



ASPARi

Paving the way forward

PAVING THE WAY FORWARD

The Asphalt Process Newsletter

Vol 2 - October 2019

Beste collega's en vrienden,

Nog een editie van de ASPARi nieuwsbrief voor uw leesplezier. De tweede Opdrachtgeversdag is recentelijk succesvol gehouden op het SOMA complex te Harderwijk met ruim 90 personen aanwezig. Babs Ernst geeft een samenvatting van een zeer interactieve bijeenkomst. Bachelor studenten Chris van der Pol, Samuel Rutten en Niels Hop hebben hun bachelor projecten succesvol afgerond en beschrijven wat ze gedaan hebben.

Een eerste onderzoek naar de toepasbaarheid van drones in onze PQi methodiek, is uitgevoerd door afgestudeerde master student Shiao Sun. Denis Makarov en Afshin Jamshidi zijn druk met een nieuwe procesbeheersing systeem voor asfalt verwerking. Denis geeft een stand van zaken door.

Als het gaat om PDEng projecten, Janine Profijt is terug en heeft het volgende bericht gestuurd "Nadat het traject een tijdje vanwege omstandigheden stil kwam te liggen ben ik in januari weer begonnen met het afronden van mijn mbo onderwijs project. Een aantal studiepunten zijn binnen gehaald en feedback op de laatste versie van het keuzedeel is verwerkt. Daarnaast is er een examen gemaakt voor niveau 2, 3 en één voor niveau 4. Alle nieuwste versies staan in de Dropbox. Neem contact met mij op voor toegang tot deze Dropbox. Op dit moment werk ik aan mijn eindrapport en verwacht in januari dit project af te kunnen ronden."

"Save the dates" - Priya Darshini verdedigt haar PDEng project "Developing guided operational strategies for Asphalt Compaction" om 15.30 op donderdag 28 november 2019. De locatie op de Universiteit Twente wordt nog bekend gemaakt. De jaarlijkse ASPARi mini-symposium vindt plaats op 4 december 2019 vanaf 09.00 op de SOMA campus te Harderwijk. Aanmelden kan via J.H.J.Nijhof@utwente.nl

Met vriendelijke groet,

Seirgei

In deze editie ...

- Opdrachtgeversdag een succes
- Samenvattingen bachelor projecten
- Ontwikkeling van een nieuwe real-time procesbeheersing systeem
- Drones gebruiken in PQi metingen



2019 Opdrachtgeversdag een success

Babs Ernst

Op donderdag 26 *september* mocht de tweede ASPARi-opdrachtgeversdag plaatsvinden met maar liefst 90 aanmeldingen. Frank Bijleveld heette als dagvoorzitter iedereen welkom en gaf aan dat het doel van deze dag was om te informeren over de ruim 10 jaar aan ASPARi-ervaringen en om kennis uit te wisselen tussen opdrachtgevers onderling en opdrachtgevers en opdrachtnemers doormiddel van sprekers, demonstraties en stellingen.

De eerste spreker die hierbij het woord kreeg was André Dorée, wie kort in ging op de afgelopen 12 jaar ASPARi en wat er bereikt is in deze 12 jaar en werpt een blik op de toekomst. Hij vertelt dat er in 15 landen en 3 continenten al proefprojecten gedaan zijn. Zaken die echter nu van belang zijn, zijn volgens hem het Asfalt-Impuls, met aantoonbaar duurzaam asfalt, en het Programma Aanpak Stikstof. De rol van de opdrachtgevers is hierbij belangrijk en hij verwacht dat duurzaamheid steeds meer geconcretiseerd zal worden, met bijvoorbeeld asfalt labels. Dit zou het mogelijk maken om mensen met minder inzicht in asfalt om de wegen te beoordelen. Ook noemt hij rolweerstand als 'new kid on the block' om rekening mee te houden. Nadat hij deze domeinzaken waarvan hij verwacht dat ze van belang worden genoemd heeft, eindigt zijn praatje met een korte maar interessante discussie over toekomst, autonomie en asfalt als duurzaam product.



Hierna neemt Seirgei Miller het stokje over, met een praatje over de historie van ASPARi. Hij start met de PQI-methodiek, waarbij hij stelt dat meten weten is en dat zo de homogeniteit van het asfalt verbeterd kan worden. De technologie om het asfalterproces expliciet te maken gaat keihard qua ontwikkelingen, maar het is vaak niet real-time maar met vertraging. Ook worden de cabines steeds complexer waardoor er informatie overload optreedt. De suggestie van Seirgei is om het KISS principe toe te passen (Keep It Straight and Simple), waarbij vanuit de machinist benadert wordt, namelijk niet storend, real-time, gekoppeld aan andere systemen, robuust en gestandaardiseerd. Tot slot spreekt hij over ASPARi 4.0, waarbij de variabiliteit en de levensduur, de vernieuwing van de PQI-methodiek, het hbo-onderwijs, kennisoverdracht, standaardisatie, simulatietools en levensduur voorspelling centraal staan.



Hans Siedenburg van Roelofs neemt vervolgens het woord, met een interessant verhaal over de ervaringen van Roelofs en ASPARi. Roelofs heeft de afgelopen jaren metingen gedaan met ASPARi-technologieën en toont hierbij wat ze hierbij gemeten hebben, wat er goed ging bij het asfalteren, wat er soms ook misging en hoe de asfaltploeg hierop reageerde. Aldus Hans is de toekomst om een model per asfalttype te maken, al is dit lastig door vele variabelen. Het zou moeten dienen als een richtlijn waardoor er in real-time

info aangeleverd zou kunnen worden, waardoor er op tijd bijgestuurd zou kunnen worden. Dit zorgt voor kwaliteitsborging, gegevens die deelbaar zijn met de opdrachtgever, minder destructief onderzoek achteraf en een groter vertrouwen in de beoogde kwaliteit.

Ook Robbin Veenema van Rijkswaterstaat gaat in op zijn ervaringen met ASPARi. Hij spreekt over waarom ASPARi ingezet dient te worden en mogelijkheden op het vlak van contracten proefvakken en monitoring. Rijkswaterstaat onderzoekt of snelwegen stiller, veiliger, comfortabeler en kosten efficiënter kunnen zijn, waarvoor ze proefvakken aanleggen. Dit goed gemonitord zou kunnen worden door ASPARi-technologie. Hans noemt vervolgens de ontwikkelingen vanuit Rijkswaterstaat. Ze hebben niet al te lang geleden InlinePave gevalideerd, waarbij twee lagen asfalt warm op warm aangelegd worden. Ook monitoren ze vanuit ASPARi-data. Hij noemt hierbij als voorbeeld LAM (Levensduurvoorspellend Asfalt Model) van het Asfalt-Impuls. Ook de aanbevelingen van de vorige opdrachtgeversdag worden genoemd. Hans vindt dat er al grote stappen gemaakt zijn en dat, vooruitkijkend, er gesteld kan worden dat de ASPARi-standaard toegepast moet worden bij projecten voor de optimalisatie van het aanleg proces. Ook Jordan van Scheers van de Gemeente Rotterdam komt voor de lunch nog aan bod. Bij de gemeente Rotterdam houden ze zich bezig met het vinden van een gebalanceerde en gestandaardiseerde uitvraag op het gebied van asfaltsluiting, nieuwe technologieën, flexibel zijn voor verschillende contractverleningen en flexibel zijn voor bepaalde aandachtspunten. Hij noemt hierbij als probleem dat nieuwe technologieën te weinig ingezet worden, wat volgens hem zit in de onbekendheid ervan bij de opdrachtgevers waardoor ze niet uitgevraagd worden. Hij merkt ook op dat voor opdrachtnemers er juist te weinig eenduidigheid is in de opdrachten, waardoor investeren lastig is. Er wordt hierbij een vraag gesteld uit het publiek of het dan wel het probleem is van de opdrachtgever en of de aannemers niet de technologieën meer onder de aandacht moeten brengen. Jordan stelt hierbij een plan van aanpak voor, namelijk een standaard uitvraag te creëren dat voor iedereen past. De werkgroep High Tech Low Cost is hiermee bezig en zoekt hier nog mensen voor. Indien er interesse is, kan er contact met hem opgenomen worden.



Tijdens de lunch werd er een demonstratie gegeven vanuit ASPARi door Dennis Makarov, Afshin Jamshidi en de asfaltploeg van Twentse Weg en Waterbouw. Het doel hiervan was om te tonen hoe de data over het asfalteren in real-time weergegeven kon worden.

Na de lunch konden de deelnemers kiezen tussen twee parallelsessies. Eén parallelsessie werd gegeven door Marco Oosterveld

namens Bam Infra en de gemeente Den Haag, van wie helaas geen vertegenwoordigers aanwezig konden zijn. Bij deze parallelsessie vertelde hij over de werkwijze van BAM op het gebied van technologie. Hierbij zijn een langere levensduur, lagere life-cycle kosten en dergelijke van belang. BAM richt zich erg op het proces omdat daar veel te winnen valt en Marco wil hierbij de specifieke nadruk leggen op teamwork, omdat daar nog weinig over gezegd is deze dag. De worsteling is echter voor BAM dat ze veel machines en veel personeel hebben. Als je dan de ambitie hebt om alles te monitoren, dan moet je heel veel investeren. Als groot bedrijf moet BAM keuzes maken, wil je alles of wil je enkele ploegen? Merk gebonden of niet merk gebonden? Proces aanpassen aan de techniek of maatwerk op het bam proces? Wat doe je met de (grote hoeveelheid) data? BAM heeft hierop een vast asfaltteam aangesteld in Den Haag, waardoor ze een vast format konden gebruiken om de data te presenteren. Ook worden er steeds meer technologieën toegepast en Marco noemt welke technologieën op het moment door BAM ingezet worden. Maar wat wil je dan vervolgens aanleveren aan de opdrachtgever? Risicovolle events? Alles? Over al deze onderwerpen waren stellingen opgesteld die voorgelegd werden aan de deelnemers waar ze in groepjes over konden discussiëren. Deze antwoorden op deze stellingen worden teruggekoppeld via de mail aan de deelnemers.





Bij de andere parallelsessie, ASPARi in Apeldoorn wordt door Robert Rouwenhorst verteld over hoe ASPARi toegepast wordt in 4 projecten. De ervaringen hiermee zijn dat de aannemer en opdrachtgever het werk beter kennen, maar niet alle ervaringen waren positief. Soms ligt het niet aan ASPARi maar soms ligt het aan het mengsel. Dat kan wel worden aangewezen door ASPARi. ASPARi voorkomt niet, maar wijst wel aan. Bitumen blijft een lastig punt voor zowel op-

drachtgever als opdrachtnemer. Ook hier werd de zaal opgedeeld in groepen, waarbij meerdere stellingen voorgelegd werden over kwaliteitscontrole, ASPARi, RAW en EMVI en over de rol van opdrachtgever en aannemer.

Tot slot neemt Frank Bijleveld weer het woord om de dag af te ronden. Er wordt nog kort nabesproken hoe de dag was en er worden nog wat stellingen voorgelegd om op te stemmen. Tot slot wordt er nog afgesloten met een borrel.



Opdrachtgevers en studenten van de SOMA college bij de demonstratie



Een groep aan het werken tijdens de parallel sessies

De implementatie van een proces management tool om de kwaliteit en efficiëntie van het asfalt proces te verbeteren

Niels Hop (BSc project bij TWW uitgevoerd)

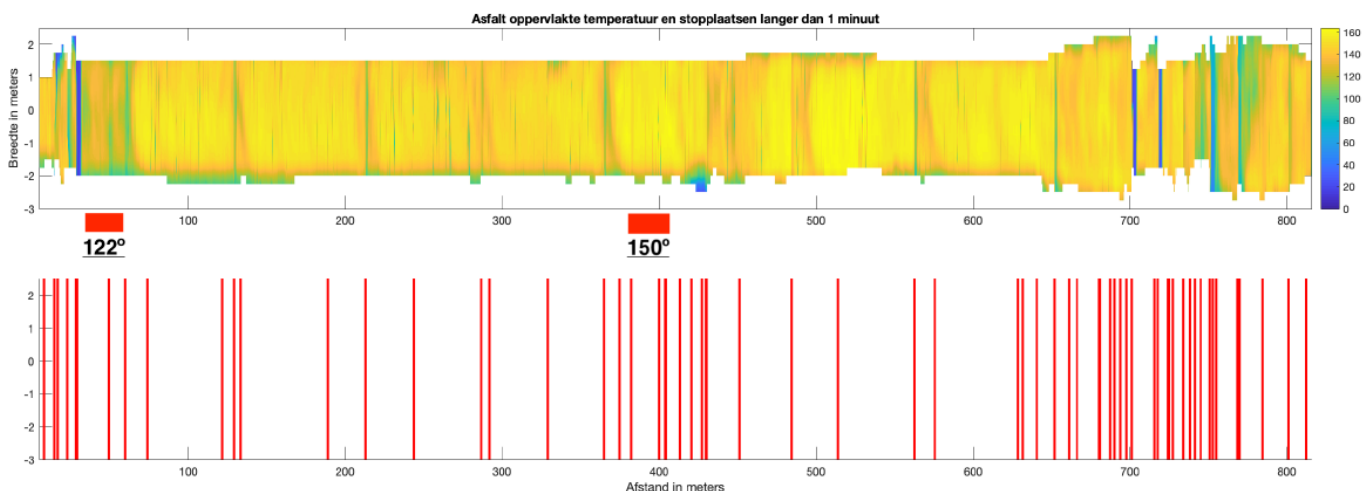
Door nieuwe contracten in de wegenbouw sector verschuiven de verantwoordelijkheden van de opdrachtnemer en wordt de garantieperiode van het asfalt verlengd. De opdrachtnemer is in steeds meer gevallen ook verantwoordelijk voor het onderhoud van het wegdek. Om concurrerend te blijven en de onderhoudskosten te minimaliseren, is het van belang om het asfaltverwerkingsproces te optimaliseren. Hierdoor daalt de variabiliteit, waardoor de kwaliteit stijgt. Door nieuwe technologie te gebruiken is het mogelijk om de belangrijke procesparameters beter te beheersen, zoals temperatuur- en verdichtingshomogeniteit. Hogere temperatuurhomogeniteit en minder variatie in verdichting kan bereikt worden door het gebruik van nieuwe technologie. Het huidige probleem is de adoptie van nieuwe technologie binnen een asfaltploeg, omdat werkmethoden gebaseerd zijn op vakmanschap en standaardpraktijken en weinig gebruik wordt gemaakt van nieuwe technologie, zoals GPS en temperatuur thermografie. Dit onderzoek draagt bij aan de discussie van de adoptie van nieuwe technologie.

Het doel van dit onderzoek is om een implementatiemethode op basis van reflectief leren te ontwikkelen die bijdraagt aan het gebruik van nieuwe technologie binnen de asfaltploeg. Hiervoor zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. Welke implementatiemethode is geschikt om toe te passen binnen een asfalt ploeg en hoe kan de toepassing van de methode getoetst worden?
2. Hoe wordt de implementatiemethode toegepast binnen de asfaltploeg?
3. Wat kan geleerd worden van de analyse van de implementatie van een procesmanagement tool?

Om antwoord te geven op de onderzoeksvragen is een literatuurstudie uitgevoerd, zijn er enquêtes afgenomen en observaties gedaan. De implementatiemethode is toegepast binnen een asfaltploeg om te onderzoeken in hoeverre de methode invloed heeft op gebruik van de technologie. Uit de resultaten is naar voren gekomen dat de gegevens uit WITOS niet aansluiten bij de werkmethoden van de asfaltploeg. De asfaltploeg beschouwd een project als succesvol afgerond als de verdichting behaald is (verkregen door kerndichtheid metingen). Hoewel het WITOS systeem gegevens en grafieken biedt omtrent de asfalt logistiek en temperatuur homogeniteit, biedt het geen verdichtingsgegevens. Hierdoor was het niet mogelijk om op basis van reflectie tot nieuwe inzichten te komen om de kwaliteit te verbeteren.

Op basis van deze resultaten wordt het aanbevolen om de toepassing van de implementatiemethode voort te zetten en het gat tussen de beschikbare gegevens en de werkmethode van de asfaltploeg te verkleinen. Met deze aanbevelingen heeft de implementatiemethode een kans van slagen. Hierdoor zal er meer met het WITOS systeem gewerkt worden en wordt er bijgedragen aan een efficiënter asfaltverwerkingsproces. Er zijn ook een aantal aanbevelingen richting Wirtgen, de maker van de WITOS software. De interface van WITOS en de gebruiksvriendelijkheid moeten verbeterd worden om de acceptatie van de huidige technologie niet tegen te laten houden door de verminderde gebruiksvriendelijkheid.



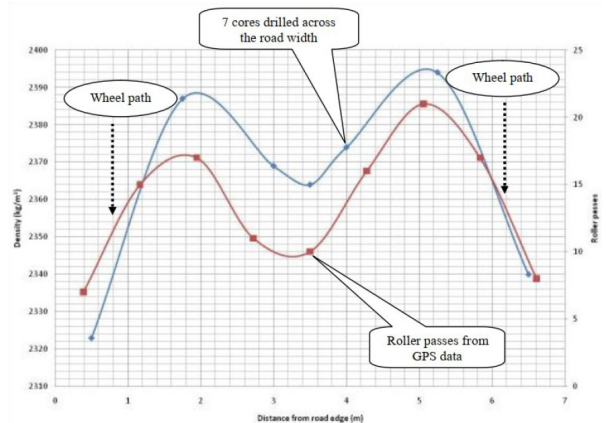
Typische Temperatuur Contour Plot (TCP) en stopplaatsen grafiek vanuit de WITOS software

Het effect van verdichting en asfalt temperatuur op levensduur van asfalt

Samuel Rutten (BSc project uitgevoerd bij BAM)

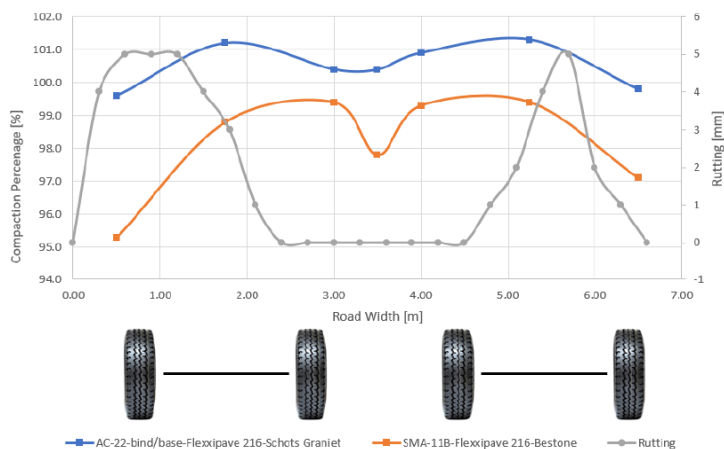
In dit onderzoek worden literatuuronderzoek, expertinterviews en een empirisch onderzoek gebruikt om de hoofdvraag van het onderzoek te beantwoorden: Welke relatie is er tussen asfalteren, met name verdichting en temperatuurhomogeniteit, en de levensduur van het asfalt? Het literatuuronderzoek en de expertinterviews worden gebruikt om een achtergrondkennis op te bouwen en een begrip te krijgen van de theorie die in dit onderzoek speelt. Voor het empirische onderzoek wordt er naar twee wegen gekeken (de A35 en de Aziëhavenweg) om tot een conclusie te komen.

Tijdens het literatuuronderzoek wordt eerst gekeken naar de twee asfaltsoorten die belangrijk zijn in dit onderzoek, ZOAB en SMA. ZOAB staat bekend voor het hoge percentage van holle ruimtes (meestal tussen 18 en 22%) die ervoor zorgen dat water door het asfalt de grond in afgevoerd kan worden. SMA daarentegen heeft een veel lager percentage van holle ruimtes (tussen de 4 en 6%). Dit betekent dat SMA niet dezelfde karakteristieken heeft als ZOAB. SMA is nuttig door dat het sterk is bij hoge volumes verkeer en zeer resistent is tegen spoorvorming en barsten. Gedurende het literatuuronderzoek wordt ook gekeken naar het asfalteerproces en de soort visuele schade die kan optreden op asfaltwegen. De expertinterviews hebben geholpen bij het begrijpen van hoe een weg wordt geconstrueerd en onderhouden. De expertise van de experts heeft ook geholpen met het opbouwen van achtergrondkennis.



Figuur 1—Vergelijking tussen wals overgangen en kern dichtheid voor de STAB laag op locatie 240m

In het empirisch onderzoek wordt er gekeken naar een 460 meter lang stuk van de A35 die geasfalteerd is in 2007 met twee lagen van ZOAB en een 830 meter lang stuk van de Aziëhavenweg die in 2008 geasfalteerd is met een toplaag van SMA. Tijdens het uitvoeren van deze projecten is data verzameld over de temperatuurhomogeniteit en verdichting. Nu, 12 en 11 jaar later, is er schade ontstaan op deze wegen. Het empirische onderzoek vergelijkt de data dat tijdens het asfalteren verzameld is met de schade dat er is ontstaan. De A35 heeft veel schade in de vorm van rafeling, maar er was niet genoeg correlatie te vinden tussen de schade en de asfaltverwerking data om te kunnen concluderen dat er een relatie is.



Figuur 2—Vergelijking tussen verdichting en spoorvorming locatie 240m

Voor de Aziëhavenweg is het wat anders. Spoorvorming tot een diepte van 7mm is gevonden in de rechte wielsporen. Interessant genoeg is dit de locatie waar minder wals overgangen uitgevoerd zijn tijdens asfalteren van de SMA laag. Figuur 1 geeft aan de 2008 situatie qua verdichting over de breedte van de weg met een vergelijking tussen aantal wals overgangen en kern dichtheid. Figuur 2 geeft aan de 2019 spoorvorming metingen uitgevoerd op dezelfde locatie. Het is duidelijk dat de meeste spoorvorming plaatsvindt op dezelfde locatie waar er onvoldoende verdichting uitgevoerd is m.n. in de rechte wielspoor.

Theoretisch gezien is er een relatie tussen de kwaliteit van het asfalteren en de schade die optreedt. Tijdens dit onderzoek was deze relatie niet helemaal terug te vinden. Het wordt aangeraden om dit soort onderzoek uit te voeren op een veel grotere schaal met een hoeveelheid data die statistische relevantie heeft. Wat wel te zien is in het onderzoek is dat er soms problemen ontstaan tijdens het asfalteren, vooral pauzes van de asfalteermachine en oneven verdichting dat leidt tot schaden zoals spoorvorming.

Heating of porous asphalt for in-situ recycling—A contribution to the development of an Asphalt Recycling Train in the Netherlands

Chris van de Pol (BSc project carried out at Dura Vermeer)

The Asphalt Recycling Train (ART) is a concept to recycle a distressed road in-situ by using multiple mobile machines which are able to recycle the asphalt. The front of the ART heats the asphalt to a temperature at which it can be loosened without fracturing the aggregates in the asphalt, after which the reclaimed asphalt is rejuvenated and paved again. Since there is no need for trucks hauling old asphalt and delivering new asphalt, this method could be more sustainable than the conventional process of maintaining a distressed road. Since over 90% of the Dutch national highways have Porous Asphalt as a surface course, which has a short lifespan of around 10 years, the aim of this research was to research the ART which can be 100% recycled PA courses. There are 2 types of PA applied in the Netherlands, namely single-layered and double-layered PA, where the latter is more difficult to recycle due to the interlocking of the smaller aggregates of the top layer into the coarse bottom layer. For single-layered PA, the minimum percentage of internal voids is 20% with a maximum course thickness of 60mm. Since recycling of PA in a new PA mixture is prohibited by current guidelines, the use of an ART to recycle 100% PA should always be specified in the contract between client and contractor.



To recycle an aged PA course without degradation, such as aggregate fracturing, the hot in-place recycling method must be used. Hot in-place recycling consists of heating, loosening, mixing, paving and compacting. Loosening of PA can theoretically be performed at 106 °C, without aggregate fracturing, where the heating step heats the PA to this temperature. Mixing the reclaimed PA with additives for rejuvenation and restoring the gradation if needed, requires a temperature of at least 100 °C. According to the Sinner Circle, a higher temperature results in less need for an aggressive additive and more mechanical impact of mixing time when a higher temperature is used. Paving and compaction require at least 113 °C and 125 °C respectively. Since a lot of heat is lost to the base course when heating PA, an ART should be designed such that the temperature can be increased before or during the mixing phase using a drum mixer for instance.

To determine the most effective method to heat a PA course using hot air, superheated steam or infrared heat, first the thermodynamic relations and properties were reviewed for these methods. For all methods, surface area is of great importance, as is the temperature difference between the infrared heater / hot gas and the PA. Since hot gas can also heat the PA in the internal voids, the surface area when using hot gas is far greater than when using infrared heat. Steam holds at least twice more energy than hot air for the same temperature, since steam releases a great amount of heat when it condenses. During condensation, the temperature of the steam stays the same, such that the temperature difference stays high between the steam and the PA, whereas hot air always cools off when transferring heat.



Steam Heating set up

Modelling the heat transfer from hot gas to PA involves a great number of parameters. Therefore, the development of an accurate model was left out of this research. Experiments on heating bitumen showed that at low temperatures the heat transfer within the bitumen is low due to its low conductivity, where at higher temperatures natural convection increases causing increased heat transfer. A test section was constructed to test steam heating and infrared heating. Thermocouples registered the temperature increase over depth for both experiments. A temperature of 70 °C was sufficient to loosen the PA without aggregate fracturing. It took 35 minutes using steam and 54 to 84 minutes using intermittent infrared to heat the PA to a minimum temperature of 70 °C.

Since it was the fastest in heating the PA course, superheated steam was found to be the best method to heat PA taking time duration into account. To determine the optimal temperature of the superheated steam and the energy efficiency, the heat transfer coefficient of convective heat transfer for steam heating should be determined in future research. Since there is no general minimum temperature for all process steps in an ART for recycling PA, designing an ART which can heat the reclaimed PA in between or during the process steps, using a drum heater for example, is favourable. Future research will involve determining the impact of construction and use on the gradation of PA and how the binder in aged PA can be rejuvenated such that the recycled PA is as good as new PA.

Testing a new Construction Fleet Support System

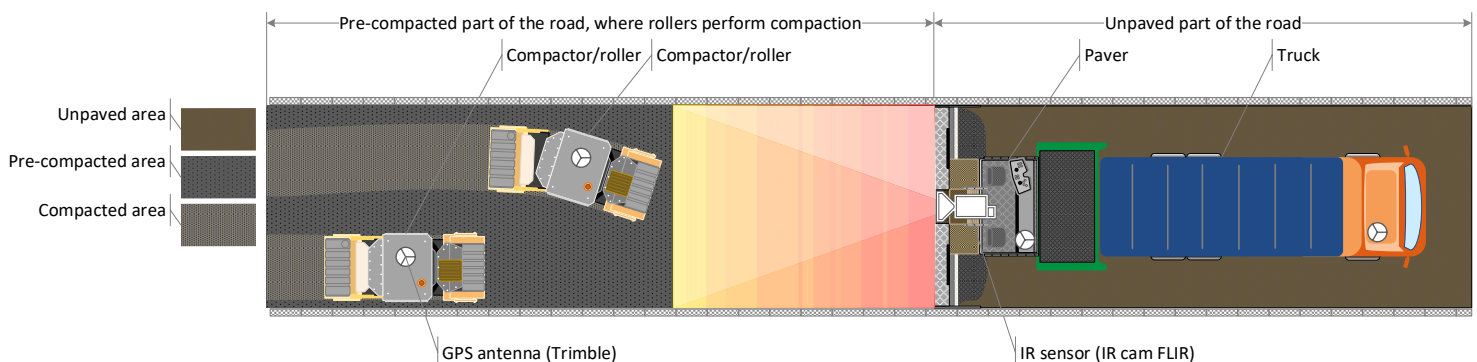
Denis Makarov (Researcher)

We were quite busy this summer with developing a new version of our Construction Fleet Support System. The main focus of developmental activities was redesigning the database, improving the system modules' architecture and finding ways to use and implement new types of hardware. A new database has been set up for collecting and saving data from construction projects in real-time. The database's structure enables the collection of a larger set of construction and related data than before and provides access to specific users.

The Construction Fleet Support System prototype has been renewed with new types of hardware. In addition to GPS sensors, each asphalt construction machine is equipped with a mini PC and LCD touch screen that presents the system's module on board of the machine. The implementation of new hardware required a redevelopment of software viz. machines operators' applications. The core of the applications with first drafts of the graphic user interfaces for the paver and roller operators have been designed.

The trial pack of the system was deployed during PQi measurements of a Boskalis project located on the N639 road close to Breda. The main goal was to check the system setup, network coverage and network workload, connection capabilities between system modules and their work duration. Lessons learnt during this test include:

- The usage of a private local wireless network on the construction site enabled a move from network provider dependency towards cheaper and easier to set up solution with capabilities of assured data gathering and good data preservation;
- The amount of data that is being collected during paving and compaction activities by the system's modules, can easily be transmitted with the available network bandwidth;
- The placement of the system server can be defined and changed dynamically during the construction project;
- The system's modules are independent units that are armed with power supply batteries with capabilities of working during entire construction project;
- Tree-covered and urban construction areas still provide difficulties for equipment localization given the reflection and refraction of GPS signals. There is therefore, an urgent need for alternatives to GPS sensors. This is something we are working on at the moment. The following article in this newsletter describes one such initiative.



Using drones in asphalt construction operations

Shihao Sun (Master student)

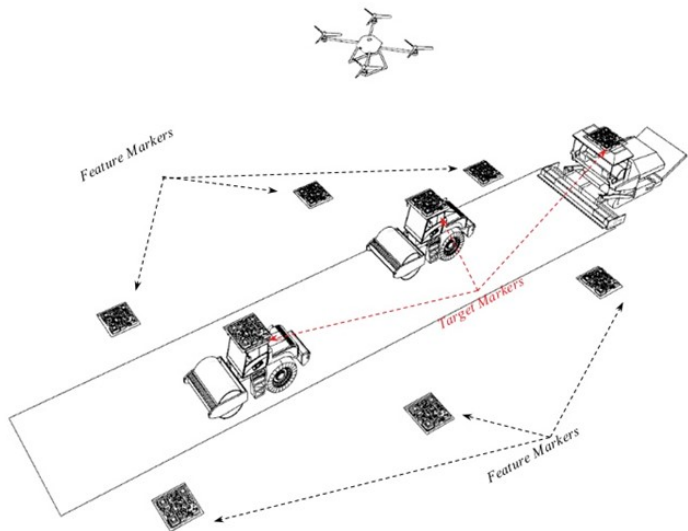
Differential global positioning system (D-GPS) is currently used in PQI projects to track the movements of compaction and paving machinery. The system has several limitations: (1) it requires a high initial investment, (2) instruments need to be mounted on every machine and setup and, adjustment of these instruments are time-consuming, and (3) the high density of buildings and tall trees disturb or even block GPS signals in some construction environments.

In this research, we investigated the applicability of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) based monitoring systems for paving operations and identified the advantages and limitations that UAV pose as a substitute for GPS in the current PQI measurements. To this end, a marker-based tracking method was developed. Two types of markers were used in the method: (1) target markers that are placed on pavers/rollers; and (2) feature markers that are placed on several known locations on the construction site (see Figure below). UAVs were used to capture aerial videos of the feature markers and target markers. The capture videos were input to a program to localize each target marker in each frame of the video based on the location of feature markers. The performance of the developed method was tested in several case studies.

Our tests show that the UAV-based monitoring method can reduce initial investment and at the same time ensure adequate accuracy of tracking targets. A main advantage of this method is that the overhead monitoring device provides little interference thus, little possibility of either disturbing paving and compaction activities or the possibility of accidental obstruction by the asphalt team or the surrounding objects.

Yet, there are still several limitations of the UAV based monitoring method: (1) The worldwide use of UAVs is regulated by the national government and specific local administrations. For safety and security reasons, UAV for business use needs to be registered in the aircraft register and operated by a registered pilot. In addition, in some countries UAVs are forbidden in some regions. (2) The use of UAVs is limited in some situations. For example, the current UAV products cannot work on a rainy day and cannot work in some construction situations like paving in a tunnel.

In the future, we will focus on the optimization of the current UAV-based method and the applicability of monitoring other crucial parameters such as temperature homogeneity of the asphalt mat. While all the data was computed offline for the time being by mounting an onboard-PC to the UAV, real-time data processing can be realized. However, it is worth mentioning that the UAV platform should have enough payload. Also, many types of UAV now support carrying various types of range and thermal sensors some of which may be quite useful for improving process control. Overall, UAV technology is promising for improving and simplifying data collection during our PQI monitoring activities on construction sites especially, as an integrated platform for both asphalt temperature and machine movement monitoring. (Ed. Note — Shihao recently completed his Master's project and graduated on 9 October 2019)



UAV (drone) implementation in asphalt paving and compaction

