

PAVING THE WAY FORWARD

The Asphalt Process Newsletter

Vol 1—December 2021

Beste collega's en vrienden van ASPARi,

Het was een druk jaar in de ASPARi unit. Vijf bachelor- en twee masterstudenten hebben hun projecten succesvol afgerond. Dit jaar zijn er twee nieuwe PDEng-projecten gestart. Dat zijn Mohammad Sadeghian en Inga Maria Giorgadze. Zij stellen zich in de nieuwsbrief aan u voor. Enkele dagen geleden ASPARi-PDEng Afshin Jamshidi zijn scriptie met succes. Goed gedaan 'professor' Jamshidi. Naar verwachting verdedigt Babs Ernst haar PDEng scriptie, over wegenbouw lesmateriaal voor de HBO-sector, medio 2022.

Dit jaar werkte Denis Makarov hard zijn promotietraject. Zijn onderzoek richt zich op mogelijkheden en beperkingen van de automatisering van het asfaltverwerkingsproces. Daarvoor was Denis intensief in contact met de ASPARi Founders, de SOMA-docenten en onze studenten. Wij en hij streven naar de verdedig en promotie medio 2022.

Het is wel spijtig dat Denis de ASPARi Crew verlaat. Gelukkig blijft hij in de wegenbouwsector. Hij heeft besloten in Nederland te blijven en zal zich binnenkort aan de slag gaan bij één van de ASPARi Founders. We willen van deze gelegenheid gebruik maken om Denis te bedanken voor zijn harde werk, toewijding, doorzettingsvermogen. Hij was/is een rolmodel voor zowel jonge onderzoekers als studenten. Zoals sommigen van jullie misschien weten, werd hij bekend als Mr. PQi. Hij nam/had de verantwoordelijkheid voor alle monitoringoefeningen, en had zorg voor de onderzoeksapparatuur - alsof het zijn eigen apparatuur was. In zijn ASPARi werk bouwde hij relaties op met asfaltteams en hun machinisten. Denis zal binnen ASPARi gemist worden; door de UT collega's en de studenten. Gelukkig zien we hem nog wel eens als hij de laatste hand legt aan zijn proefschrift en zich voorbereidt op zijn promotie. Natuurlijk hopen we dat hij ook in zijn nieuwe baan actief betrokken blijft bij ASPARi.

Qinshuo Shen's recente workshop over het koppelen van proceskwaliteit en productkwaliteitsindicatoren met behulp van een machine learning-benadering heeft de noodzaak benadrukt van meer discussies over de aard en omvang van ons onderzoek en operationalisering van resultaten. Dit is iets waar we in het nieuwe jaar mee aan de slag gaan.

Als onderzoeksgroep zijn we blij met de komst van promovenda Angie Ruiz Robles. Haar promotieonderzoek is in het kader van 'Aantoonbaar Duurzaam Asfalt' (in Asfalt impuls). Monik Pena Acosta zet haar onderzoek naar Urban Heat Islands voort.

Wij zijn verheugd dat Rijkswaterstaat zich aansluit ASPARi. Dit wordt officieel gemaakt tijdens de Founders Meeting op 20 januari 2022. Bij deze vast een warm welkom aan Rutger Krans en andere RWS collega's. We zijn vol verwachting over deze samenwerking nu en in de toekomst.

In deze Newsletter:

- Mini-symposium een succes
- Afshin Jamshidi verdedigt zijn PDEng project
- Bachelor en master projecten succesvol afgerond
- Nieuwe PDEng en PhD projecten
- PDEngers in PQi training

Deze laatste nieuwsletter van 2021 is mooie gelegenheid om de Founders te bedanken voor hun betrokkenheid bij vele outreach-activiteiten. ASPARi-leden waren prominent aanwezig in verschillende asfalt-impulscommissies zoals HTLC, Kwaliteitsborging en LAM. Ook de studenten van de UT hebben geprofiteerd van de begeleiding en expertise van Founders. Een grote dank aan u allen.

Om vast in de agenda te zetten: Op 10 februari 2022 staat een tweede ASPARi Internationale Leveranciersdag gepland.

Ten slotte willen we van deze gelegenheid gebruik maken om u en uw familie een goede kerstperiode te wensen. We hopen dat jullie allemaal lekker uitrusten en dat kunnen genieten van de tijd die u doorbrengt met uw dierbaren.

Met vriendelijke groeten,

Seirgei, André en Farid

Jaarlijkse ASPARi mini-symposium een succes.

Meer dan 60 deelnemers woonden het onlangs gehouden online ASPARi-minisymposium bij. Een selectie van bachelor-, master-, PDEng- en PhD-kandidaten presenteerde hun projecten uitgevoerd in de ASPARi-unit. Het dagprogramma werd ingeleid door dhr. Albertus Steenberg van Roelofs die namens het ASPARi netwerk iedereen welkom heette. Over het algemeen werd het symposium goed ontvangen met verschillende positieve reacties die online werden geplaatst.

- ⇒ Dankjewel Aspari team, jullie zijn zeer prikkelend en innovierend! - Prof. dr. Wim van den Bergh (Universiteit Antwerpen)
- ⇒ Bedankt voor het symposium leuk en afwisselend — dhr. Johan Hakkers (SOMA College)
- ⇒ Dank voor een mooi symposium en gefeliciteerd met de tot 60 deelnemers! - Dr. Rutger Krans (Rijkswaterstaat)

De presentaties zijn beschikbaar op de website aspari.nl (News button). Klik op een titel (hyperlink), als u direct naar een specifieke presentatie wilt gaan. De presentatievideo's worden binnenkort toegevoegd. Met dank aan de ASPARi-crew van de UT die het evenement heeft georganiseerd. Ook willen we iedereen bedanken die aanwezig was en een aantal interessante vragen heeft gesteld voor onze studenten en onderzoekers. U kunt rechtstreeks contact opnemen met de presentatoren als u meer wilt weten over een van de presentaties. Contactgegevens van onderzoekers zijn te vinden via <https://people.utwente.nl/>.



Babs Ernst presentatie screenshot



De organisatoren - de ASPARi crew

	ASPARi Jaarlijkse Mini-symposium 2021
Albertus Steenberg (dagvoorzitter ASPARi)	Welkom en introductie
Babs Ernst (PDEng kandidaat)	Samen aan de weg timmeren, nieuwe lesmaterialen voor het hbo
Tim Stevering (BSc)	Hoogwaardig hergebruik van ZOAB in de praktijk
Chris vd Pol (MSc)	Circulaire Materialen als vervanging voor bitumen - Op weg naar een duurzaam asfalt bouwindustrie
Thalia Pilataxi (BSc)	Paving and Compaction Support Systems - the status of implementation worldwide
Dr. ir. Farid Vahdatikhaki	Pavement Lifecycle Digital Twin; building blocks, applications and road ahead
Quinshuo Shen (PDEng candidate)	Coupling PQi Process Quality indicators with Pavement Quality indicators using Machine Learning
Inga Maria Giorgadze (PDEng candidate)	A semantic enrichment of asphalt failure modes for Lifecycle Infrastructure Digital Twins
Mohammad Sadeghian (PDEng candidate)	Developing an Ontology for the Pavement Lifecycle Management
Sajad Mowlaei (PDEng candidate)	The ASPARi Compaction Simulator - first user experiences at the SOMA
Angie Ruiz Roblez (PhD candidate)	Enhancing stakeholders' synergies on sustainability in the asphalt road sector: a guideline for implementing innovations
Monik Pena Acosta (PhD candidate)	Study of the Urban Heat Island phenomenon from a road perspective
Denis Makarov (PhD candidate)	Towards an Autonomous Asphalt Construction Process - an overview of research results

Afshin Jamshidi successfully defends his PDEng design project

Afshin, affectionally known as “professor Jamshidi” in the ASPARi research unit, presented and successfully defended his PDEng project - Modernizing process control system in pavement operations - on 17 December 2021. Under the watchful eye of external examiner, Dr. Luis Ferreira (UT), ASPARi advisory committee members Berwich Sluer (Boskalis) and Marcel Springer (BAM), and UT supervisors André Dorée, Farid Vahdatikhaki and Seirgei Miller, Afshin was put to the test in a grueling session to defend his work. Unfortunately advisory committee members Jasper Keizer (KWS) and Marjolein Galesloot (BAM) could not attend the closed defence session since they were providing a guest lecture to students of the Avans Hogeschool.

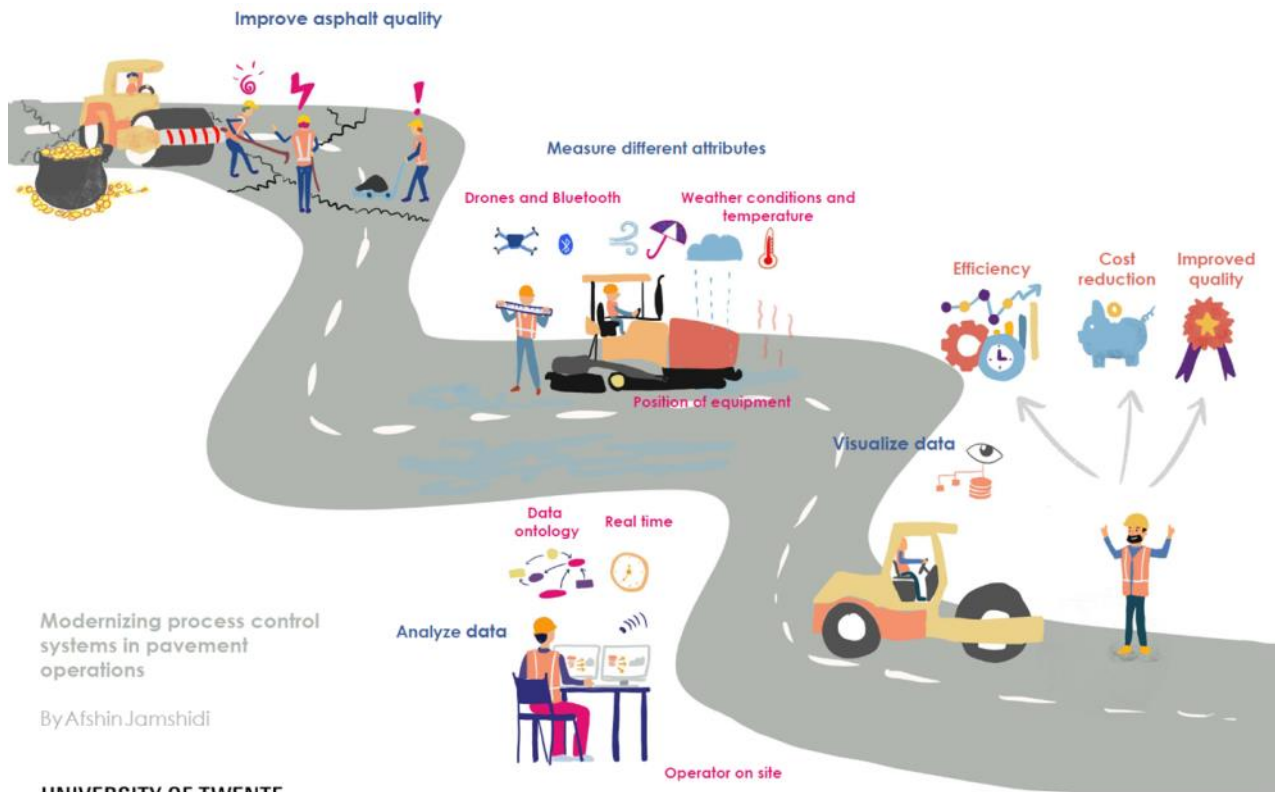


Afshin’s work was well received by the examination committee and the ASPARi representatives specifically mentioned that the working prototype meets the expectations of the companies. Also, his very critical Roadmap report is especially valuable for contractors given that it explains they should proceed with the next technology implementation and digitalization steps. This project provides a good basis for the next steps in the ASPARi trajectory making optimal use of data collected. From a design perspective – his collaboration and integration with PhD candidate Denis Makarov (automation of the asphalt compaction process), certainly raised the standard of work produced and added value to his design project.

This is his executive summary (Afshin’s report will soon be available online):

Asphalt construction is a very complex process where many variables can affect the final quality. Having this in mind, asphalt pavements usually are mostly done based on the operator experiences and their intuition. ASPARi is a network of asphalt contractors which, with the help of University of Twente, investigates methods for improving the asphalt quality. PQi is a method, developed in ASPARi for controlling and improving primary processes at an asphalt construction site.

The currently available tools in ASPARi, although working, are mostly used in offline mode and are based on older methods. This project provides methods for modernizing hardware and software, and help the operators and onsite managers to better control the construction processes in real-time. As a working prototype, the output and the features of the system can be used as a reference for asphalt contractors to raise their expectations regarding real-time process control system development. They can use the improved ASPARi PQi product to firstly, demonstrate and secondly, request similar or more advanced features from equipment manufactures and other relevant vendors. The adoption of the developed features in future machines should lead to higher asphalt quality.



2021 was een druk jaar voor ASPARi-leden en onderzoekers. met name door de aannemers voorgestelde bachelor projecten zijn binnen de eenheid steeds populairder geworden. Hier zijn korte introducties en samenvattingen van degenen die hun projecten met succes hebben voltooid:

Tim Stevering onderzocht de circulaire ontwikkeling van ZOAB in de praktijk

Externe begeleider — Rob Hofman (RWS) en UT begeleider —Seirgei Miller

Hallo allemaal, Mijn naam is Tim Stevering en ik heb de afgelopen maanden mijn bachelor stage uitgevoerd bij Rijkswaterstaat. Het doel van mijn onderzoek is om inzicht te veroveren in de circulariteit van poreus asfalt in de Nederlandse asfaltmarkt. Het doel is om de potentie van circulariteit te onderzoeken door te kijken naar het horizontale hergebruik van ZOAB in Nederland. Daarbij wordt er inzicht vergaart in de huidige uitdagingen en problemen met betrekking tot het gebruik van circulaire ZOAB en het vergaren van de benodigde secundaire grondstoffen.

Het onderzoek bestaat uit een combinatie van een literatuurstudie en interviews met experts op het gebied van asfaltrecycling en circulariteit. Daarbij is er een casestudie uitgevoerd waarin een secundaire materialen balans is opgesteld om de circulariteit van twee bouwprojecten weer te geven. Het in kaart brengen van materiaalstromen is cruciaal om de circulariteit van een project te bepalen. Hiervoor zijn de freesopbrengsten van een project vergeleken met de benodigde secundaire materialen volgens de asfaltmengselplanning. Een belangrijk aspect in deze vraag is daarentegen hoe efficiënt de recycling van ZOAB-frees is.

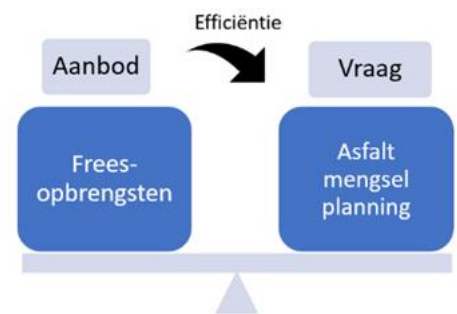
Uit de literatuurstudie blijkt dat momenteel ongeveer 60% van het granulaat van een oude ZOAB laag hergebruikt kan worden in een nieuwe ZOAB laag. Dit wil dus zeggen dat 60% hoogwaardig gerecycled kan worden. Dit komt doordat er gedurende de gebruik- en recyclefasen materiaalverlies optreedt. Gedurende het frees en breek proces kunnen delen van het granulaat splijten of breken. Het stukje steenslag valt dus uiteen in meerdere stukken steenslag met een kleinere fractie.

Uit de resultaten van de casestudie blijkt dat de 60% die boven beschreven staat een redelijke aanname is. Een van de projecten realiseerde een horizontaal hergebruik van ZOAB van 56%. Deze waarde was mogelijk door het gebruik van ZOABmengsels met tot 70% secundaire materialen. Om het percentage van 56% te kunnen behalen was er echter niet genoeg secundair materiaal beschikbaar uit het project zelf. Hierdoor moest extra secundair materiaal vanuit andere projecten worden gehaald.

De vraag naar secundaire materialen binnen het project was groter dan het aanbod, dit geeft aan dat er een tekort aan ZOAB-frees is binnen dit project. Meerdere geïnterviewden bevestigen dat het tekort aan ZOAB-frees in verschillende projecten optreedt. Dit heeft gevolgen voor de circulariteitsdoelen van de projecten. Om de circulariteitsdoelen van het ene project te halen, moeten de circulariteitsdoelen van andere projecten worden vermindert.

Het tekort aan ZOAB-frees kan op verschillende manieren worden aangepakt, maar samenvattend zijn het vooral logistieke processen die verbeterd moeten worden. Het balanceren van vraag en aanbod is cruciaal in het behalen van circulariteitsdoelen voor het hele land. Nederland schiet er namelijk niks mee op als om de circulariteitsdoelen van het ene project te halen, een ander project moet worden leeggeroofd voor secundaire materialen.

Natuurlijk draagt het verbeteren van recycling technieken bij aan het verhogen van de circulariteit. Daarentegen moeten de logistieke processen om de vrijgekomen materialen te laten aansluiten op de vraag wel voldoende gedefinieerd en beschikbaar zijn. Het in kaart brengen en de discussie starten over de logistieke opgave wordt daarom sterk aangeraden. Hier kan bijvoorbeeld worden gesproken over het verbeteren van data met betrekking tot de kwaliteit en kwantiteit van bestaande ZOAB lagen of het opslaan, monitoren en verhandelen van specifieke PR mengsels om vraag en aanbod beter op elkaar aan te sluiten.



Alison Hidalgo completes her bachelor project— Implementing alternative technologies to improve PQi methodology - A contribution to the implementation of alternative GPS technologies in the asphalt

Supervisors: Jasper Keizer (KWS), Mohammad Sadeghian & Seirgei Miller (ASPARi, UT)

A little about her - Alison was born and raised in Ecuador. She is a bachelor civil engineering third-year student at the University of Twente. She focused on studying standard GPS and alternative technologies and to find whether they can be implemented in the PQi methodology to track machinery with the same or greater accuracies as the technologies currently used.

Project summary

The research focuses on investigating alternative technologies that can be used for tracking machinery in the construction and paving industry instead of GPS, which is the currently used technology for several industries. This GPS is part of the so-called PQi framework, which focuses on making on-site behaviour explicit to improve the quality of asphalt. This is done by tracking pavers and rollers during construction and obtaining data from other technologies to create plots that make the activities on-site visible for the asphalt crew and are used to find the aspects in which improvement should be made during the next project. The accuracy of GPS is crucial for making accurate graphs; therefore, an accuracy of 10 centimetres is needed to accomplish that. Due to the current technology presents issues regarding the loss of signal, data analysis, and costs, the idea of looking for alternatives to overcome this began.

Therefore, during this study, the main research question that was investigated was: "To what extent alternative technologies available in the market can be implemented for tracking machinery with the same or similar accuracies as the currently used GPS technology in the PQi process in order to reduce the costs and functionality issues". To be able to answer this question, four sub-questions were formulated to make the research process more organised and understandable. The sub-questions were: (1) Which alternative technologies (standard and non-standard) available in the market are suitable to be applied in the asphalt industry? (2) What are the current issues of using standard GPS technologies in the asphalt industry? (3) What are the pro's, cons and barriers of using standard GPS and these alternative technologies? (4) Which alternative(s) perform better or equal compared to standard GPS solutions?.

After using three different methodologies: Literature review, semi-structured interviews with industry experts, and Analytical Hierarchy Process (AHP), it was found that the available technologies used for tracking machinery that could replace GPS in the construction and paving industry are Bluetooth Low Energy (BLE), Locata Technology, Unmanned Aerial Systems (UAS), Lidar, Ultra-wideband (UWB), U-Blox, Radio Frequency Identification (RFID) and Thermal Imaging. A description of how each of them works, the advantages, challenges, limitations, and future of the technologies was elaborated.

The semi-structured interviews showed that the issues that GPS presents in the asphalt industry are the loss of signal in non-favourable environments, making it to lose accuracy. Also, according to the experts, the user-friendliness of the analysis of the data could be improved. Another result was the criteria used to choose the technology. The experts mentioned that accuracy, user-friendliness, costs, and robustness are the important aspects to consider for having a technology within their projects. Therefore, the technologies mentioned above were evaluated and compared against accuracy, robustness, reliability, and user-friendliness. The results from this analysis showed that the most suitable technology to replace GPS is U-blox, followed by Thermal imaging, Ultra-wideband, Locata, UAS, Lidar, RFID (Radio Frequency Identification) and BLE (Bluetooth Low Energy). However, since the focus of this research was to find technologies for tracking machinery that can be implemented in the PQi framework. The requirements of accuracy and costs currently used within that methodology were crucial to determining which of the aforementioned technologies can be implemented within the PQi framework. Therefore, only two technologies were suitable to be implemented within the framework instead of GPS technology because they have higher accuracies and reduced costs. Those technologies are U-Blox and Thermal Imaging.

Given these results, it was concluded that there are available technologies in the market that can replace GPS within the PQi framework because they perform with equal or even better accuracies and lower-prices. However, more research and experimentation of U-blox and Thermal Imaging within the asphalt and paving industry should be done. This is recommended because it is important to know how exactly the aforementioned technologies perform in real-life applications. Additionally, with the experimentation and more research, the issues that these technologies might have when using them in real life can be found.



Bachelor student Boudewijn Mol onderzocht Grondradar vs. Beckerproef

Externe begeleiders - dhr. W. Bouwmeester & Dr. R.L. Koomans

Interne begeleiders - Qinshuo Shen en Seirgei Miller (ASPARi, UT)



Deze titel intrigeert vast en zeker naar waar mijn bachelor onderzoek over gaat. Eerst zou ik mij graag even voorstellen. Ik ben Boudewijn Mol, 23 jaar oud en ben bezig mijn bachelor Civiele Techniek af te ronden aan de University of Twente. Ik kom oorspronkelijk uit een klein gehucht in de buurt van Doetinchem. Hier vandaan ben ik verhuisd naar Enschede voor mijn studieleven. De oosters nuchtere en goeddelijke levensstijl is mij dan ook niet vreemd welke ik nu probeer te projecteren op mijn Rotterdamse omgeving, studeren gaat immers online. Ik kom uit een 'niet lullen maar poetsen' familie, vandaar dat onderzoek doen naar asfalt mij zo aantrok. Nauwgezette wetenschap met grof materiaal bedrijven.

Mijn onderzoek voer ik uit bij De Wegenscanners in samenwerking met Seirgei Miller en Qinshuo Shen van ASPARi. De Wegenscanners opereren vanuit bovenstaand credo met hun mobiele grondradars om efficiënt wegbeheer na te streven. Gedreven door een probleem vanuit de sector, namelijk vervuiling van ZOAB wegen, ben ik bij hen aan de slag gegaan. Op dit moment is de Beckerproef de gebruikelijke manier om mate van verstopping te meten. Deze methode laat een vaste hoeveelheid water weglopen door het asfalt en de tijd die het hiervoor gebruikt te meten. Dit is met name zeer tijdsintensief. Met mijn onderzoek willen we aantonen dat de diëlektrische constante die een grondradar meet een indicatie kan geven voor de verstopping. Om dit te bewerkstelligen, vergelijken we de diëlektrische constantes tussen rij- en vluchtstroken en de diëlektrische constantes op verschillende dieptes in het asfalt pakket. Ons onderzoek zou kunnen resulteren in een geschikt alternatief voor de Beckerproef. Dit zou zorgen voor een enorme tijdswinst en deuren openen naar periodieke metingen en daarmee efficiënt onderhoud.



Deze methode laat een vaste hoeveelheid water weglopen door het asfalt en de tijd die het hiervoor gebruikt te meten. Dit is met name zeer tijdsintensief. Met mijn onderzoek willen we aantonen dat de diëlektrische constante die een grondradar meet een indicatie kan geven voor de verstopping. Om dit te bewerkstelligen, vergelijken we de diëlektrische constantes tussen rij- en vluchtstroken en de diëlektrische constantes op verschillende dieptes in het asfalt pakket. Ons onderzoek zou kunnen resulteren in een geschikt alternatief voor de Beckerproef. Dit zou zorgen voor een enorme tijdswinst en deuren openen naar periodieke metingen en daarmee efficiënt onderhoud.

Samenvatting

Binnen de asfaltbouwsector wordt het fenomeen verstopping waargenomen in Nederlandse poreuze asfaltverhardingen (ZOAB). Tijdens verstoppingen vult het wegdek het relatief hoge percentage holtes waar deze wegen voor zijn ontworpen. Verstoppingen worden vooral waargenomen op vluchtstroken, omdat bandenzuiging optreedt op reguliere rijstroken. Een verstopte bestrating presteert minder op de waterdoorlatendheid. De huidige methoden om verstopping te meten zijn meestal destructief (boorkernen), tijdrovend en twijfelachtig betrouwbaar (Becker-test). Momenteel worden asfaltverhardingen periodiek gereinigd terwijl de huidige staat van een verharding met betrekking tot verstoppingen nauwelijks bekend is. Om te streven naar efficiënter wegenonderhoud wordt gezocht naar een competente en niet-destructieve meetmethode om verstoppingen in te schatten. De Wegenscanners is een Nederlands wegenscanbedrijf dat GPR gebruikt om analyses uit te voeren op trottoirs om zo tot een beter wegbeheer voor hun klanten te komen. Dit onderzoek onderzoekt eerst de benodigde elementen voor GPR als nieuwe meetmethode voor verstoppingen. Het beschrijft de noodzakelijke stappen om GPR-gegevens om te zetten in schattingen van verstoppingen. Vervolgens wordt een interne validerende case study uitgevoerd op historische ZOAB-data van De Wegenscanners. Deze casus geeft duidelijk aan welke soort verstoppingen vooral op de vluchtstrook te verwachten zijn. Ten slotte worden meerdere externe validatiemethoden voorgescreven om GPR verder te vestigen als nieuw geaccepteerde verstoppingsmeetmethode.

Een opmerking van de redactie: Bij het uitbrengen van deze nieuwsbrief waren twee bachelor studenten nog bezig met het afronden van hun projecten. Hun werk zal in de volgende nieuwsbrief worden gepubliceerd. Hier zijn de namen van de studenten en de titels van hun projecten:

Nadhim Ghanim - Ground Penetrating Radar as an alternative method for measuring asphalt pavement density - begeleid door Hans Siedenburg (Roelofs), Qinshuo Shen en Seirgei Miller (ASPARi, UT)

Stefan Pozinerea - Evaluate and validate a basic Asphalt Structural Health Monitoring System using fiber optic sensors - begeleid door Mohammad Sadeghian en Seirgei Miller (ASPARi, UT)

Thalia completes her bachelor project - Paving and Compaction Support Systems - the status of implementation worldwide

Supervisors - Marco Oosterveld & Marjolein Galesloot (BAM) and Denis Makarov & Seirgei Miller (ASPARI, UT)

My name is Thalia Pilataxi and I am a third-year bachelor student at the University of Twente. I grow in Patate, which is a beautiful valley in Ecuador. Three years ago I came to the Netherlands and I had joy of living in Amsterdam for six months to do my Foundation Year, which definitely changed my perspective of life. After that, I moved to Enschede for my higher education studies. From a young age, I was taught the importance of being a good professional, which is something that I always keep present in my academic activities. In my free time, I like to spend time with my friends, dancing and singing. When I was in high school the construction processes started to capture my attention. However, I was not sure if study Architecture or Civil engineering. I decided to study Civil engineering because this discipline deals with the design and construction of physical infrastructures which fulfills the demands and desires of society. Through my studies, I have studied the important role of stakeholders and the concept of sustainability in each one of the construction processes. This is something that I would like to implement in my home country since these are essential topics which have not been discussed there.



up
the



The main topic of my bachelor thesis assignment is the status of the implementation of Intelligent Compaction systems worldwide. These are rollers with an integrated measuring system that consists of a GPS, accelerometer, onboard computer and infrared thermometers. The use of this technology for soil and asphalt compaction is increasing. However, its application for soil compaction is more advanced than for asphalt compaction. Therefore, the purpose of the study is to report the state of the art of IC systems used for asphalt construction worldwide. Also considering how they have been integrated for Quality Control (QA) and Quality Assurance (QA) purposes. I am very grateful with ASPARI for providing me with the opportunity to conduct my bachelor thesis assignment.

Samenvatting (Thalia was dapper genoeg om een Nederlandse samenvatting te geven)

Elk jaar investeren de private en publieke sector enorme bedragen in de wegenbouw omdat het een cruciale rol speelt in de wereldwijde transportinfrastructuur. Daarom is asfaltverwerking een proces dat nauwlettend in de gaten moet worden gehouden. In die zin zijn veel Intelligent Compaction Systemen (ICS) ontwikkeld om de machinisten te helpen tijdens hun werkzaamheden.

De huidige studie heeft tot doel de stand van de techniek van ICS wereldwijd te rapporteren. Dit doel kan worden bereikt door antwoord te geven op de vraag: Hoe kan de implementatie en adoptie van ICS voor asfaltverwerking worden versneld gezien de huidige benaderingen in ontwikkeling, contractuele vormen en voorschriften? Door gebruik te maken van verschillende onderzoeksmethoden (d.w.z. literatuuronderzoek, interviews, kwalitatieve analyse) kan de benodigde informatie worden verzameld om deze vraag te beantwoorden.

Het literatuuronderzoek was cruciaal voor deze studie omdat het verzamelen van informatie over ICS en de beschikbare oplossingen in de markt mogelijk maakte. Daarnaast richtte het onderzoek zich op de verschillen tussen ICS voor bodem en asfalt. Omdat het gebruik ervan achterloopt, vooral als het gaat om asfaltverdichting, was het mogelijk om bestaande oplossingen te identificeren vanuit een onderzoeks- en ontwikkelingsperspectief. Ook werden de bestaande specificaties en richtsnoeren voor de implementatie van ICS in wegenbouwprojecten uit verschillende regio's in de wereld geanalyseerd. De verzamelde informatie diende om de trends en opvattingen van de wegenbouw vanuit het perspectief van de klant te identificeren. Daarom diende deze informatie als basis voor het ontwikkelen van interviews die in dit onderzoek werden afgenomen met specialisten in de wegenbouwsector.

Er werden interviews afgenomen met specialisten uit de asfaltbouwsector (bijv. aannemers en machinefabrikanten). Vervolgens werd de verkregen informatie geanalyseerd en werden de instaat stellers en barrières voor de implementatie van hightechoplossingen vastgesteld. Om de enablers en barrières van deze technologieën te classificeren op basis van hun belang, werd een multi-criteria decision-making (MCDM) methode genaamd Best-Worst Method (BWM) toegepast. Er werden twee workshops georganiseerd om de nodige informatie op te halen voor het gebruik van de BWM. Derhalve maakte de techniek het mogelijk om de gewichten van de enablers en barrières te verkrijgen om ze in volgorde van belangrijkheid te categoriseren. Dit rapport concludeert dat de belangrijkste enabler voor het gebruik van ICS langdurige bestratingsprestaties zijn. Daarom is het belangrijk om deze enabler wijdverbreid te maken binnen de sector van de wegeninfrastructuur. Op die manier kan het gebruik van dergelijke technologieën worden verhoogd. Tegelijkertijd is de belangrijkste barrière Gesloten systemen voor integratie. Daarom is het belangrijk om deze barrière te overwinnen door gegevensoverdracht en communicatie tussen machines mogelijk te maken. Het is ook belangrijk om te focussen op het overwinnen van andere barrières, zoals: aanvullende training, verhoogde systeemkosten, aparte behandeling van verwerking en verdichting en de "mindset" van de machinist.

Op weg naar systematische asfaltverdichting - Evaluatie van temperatuurdrempels aan de hand van de verwerkbaarheid van asfalt - een bachelor project uitgevoerd door Wido de Witte

Begeleiders - Natascha Poeran en Berwich Sluer (Boskalis); Denis Makarov & Seirgei Miller (ASPARi, UT)

Samenvatting

Ontwikkelingen in de asfaltindustrie zorgen voor de behoefte om het asfalteerproces te professionaliseren. Een belangrijke stap in het asfalteerproces is het verdichten van het asfalt. Het verdichtingsproces is een belangrijke factor voor de asfaltkwaliteit en hierbij zijn er veel variabelen die rol spelen. Om het verdichtingsproces van asfalt beter te beheersen, wilt Boskalis een vaste methodiek ontwikkelen voor het verdichtingsproces.

Hierop heeft Boskalis een verwerkbaarheidsproef ontwikkeld waarmee de koppel-temperatuur relatie van een asfaltmengsel kan worden bepaald. Aan de hand van deze relatie worden temperatuurdrempels bepaald voor het verdichtingsproces. Echter, de uitkomsten van de verwerkbaarheidsproef zijn nog niet vergeleken met de praktijk. Het doel van dit onderzoek is om temperatuurdrempels te vergelijken en evalueren met veldmetingen en -observaties. De hoofdvraag van het onderzoek was: Welke relatie is er, indien aanwezig, tussen de verwerkbaarheidsgrens van een asfaltmengsel bepaald in het laboratorium, en de (streef)dichtheid bepaald in het veld?



De opzet van het onderzoek bestond uit verwerkbaarheidsproeven en dichtheidsprogressiemetingen. Deze zijn parallel aan elkaar verricht. Vervolgens zijn met de resultaten van de verwerkbaarheidsproef en een rekenmodel van Boskalis twee temperatuurdrempels bepaald. Uiteindelijk zijn de dichtheidsprogressie en het verdichtingsproces geanalyseerd ten opzichte van de temperatuurdrempels.

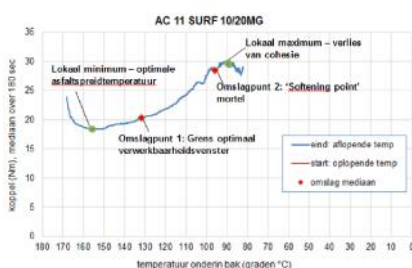
De dichtheidsprogressie is aan het begin van het verdichtingsproces groter dan tegen het eind van de meting. Walsovergangen boven de tweede temperatuurdrempel zijn effectiever dan daaronder, variërend van 3,5 tot 58,7 kg/m³ per walsovergang. De streefdichtheid wordt bij alle veldmetingen bereikt. Hiervoor is het niet noodzakelijk dat voor de eerste temperatuurdrempel wordt begonnen en/of dat na de tweede temperatuurdrempel wordt doorgedaan met walsen. De dichtheid neemt na de tweede temperatuurdrempel 84 tot 167 kg/m³ toe.

Het verdichtingsproces vindt op een lagere temperatuur plaats ten opzichte van de temperatuurdrempels. De temperatuur van het asfalt kan bij het aanleggen tientallen graden Celsius dalen en vertoont spreiding over de hoogte. Verder komt de afkoeling van het asfalt redelijk overeen met het afkoelingsmodel *PaveCool*. De wals strategie is op het type wals na inconsistent. Er wordt geen rekening gehouden met temperatuur (drempels) en de frequentie van walsovergangen.

Meerdere beperkingen in de uitvoering, data en analyse zijn van invloed op de kwaliteit en kwantiteit van de data in dit onderzoek. De belangrijkste beperking was de grote mate van ontmenging van het asfaltmengsel tijdens de verwerkbaarheidsproef. Die werd naarmate de proef voortduurde steeds groter en maakt het gemeten koppel minder representatief.

De conclusie van het onderzoek is dat er een relatie is tussen de temperatuurdrempels en de dichtheidsprogressie maar deze is beperkt en dient verder onderzocht te worden. Vastgesteld kan worden dat walsovergangen effectiever zijn boven de tweede temperatuurdrempel dan daaronder. De dichtheidsprogressie en het behalen van de streefdichtheid blijft mogelijk na de tweede temperatuurdrempel. Volgens het literatuuronderzoek zou dit wel ten koste kunnen gaan van de asfaltkwaliteit.

De belangrijkste aanbeveling van het onderzoek is om de verwerkbaarheidsproef verder te ontwikkelen en onderzoeken. Problemen met ontmenging en beperkingen in de dataverzameling moeten worden verholpen. Verder zou in het vervolg ook de mechanische eigenschappen worden meegenomen om meer inzicht in de asfaltkwaliteit te krijgen. Daarnaast wordt aanbevolen om in het verdichtingsproces meer rekening te houden met een snelle temperatuurafname en daarmee het gunstige verdichtingsvenster kort is. In het onderzoek zijn verder nog specifieke aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.



Guus Harmse is afgestudeerd - Het non-destructief meten van de laagdikte van asfalt tijdens het verwerkingsproces — een onderzoek naar de technologische gereedheid en de benodigde ontwikkelingen voor het non-destructief meten van de laagdikte van asfalt

Master student Guus Harmsen voerde zijn afstudeerproject uit onder supervisie van Mink Jaap Ypman en André Bakker bij Van Gelder, en André Dorée en Seirgei Miller van de UT.

Guus Harmsen heeft verschillende niet-destructieve technologieën bestudeerd die potentieel aantonen voor het bewaken van de dikte van de asfaltlaag tijdens verhardingswerkzaamheden, aangezien dit een aanzienlijke invloed heeft op de kwaliteit en de kosten van de aangelegde asfaltlaag. Aan de hand van een gedetailleerde beoordeling van de technologiefunctionaliteit, ondersteund door interviews met experts, stelt Guus dat het monitoren van de laagdikte gestandaardiseerd moet worden om aan de specificaties te voldoen en de asfaltlaagdikte te beheersen. Terwijl zijn resultaten aantonen dat Ground Penetrating Radar (GPR), laserscanner (LIDAR) en magnetische beeldvorming topografie (MIT) scanner hebben een groot potentieel voor het meten van laagdikte tijdens bestratingswerkzaamheden, verschillende uitdagingen moeten worden opgelost om klaar te zijn voor toepassing in de praktijk. Met een Roadmap-aanpak geeft Guus de weg aan voor sectorbrede standaardisatie van het monitoren van asfaltlaagdikte tijdens verhardingen.

Samenvatting

In de afgelopen jaren zijn significante vorderingen gemaakt in het beter beheersbaar maken van het asfaltverwerkingsproces en de daarbij behorende kwaliteitsparameters. Dit heeft geresulteerd in de ontwikkeling van diverse non-destructieve technologieën, die in staat zijn om kwaliteitsparameters tijdens het asfaltverwerkingsproces te kunnen monitoren. Het monitoren van de kwaliteitsparameters geeft inzicht in de kwaliteit van het asfaltverwerkingsproces en daarbij de kwaliteit van het asfaltproduct. Van de belangrijke kwaliteitsparameters is de laagdikte van een asfaltverharding. Voldoende laagdikte is cruciaal voor het behalen van voldoende verdichting in de asfaltlaag, wat weer effect heeft op de algehele kwaliteit van de asfaltverharding en uiteindelijk de levensduur. Desondanks dat men zich bewust is van de invloed van laagdikte, wordt deze nauwelijks gemonitord tijdens het verwerkingsproces.



De conventionele methode voor het controleren van de laagdikte is het nemen van boorkernen. Deze methode heeft diverse nadelen. Het voornaamste nadeel is het late moment van uitvoeren, waardoor eventuele afwijkingen pas worden gedetecteerd als het verwerkingsproces gereed is. Daarnaast geeft een boorkern steekproefsgewijs inzicht in de laagdikte van een asfaltverharding en is daarom niet representatief voor de laagdikte van de gehele asfaltverharding. Bovendien wordt het asfalt beschadigd door het destructieve karakter van het boren van kernen.

Door de laagdikte niet te monitoren tijdens het verwerkingsproces komt het nog regelmatig voor dat men te laat een afwijking constateert in de laagdikte ten opzichte van de gewenste laagdikte. Dit kan verstrekken gevolgen hebben voor een opdrachtgever en opdrachtnemer. Bij een negatieve afwijking kan de opdrachtnemer, veelal een aannemer, verplicht worden om de verhardingslaag opnieuw aan te brengen of te overlagen. Bij een positieve laagdikte overschrijding wordt teveel materiaal gebruikt, wat leidt tot materiaalverspilling. Al deze gevolgen hebben een negatief effect op de winstgevendheid van het project. Het moeten herstellen van de laagdikte en het overtollige materiaalgebruik past daarnaast niet in een steeds duurzamer wordende sector.

Vanwege de trend in het monitoren van de kwaliteitsparameters van het asfaltverwerkingsproces en de gevolgen van een afwijking in de laagdikte heeft de aannemer Van Gelder, samen met ASPARi, een onderzoek geïnitieerd. Dit onderzoek is gericht op het creëren van een overzicht van de huidige stand van zaken van technologieën, die in staat zijn om de laagdikte van een nieuw geasfalteerde asfaltverharding te monitoren tijdens het verwerkingsproces. In dit onderzoek wordt aan de hand van het overzicht van de beschikbare technologieën een stappenplan opgezet om één van de technologieën te kunnen adopteren in de praktijk. Dit stappenplan moet ervoor zorgen dat de technologieën verder ontwikkeld worden en in de toekomst gereed zijn voor het kunnen monitoren van de laagdikte van een asfaltverharding tijdens het verwerkingsproces.

In overleg met diverse experts op het gebied van kwaliteitscontroles, het verwerkingsproces en technologie ontwikkeling zijn functionele aspecten opgesteld waaraan een potentiële technologie dient te voldoen. Deze functionele aspecten dienen als de kaders van dit onderzoek en kunnen gebruikt worden om de diverse technologieën te beoordelen op potentie voor de adoptie in de praktijk. De functionele aspecten zijn:

- Non-destructiviteit: het kunnen meten van de laagdikte zonder de asfaltverharding te beschadigen.
- Bruikbaarheid: toepasbaar op een spreidmachine en bestand tegen de procesomstandigheden.
- Geschiktheid data: voldoende en eenvoudig te interpreteren data wat representatief is voor de laagdikte van de gehele asfaltverharding.
- Nauwkeurigheid data: voldoende nauwkeurigheid in de data ten behoeve van een kwaliteitscontrole.
- Toepasbaarheid: minimale invloeden van verstoringen en daarmee breed toepasbaar bij verschillende omstandigheden en asfaltsoorten.
- Afhankelijkheid: mate van afhankelijkheid van andere technologieën en activiteiten.
- Technologische gereedheid: omvang en haalbaarheid van de benodigde ontwikkelingen.

In dit onderzoek zijn in totaal een zestal technologieën geanalyseerd, op basis van hun potentiële toegevoegde waarde in het verwerkingsproces voor het kunnen meten van de laagdikte van asfalt. Deze technologieën zijn: de grondradarscan (GPR), de laserscan (LIDAR), Stress Wave technologieën, de valgewicht deflectiemeter, de MIT-scanner en in-asfalt sensoren. Al deze zes technologieën zijn geanalyseerd op basis van de eerder genoemde functionele aspecten. Deze analyse is uitgevoerd op basis van data uit een semigestructureerd literatuuronderzoek en expert interviews.

In het literatuuronderzoek is gefocust op het verzamelen van relevante wetenschappelijke artikelen, boeken en andere soorten literatuur. De bevindingen uit de geanalyseerde literatuur zijn vervolgens gevalideerd door verschillende experts, afkomstig van aannemers, opdrachtgevers, technologie specialisten en onderzoekers. Deze validatie is gebruikt om de data te bevestigen, tegen te spreken en aan te vullen. Dit heeft geresulteerd in een compleet overzicht van de potentie van de technologieën voor het meten van laagdikte. Aan de hand van de verzamelde data uit het literatuuronderzoek en de expert interviews zijn de verschillende technologieën beoordeeld op basis van de potentie voor het kunnen meten van laagdikte tijdens het verwerkingsproces. Deze beoordeling is uitgevoerd op basis van een eliminatiestrategie, waarin de geanalyseerde technologieën worden geëlimineerd als ze geen/nauwelijks potentie vertonen op de eerder genoemde functionele aspecten. Dit heeft geresulteerd in de eliminatie van drie technologieën, namelijk de Stress Wave technologieën, de valgewicht deflectiemeter en de in-asfalt sensoren. Voor de overgebleven grondradarscan, de laserscan en de MIT-scan is een roadmap gecreëerd ten behoeve van het ontwikkelen van de technologieën voor de uiteindelijke adoptie in de praktijk.

De ontwikkelde roadmap is gebaseerd op drie verschillende scenario's, die afhankelijk zijn van de keuze van één van de drie technologieën. Deze keuze kan gebaseerd zijn op de beschikbare kennis en ervaring, de financiële middelen of het doel van de meting. Uiteindelijk kan door de stappen in de roadmap te volgen een technologie volledig ontwikkeld en succesvol geadopteerd worden in de praktijk voor het kunnen meten van de laagdikte van asfalt tijdens het verwerkingsproces. De belangrijkste conclusie van dit onderzoek is daarbij dan ook dat de technologieën momenteel zodanig zijn ontwikkeld dat men kan starten met de ontwikkeling van één van deze technologieën door een pilotproject op te zetten. Dit moet uiteindelijk leiden tot de standaardisatie van het monitoren van laagdikte tijdens het verwerkingsproces. Om dit te realiseren dient men de technologieën eerst verder te ontwikkelen om de volgende specifieke hoofddoelen te bereiken:

- Het kunnen toepassen van de technologie op de spreidmachine en tijdens het verwerkingsproces.
- Verkrijgen van nauwkeurige data uit de non-destructieve metingen (incl. koppeling met de positie).
- Minimaliseren van de gevoeligheid voor verstoringen uit de ondergrond en de omgeving.
- Automatisch kunnen verwerken en presenteren van data tijdens het verwerkingsproces.
- Het creëren van vertrouwen voor een sector brede en succesvolle adoptie in de praktijk.

New Ontology Development project started this year Introducing the PDEng candidate responsible for it



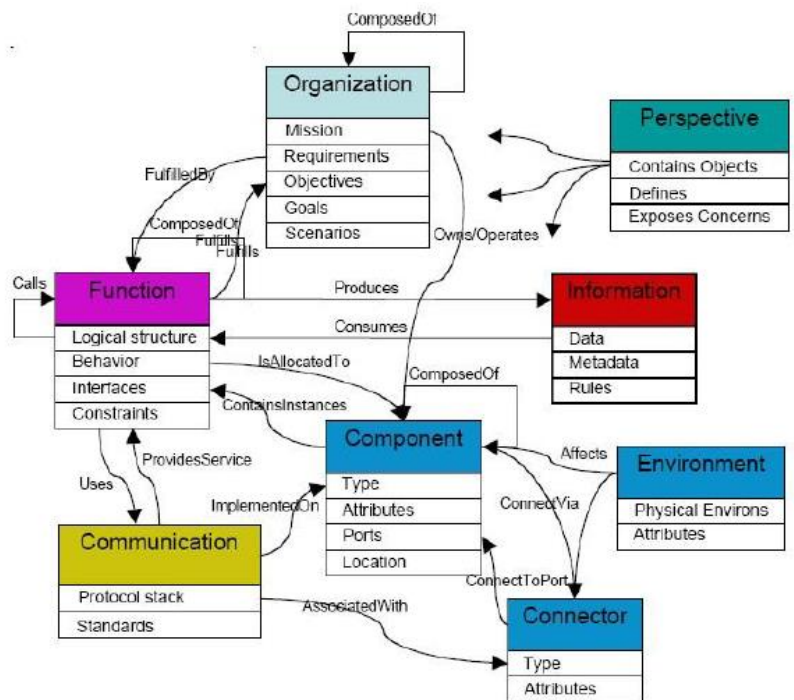
My name is Mohammad Sadeghian and I am 26 years old. I was born in Tehran, the capital and biggest city of Iran. Living in a big city has several advantages of facilities, job opportunities and better medical services, but I am a person who can give up all of the advantages of living in a big city to seek a new adventure in life. I believe that new experiences are the best teachers and I never forget this sentence from Brian Tracy “Every experience in your life is being orchestrated to teach you something you need to know to move forward”. Like always, I started a new chapter in my life that put me here to write an introductory article in ASPARi newsletter.

Growing up in an atmosphere in which seeking knowledge and pursuing education to the highest degrees are highly appreciated, I was always driven to go after uncharted territories of science. I had always been fascinated by the modern architecture and the science that enabled the proliferation of high-rises, bridges, and roads. I came to believe that we owe our societal progress to breakthroughs in engineering and the advances in civil engineering have changed our lives, leading us to more safe and comfortable urban life. It was no surprise that I chose to study Civil Engineering in college. Getting into a decent civil engineering program is very challenging in Iran, given the high demand in the market as the country is reshaping its infrastructure and improving its urban environment. Going through a competitive national university entrance exam, I was admitted to the Civil Engineering program at the University of Science and Culture.

Living in Tehran, a megacity with several problems in design, construction and rehabilitation of the road infrastructure, I decided to study Road and Transportation engineering upon graduation. I always try to reach the best in my life, so for my master’s degree, I could get admission from the University of Tehran which is the most prestigious and the oldest university in Iran in my favorite program, Road and Transportation engineering. Since the beginning of M.Sc. program, novelty, interdisciplinarity, diverse applicability, and rapid development of asphalt recovery have attracted my interest; therefore, I narrowed down the topic of my studies to this area. For the master’s thesis, I decided to concentrate on asphalt recovery because I could increase my knowledge in asphalt technology which absorbed me in the first year of M.Sc. program.

After three years of master’s study at the University of Tehran, I realized that I would like to become an expert in pavement engineering; however, studying in Iran could not enhance my knowledge anymore. That’s why I started to apply for some pavement engineering position abroad and fortunately, I found a PDEng position at the University of Twente in the Netherlands. In this position, I have an invaluable chance to visit some construction companies of ASPARi and work with them.

It has been a few months since I arrived here in Enschede. The University of Twente has the biggest and one of the most beautiful campuses in the Netherlands and I am so pleased to working here as a PDEng candidate. Under the supervision of dr. S. R. Miller, dr. F. Vahdatikhak and prof. A. G. Dorée, I am going to develop an ontology for life-cycle data management support and I am looking forward to working with every ASPARi member in these two years.



Ed. Note - Mohammad’s ASPARi supervisory committee is made up of Marco Oosterveld (BAM), Jasper Keizer (KWS) and Berwich Sluer (Boskalis). Also, congratulations to Mohammad for passing his PDEng qualifier on 23 December 2021. Enjoy the rest of your design project!

Inga Maria starts her PDEng project - Developing a Lifecycle Digital Twin for asphalt



My name is Inga Maria Giorgadze and I was born in Tbilisi, the capital of Georgia. At a young age, my family moved to Greece, where I grew up, in a small city in the north. In Greece, I studied civil engineering and I gained specialization in transportation engineering. After my graduation, I worked for a year in a small construction company where I was assessing the residual load capacity of existing buildings. Both my studies and working experience have been focused on the technical part of civil engineering, hence I felt that I miss a holistic view regarding how big construction projects are developed. Therefore, I decided to expand my knowledge regarding the construction management field.

I moved to the Netherlands in September 2018 to study Construction Management & Engineering at the University of Twente. During my studies, I explored different aspects related to large construction projects, but the use of digital technologies was the aspect that intrigued me the most. Therefore, I followed several courses and built my master's profile focusing on digital technologies, with an ultimate master thesis in the topic of Digital Twin. During my thesis, I explored the required data architecture for Lifecycle Digital Twins for bridges. I examined the different lifecycle information needs, deriving from different disciplines, and I proposed a data architecture, in other words, an ontology to appropriately map this information in a model.

Currently, I am enthusiastic to expand my research in the field of Lifecycle Digital Twin during my PDEng program. Regarding the infrastructure sector, the use of digital twin is driven by the as-is condition data, missing a systematic and consistent link with the previous lifecycle phases. For a complete lifecycle approach, it is important to maintain a concise data structure and integrate the design, construction, operation, and maintenance data. My research aims to address that gap and explore the appropriate ways to capture, store and visualize the different failure modes involved in the lifecycle of the asphalt. During that exploration, it is necessary to consider the different levels of detail regarding the granularity of data, as well as the temporal aspect of the failure modes' propagation.

Overall, the expected result of my research is a proposed methodology to systematically capture, store and visualize the asphalt condition data for different levels of details, in a concise way with previous lifecycle phases. Alongside the proposed methodology, a proof of concept is going to be developed through a prototype visualization. The prototype will allow users to navigate through different levels of data aggregation and export condition data about some failure modes in different levels of detail. An envisionment of the final prototype can be seen in the following Figures 1 & 2, where the aggregated condition data can be stored in large roadblock segments (Figure 1), while for each roadblock segment, it will be possible to navigate through the different failure mode entities separately (Figure 2).



Figure 1. Visualization of aggregated data in roadblocks

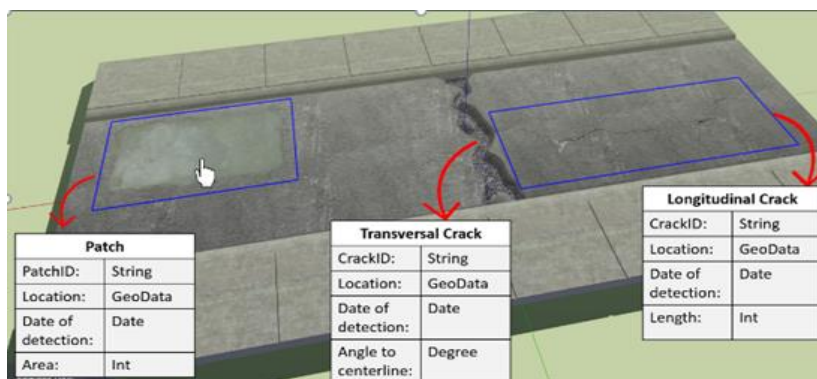


Figure 2. Visualization of disaggregated data for each roadblock

PhD candidate Angie Ruiz Robles is studying the implementation of sustainable innovations in the asphalt sector

My name is Angie Lorena Ruiz Robles. I grew up in a community within the main refineries in Colombia and the only asphalt producer in the country. My father worked for the Colombian Petroleum Company and, as a result, I spent my childhood listening to stories about petroleum, gasoline, and asphalt, which is why I have always been curious about pavements.

I hold a bachelor's degree in civil engineering and a master's degree in civil engineering with an emphasis on road infrastructure from Universidad de los Andes, in Bogotá, Colombia. Before pursuing my master's degree, I did an internship at CEMEX, a multinational building materials company. During this period, I provided support and assistance for the development of pavement design proposals.

While I was doing my master's, I worked as a Research Assistant in the construction management group of the Department of Civil and Environmental Engineering. During this time, I conducted studies related to sustainable practices focused on how to successfully manage and develop road infrastructure projects by applying system dynamics and decision-making approaches. After my master's, I kept working at Universidad de los Andes supporting a research project focused on evaluating carbon abatement strategies in the Colombian social housing sector. My experience has been fundamental to understanding the importance of analyzing infrastructure components from systemic perspectives if we want to find efficient solutions that contribute to the sustainability of the sector.

My PhD project, in collaboration with Rijkswaterstaat and TNO, aims to contribute to the understanding of the system behind the implementation of sustainable innovations in the asphalt sector, including the interactions among actors involved in the development of projects. Specifically, it seeks to develop a guideline for stakeholders to speed up the implementation of these innovations. For this, it will have an exploratory phase to identify the main factors that affect the implementation of the innovations and the dynamics among them, following a Complex Adaptive System approach. The final phase is focused on developing strategies that lead the asphalt sector to be more sustainable.

Ed. Note - Angie passed her PhD qualifier on 16 December. Congratulations and good luck with the rest of your doctoral research journey.



ASPARi-crew aan het trainen

Zoals vermeld op de voorpagina van deze nieuwsbrief, zal Denis Makarov ons binnenkort verlaten. Om ervoor te zorgen dat we nog steeds expertise op het gebied van PQi-dataverzameling in de eenheid hebben (wel een tijdelijke oplossing), werd Qinshuo Shen, Mohammad Sadeghian en Inga Maria Giorgadze getraind door Denis en betrokken bij de laatste paar PQi-oefeningen van 2021. De drie PDEng-kandidaten namen het een stap verder en organiseerden een PQi-sessie met TWW, zodat ze het geleerde op een echte bouwplaats konden implementeren. Dit uiteraard zonder de hulp en betrokkenheid van Denis. Dank aan Chiel Harmse en Gert Joesten van TWW die de mogelijkheid hebben geboden op hun Losser—Oldenzaal N734 contract. Hier zijn enkele foto's gemaakt op de bouwplaats.

