder via LinkedIn actuele discussies over ruimtelijke ordening van kabels en leidingen, nut en noodzaak voor het registreren van dieptecoördinaten en het ontstaan van graafschades. Vanuit mijn rol als onderzoeker kon ik middels deze contacten en discussies een beeld vormen van diverse knelpunten in de praktijk. Naar aanleiding van deze informatie kon ik mij ook wel eens verbazen over hoe het ‘er in de praktijk aan toe gaat’. Ik vroeg mij af: waarom weten we niet waar het overgrote deel van onze ondergrondse infrastructuur ligt? Waarom gaat coördinatie van werkzaamheden soms zo stroef? Waarom bestaan er bij reconstructieprojecten zoveel niet-geïntegreerde eilandjes van organisaties en disciplines? En hoe kan het zijn dat de straat soms kort achter elkaar opengebroken wordt voor verschillende reconstructiewerkzaamheden? Dit soort vraagstukken hebben mij voortdurend geïnteresseerd, geboeid en gemotiveerd in mijn zoektocht naar verbanden en patronen in de dynamiek van reconstructiewerkzaamheden.

Dankzij het bijzondere MSc./PhD-traject heb ik het afgelopen jaar al veel praktijkkennis op mogen doen, onderzoek kunnen uitvoeren en resultaten mogen bespreken tijdens conferenties. Door het kortcyclische karakter van deze onderzoeken was mijn tijd flexibel in te delen, waardoor onderwijs en onderzoek gemakkelijk gecombineerd kon worden. Bovendien heb ik door middel van deze opzet al verschillende iteraties tussen dataverzameling, interpretatie, beschrijving en rapporteren kunnen doorlopen. Deze ‘proeftuin’ waarin ik onderzoek mocht doen in verschillende richtingen (technologieadoptie, coördinatie van reconstructiewerken en ontwikkeling van een virtuele bouwplaats) heeft mij een ruime blik gegeven op de mogelijkheden voor het komende promotietraject. Deze blik helpt mij in de komende maanden hopelijk om versneld tot een gefocust, relevant en haalbaar plan voor mijn promotieonderzoek te komen. Net als afgelopen jaar hoop ik hiervoor in de komende jaren een aansluiting met de praktijk te vinden. Deze link versterkt de relevantie van het onderzoek en geeft ons de mogelijkheid om bij te dragen aan verbeterende en versnelde reconstructiewerkzaamheden.

Ik kijk met enthousiasme en vertrouwen naar uit naar wat komen gaat!

## Referenties

- ADEJI-KUMI, T. AND RETIK, A., 1997. A library-based 4D visualization of construction processes. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Information Visualisation (IV'97)*. August 27-29, London, United Kingdom.
- ADRIAANSE, A., 2007. *The use of interorganisational ICT in construction projects*, PhD thesis, Department of Construction Management and Engineering, University of Twente.
- BJORK, B-C., 1992. A Unified Approach for Modelling Construction Information. *Building and Environment*, 27(2), 173-194.
- CAMERON E. AND GREEN, M., 2004. *Making Sense of Change Management*. London and Philadelphia: Kogan Page Ltd.
- CARD, S.K., MACKINLEY, J.D., SHNEIDERMAN, D., 1999. *Readings in information visualization: using vision to think*. 1st ed. Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA.
- CHIU, C.Y. AND RUSSELL A.D., 2011. Design of construction management data visualization environment: A top-down approach. *Automation in Construction* 20, pp.399-417.
- DE VRIES, B. AND HARINK J.M.J., 2007. Generation of a construction planning from a 3D CAD model, *Automation in Construction* 16, pp. 13-18.
- DU, Y., ZLATANOVA, S. AND LIU, X., 2006. Management and 3D visualisation of pipeline networks using DBMS and AEC software. In: *ISPRS Commission IV Symposium on Geospatial Databases for Sustainable Development*, 27-30 September 2006, Goa, India.
- EASTMAN, C. AND SHENG JENG, T., 1999. A database supporting evolutionary product model development for design. *Automation in Construction*, 8, 305-323.
- EASTMAN, C. AND SIABIRIS, A., 1995. A generic building product model incorporating building type information. *Automation in Construction*, 3, 283-304.
- EASTMAN, C., WANG, F., YANG, D., 2005. Deployment of an AEC industry sector product model. *Computer-Aided Design*, 37, 1214-1228.
- EGBU, C.O., HENRY, J., KAYE, G.R., SCHUMACHER, T. R., YOUNG, B.A., 1998. Managing organizational innovation in construction. In: *Hughes, W (ed), 14th Annual ARCOM Conference 9-11 September 1998*, University of Reading. Association of Researchers in Construction Management, Vol.2 605-14.
- EL-DIRABY, T.E. AND OSMAN, H., 2011. A domain ontology for construction concepts in urban infrastructure products. *Automation in Construction*, 20, 1120-1132.
- HALPIN, D.W. AND RIGGS, L.S., 1992. *Planning and Analysis of Construction Operations*. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc. N.Y., USA.

- HARTMANN, T. FISCHER, M., 2009. A process view on end user resistance during Construction it implementations. *Journal of Information Technology in Construction* 23. [www.itcon.org/2009/23](http://www.itcon.org/2009/23), verkregen op 1 juni 2012.
- HARTMANN, T., FISCHER, M., HAYMAKER, J., 2009. Implementing information systems with project teams using ethnographic-action research. *Advanced Engineering Informatics* 23, pp.57-67.
- HARTMANN, T., GOA, J., FISCHER, M., 2008. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(10), pp.776-785.
- HARTMANN, T., MILLER, S., DORÉE, A.G., 2009. *Specifying the pragmatic roots of action research*. [http://aspari.nl/uploads/documents/artikelen/2009/hartmann\\_miller\\_and\\_doree\\_egos\\_long\\_paper\\_final\\_version.pdf](http://aspari.nl/uploads/documents/artikelen/2009/hartmann_miller_and_doree_egos_long_paper_final_version.pdf) [elektronisch document], verkregen op 1 juni 2012.
- HOUTUM, V. N. AND DOLS, R., 2011. *Graafschade Preventie. Inventarisatie en selectie van innovaties ter voorkoming van graafschade*, Kabel en Leidingoverleg.
- HUANG, T., KONG, C.W., GUO, H.L., BALDWIN, A., LI, H., 2007. A virtual prototyping system for simulating construction processes. *Automation in Construction* 16, pp. 576-585.
- JONGELING, R. AND OLOFSSON, T., 2007. A method for planning of work-flow by combined use of location based scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction* 16, pp.189-198.
- JORGENSEN, D.L., 1989. *Participant observation: A Methodology for Human Studies*. Thousand Oaks: Sage Publications, Inc.
- KEMP, R. F., VAN DE LOO, C., FREEMAN, C., SOETE, L., MILES, I., BODEN, M., STREER, et al., 1994. *Technology and the transition to environmental stability: continuity and change in complex technology systems*. Maastricht: Maastricht Economic Research on Innovation and Technology [MERIT].
- KLO, 2008. *Handreiking Efficiency bij aanleg van kabels en leidingen > een gezamenlijke uitdaging*. Projectgroep Proactieve Regie.
- LEE, S.H., PEÑA-MORA, F., PARK, M., 2006. Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management. *Automation in Construction* 15, pp. 84-97.
- OLDE SCHOLTENHUIS, L.L. AND DORÉE, A.G., 2011. Challenges for Construction IT adoption on project level. In: *Electronic Proceedings of 27<sup>th</sup> Annual Conference Bristol*, UK.
- OLDE SCHOLTENHUIS, L.L. AND DORÉE, A.G., 2012. De Gordiaanse Knoop van kabels en leidingen: hakken we hem door? In: *Online CROW Infradagen Archief*, Papendal, Nederland.
- OLDE SCHOLTENHUIS, L.L. AND HARTMANN, T., 2012. An object model to support visualizations and simulations of subsurface utility construction activities. In: *Abstracts Volume en Electronic Proceedings of 14<sup>th</sup> International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Moskou, Rusland.
- OLDE SCHOLTENHUIS, L.L., HARTMANN, T., DORÉE, A.G., 2012. Systems Architecture for a Virtual Construction Site to support utility construction management tasks. In: *Book of Abstracts en Electronic Proceedings of 19<sup>th</sup> International Workshop van de European-Group on Intelligent Computing in Engineering*, Herrsching, Duitsland.

- OLOUFA, A.A., 1993. Modeling and simulation of construction operations, *Automation in Construction* 1. pp. 351-359.
- PETRI, C.A., 1977. *Modeling as a communication discipline in measuring. Modeling and evaluating computer systems.* New York: North-Holland.
- REPETTI, A., SOUTTER, M., MUSY, A., 2005. Introducing SMURE: A software system for monitoring urban functionalities, *Computers Environment and Urban Systems*, 30, 686-707.
- RIP A. , 1995. Introduction of new technology: main use of recent insights from sociology and economics of technology. *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol.7, 417-31.
- RIP A. AND KEMP R., 1998. Technological change. In: S. Rayner and E.L. Malone (Eds) *Human Choice & Climate Change*. Vol.2, Columbus: Batelle Press.
- ROBERTS, K. H. AND W. E. D. CREED, 1993. Epilogue. *New challenges to understanding organizations*. K. H. Roberts. New York, MacMillan: 249-256.
- RUWANPURA, J.Y. AND ARIARATNAM, S.T., 2007. Simulation modeling techniques for underground infrastructure construction processes. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22(5-6), 553-567.
- SHANNON, R.E., 1975. *System Simulation: The Art and Science*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- SPENDER, J. C., 1989 *Industry Recipes*. Cambridge: Basil Blackwell Ltd.
- SPRADLEY, J., 1979. *The ethnographic interview*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- TIDD, J., BESSANT, J. R., PAVITT, K., 1997, *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*. Chichester: Wiley.
- TURK, Z., 2001, Phenomenological foundations of conceptual product modelling in architecture, engineering and construction. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15, 83-92.
- UNGUREANU, L-C., HARTMANN, T., ŞERBANOIU, I., forthcoming. Quality assessment for Line of Balance schedule, *Journal of Construction Engineering and Management*, Manuscript submitted for publication.
- WEBB, B. AND SCHLEMMER, F., 2008. *Information technology and competitive advantage in small firms*. Taylor and Francis.
- WEICK, K. E., SUTCLIFFE K. M., OBSTFELD, D., 1999. Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. *Research In Organizational Behavior* 1: 81-123.
- WEINBERG, G., 1997. *Quality Software Management Vol. 4: Anticipating Change*. New York: Dorset House Publishing.