

Brede inpassing van de PQi-methode in de praktijk

ir. F.R. Bijleveld
Universiteit Twente

P.E. van Hinthem
Breijn B.V.

ir. M. Oosterveld
BAM Wegen bv

R.J. Dekkers
KWS Infra bv

prof. dr. ir. A.G. Dorée
Universiteit Twente

Correspondentie: f.r.bijleveld@utwente.nl

Samenvatting

Veranderingen in de wegebouw dwingen opdrachtnemers tot professionalisering van het asfaltwegbouwproces. Voorbeelden van deze veranderingen zijn de langere garantieperioden, beperkingen in tijd en ruimte om het werk uit te voeren en tekorten aan goed opgeleid personeel. Elf wegebouwbedrijven en de Universiteit Twente hebben in netwerk-verband (ASPARi) de missie om dit asfaltwegbouwproces te professionaliseren. Binnen dit netwerk is er een framework (PQi) ontwikkeld om de proceskwaliteit te verbeteren. De kern daarvan is het proces op de bouwplaats nauwkeurig te registreren en in beeld te brengen, zodat naderhand teruggekeken kan worden en te bespreken wat er gedaan is en er kan worden geanalyseerd wat er in de toekomst beter kan. Om de bewegingen van het materieel op de bouwplaats in beeld te brengen, wordt er gebruik gemaakt van nauwkeurige GPS-apparatuur. Om de temperatuur van het asfaltmengsel tijdens het proces te monitoren, wordt er gebruik gemaakt van een laserlinescanner, warmtebeeld-camera's en thermokoppels. Verder worden de weersomstandigheden vastgelegd door een weerstation.

Binnen ASPARi is de intentie eerst samen te investeren in onderzoek om nieuwe methoden te ontwikkelen, en daarna de nieuwe methoden over te dragen aan de praktijk voor brede toepassing (o.a. aangevuld met trainingen). In 2011 heeft deze overdracht en brede inpassing in de praktijk van de PQi-methode plaatsgevonden naar een werkgroep opgericht met vertegenwoordigers van de elf ASPARi-Founders. Zij houden zich bezig, elk bij hun eigen bedrijf, met het uitvoeren van de metingen en het toewerken naar procesverbeteringen – en wisselen in deze werkgroep onderling ervaringen uit. Deze paper zal de belangrijkste ervaringen met het framework tot nu toe, de gezamenlijke leerervaringen en de procesverbeteringen beschrijven. Dit is van belang voor zowel de praktijk als de wetenschap om meer inzicht in het asfaltwegbouwproces te krijgen, de proceskwaliteit te verbeteren en risico's op vroegtijdig falen van de asfaltconstructie te verkleinen.

Keywords: Asfalt, verwerking, uitvoeringsproces, procesbeheersing, proceskwaliteit, technologieën, GPS, laser, infrarood

1. Inleiding

Veranderingen in de wegenbouw, zoals het terugtreden van opdrachtgevers, nieuwe aanbestedingsvormen en langere garantieperioden nopen wegenbouwbedrijven tot een betere procesbeheersing en een verbetering van de kwaliteit. In langdurige onderhoudscontracten op prestatiebasis wordt de aannemer direct zelf geconfronteerd met tekortkomingen in kwaliteit. Immers, als binnen de garantieperiode het wegdek gerepareerd moet worden, dan zijn de kosten voor de opdrachtnemer. Een opdrachtnemer heeft er daarom alle belang bij om bij de aanleg van de wegverharding de kwaliteit te kunnen sturen. In die sturing op kwaliteit speelt het verwerkingsproces een sleutelrol. Wegenbouwbedrijven worden dus gedwongen tot het professionaliseren van activiteiten: bedrijfsmatiger werken, optimaliseren van inzet van mensen en middelen, betere beheersing van de kwaliteit, en naar onderscheidbaarheid. Hoe sterker deze professionalisering binnen wegenbouwbedrijven ontwikkeld is, hoe beter de bedrijven de risico's van de verlengde garantieplicht kunnen schatten en beheersen. Dit laatste is cruciaal voor het onderscheiden en presteren in de markt waar meer verantwoordelijkheden en risico's bij de opdrachtnemers komt te liggen.

Elf wegenbouwbedrijven en de Universiteit Twente hebben in netwerk-verband (ASPARi) de missie om dit asfaltwegenbouwproces te professionaliseren. In ASPARi-verband is de afgelopen jaren een methode ontwikkeld om meer inzicht te krijgen in het uitvoeringsproces, genaamd Process Quality improvement (PQi). In deze methode wordt met behulp van nauwkeurige GPS-apparatuur de bewegingen van het materieel op de bouwplaats in beeld gebracht, met behulp van een laserlinescanner wordt de initiële asfalttemperatuur achter de balk van de spreidmachine gemeten, er wordt met behulp van thermokoppels en infraroodcamera's op bepaalde plaatsen de afkoeling van het asfalt gemonitord en worden de weersomstandigheden met een weerstation, per project vastgelegd. Deze geïnventariseerde data en beelden worden omgezet naar grafieken en animaties om feedback te geven aan de asfaltploegen. Dit alles met de bedoeling om inzicht te krijgen op welke wijze er op de bouwplaats asfalt is verwerkt, de variabiliteit in het verwerkingsproces te verminderen, de productkwaliteit te verbeteren en de risico's te reduceren.

In 2011 heeft de overdracht en brede inpassing in de praktijk van deze PQi-methode plaatsgevonden naar een werkgroep opgericht met vertegenwoordigers van de elf ASPARi-Founders. Zij houden zich bezig, elk bij hun eigen bedrijf, met het uitvoeren van de metingen en het toewerken naar procesverbeteringen – en wisselen in deze werkgroep onderling ervaringen uit. Deze paper zal de belangrijkste ervaringen met de PQi-methode tot nu toe, de gezamenlijke leerervaringen en de procesverbeteringen beschrijven. Dit is van belang voor zowel de praktijk als de wetenschap om meer inzicht in het asfaltwegenbouwproces te krijgen, de proceskwaliteit te verbeteren en risico's op vroegtijdig falen van de asfaltconstructie te verkleinen.

2. PQi framework en overdracht

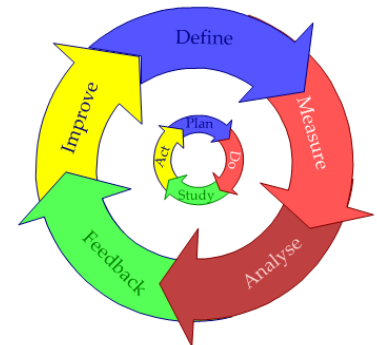
Binnen ASPARi heeft een bruikbare toepassing van het onderzoek in de praktijk met feedback een belangrijke focus. In ASPARi-verband is de afgelopen jaren een methode ontwikkeld om meer inzicht te krijgen in het uitvoeringsproces, genaamd Process Quality improvement (PQi). De eerste stappen in de ontwikkeling van deze methode zijn gezet in het promotieonderzoek van Seirgei Miller (2010). In deze methode wordt door het implementeren van nieuwe technologieën in het asfaltuitvoeringsproces zoals GPS, een laserlinescanner, thermokoppels en infrarood camera's, meer inzicht in het uitvoeringproces verkregen, kan inzicht worden verkregen in verschillende uitvoeringsprocessen en kunnen beter

onderbouwde keuzes worden gemaakt voor wat betreft middelen, werkmethoden en het handelen van de verschillende personen in het proces.

Het doel van de PQi-methode is het verbeteren van de proceskwaliteit door het observeren van de belangrijkste parameters tijdens het asfaltwegbouwproces en dit proces expliciet vast te leggen. Vervolgens kan de data worden geanalyseerd en kunnen de resultaten van de metingen aan het asfaltteam kenbaar worden gemaakt en kunnen verbetervoorstellen worden gedaan.

Het proces van de PQi-meting is ingedeeld als volgt (zie figuur hiernaast):

1. Voorbereiding: Definieer welke asfaltprocessen gemonitord gaan worden, hoe er gemeten gaat worden en welke parameters kritisch zijn in dit proces.
2. Dataverzameling: Verzamel informatie over de belangrijke parameters tijdens het proces.
3. Data-analyse: Analyseer de data en visualiseer dat op een begrijpelijke manier.
4. Feedback: Bediscussieer de gemeten resultaten, ontrafel de logica waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt en bedenk verbeteringen voor een volgend project.
5. Rapportage en verbetervoorstellen: Documenteer de resultaten en verbetervoorstellen.



De gebruikte ASPARi-apparatuur is weergegeven in tabel 1 en in de navolgende foto's.

Tabel 1: ASPARi apparatuur

Taak	Instrument	Methode	Nauwkeurigheid en frequentie
Monitoren weersomstandigheden	Weerstation (vintage pro)	Opzetten weerstation op de bouwplaats	Temperatuur, windsnelheid, vochtigheid, zonstraling, elke minuut opgeslagen
Metten initiële oppervlakttemperatuur achter de balk	Laserlinescanner (Raytek)	Scanner achter de balk van de balk hangen	Opnemen opp-temperatuur achter de balk elke seconde in 20 zones
Metten afkoeling opp-temperatuur spec. locatie	Infrarood camera's	Camera op driepoot op vaste locaties	Nemen van een thermo grafische foto elke minuut
Metten afkoeling in-asfalttemperatuur specifieke locatie	Thermokoppels	Thermokoppels in ca. het midden van de asfaltlaagdikte aanbrengen	Opslaan van de temperatuur elke minuut
Monitoren bewegingen materieel op bouwplaats	GPS ontvangers + basis station (Trimble)	Opzetten basis station op bouwplaats en receivers op het dak van het materieel	DGPS nauwkeurigheid < 5 cm, positie elke seconde opgeslagen
Metten dichtheid asfalt op een specifieke locatie	Nucleaire dichtheidsmeter	Dichtheid meten na elke walsovergang	Metingen tpv temp.-metingen na elke walsovergang
Opnemen bijzondere gebeurtenissen	Memo recorders (Sony)	Opnemen van bijzondere gebeurtenissen tijdens proces	Observaties in gebeurtenissen logboek





Dit proces heeft een cyclisch karakter, oftewel de rapportage en verbetervoorstellen van voorgaande metingen worden meegenomen in de voorbereiding van een nieuwe meting met het doel om te streven naar een continue verbetering van en inzicht in de proceskwaliteit.

De directe en indirecte resultaten van de PQi-methode zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Resultaten PQi-meting

Directe resultaten	Indirecte resultaten
4D-animatie van het wegebouwproces Voortgang van de asfalspreidmachine De oppervlaktetemperatuur in 2D-plots Afkoelingscurves De walsprocedure en walsovergangen De dichtheidsprogressie Indicatoren spreiding in werkwijze en resultaat Mogelijke kwetsbare plekken in de constructie Dossier van belangrijke parameters	Kwaliteits-bewustzijn binnen de asfaltketen Verbetering communicatie asfaltploeg Inzicht in verschillen tussen asfaltploegen Uitgangspunt voor een uniforme werkwijze Risicobeperking

In de periode 2007-2010 is de PQi-methode ontwikkeld en getest en zijn ca. 8 wegebouwprojecten gemonitord. Omdat de praktijk weerbarstig en variabel is kunnen op basis van deze 8 projecten geen generieke conclusies worden getrokken. Om naar meer generieke modellen en verbeteringslagen toe te kunnen werken is een brede toepassing van de PQi-methode in de praktijk noodzakelijk. In maart 2011 zijn er een tweetal 2-daagse cursussen gegeven voor de wegebouwbedrijven om het uitvoeren en analyseren van de PQi-metingen met GPS, de laserscanner en de infrarood camera's te leren. Het streven is 2 projecten te monitoren per aannemer per jaar in ASPARi-verband, oftewel 22 projecten per jaar. In 2011 is de eerste stap naar een brede toepassing in de praktijk gerealiseerd, waarbij er ca. 15 projecten gemonitord zijn in 1 jaar.

De ontwikkelde PQi-methode is ook het afgelopen jaar op een aantal punten verbeterd en uitgebreid. Er zijn diverse ontwikkelingen geweest om meer informatie in real-time aan de asfaltploeg te kunnen laten zien en de verwerkingstijd is op een aantal punten verkort.

Om de ploeg meer informatie in real-time te laten zien in plaats van alleen achteraf de resultaten te bespreken zijn het afgelopen jaar een aantal testen uitgevoerd.

Ten eerste is er een test uitgevoerd met een infraroodcamera op een wals verbonden aan een computer om de walsmachinist niet alleen, zoals tegenwoordig al op veel walsen aanwezig is, een spot-temperatuur te laten zien, maar de walsmachinist door middel van de infraroodcamera een thermografisch beeld voor en achter de wals te geven. Het voordeel hiervan is dat de walsmachinist beter onderscheid kan maken tussen warme/koude plekken en

warme/koude vrachten en de koudere plekken beter kan onderscheiden. Het nadeel is dat vooralsnog veel process-snelheid van de pc nodig is om de beelden in real-time te laten zien. Ook is er een test uitgevoerd om de data van de laserlinescanner achter de balk van de asfaltspredmachine door te sturen naar de walsmachinisten. Op deze manier ziet de walsmachinist de homogeniteit van de temperatuur achter de balk. Dit is ook gekoppeld aan de GPS-data, zodat een ‘georeferenced’ beeld van initiële temperatuur van het gehele werkvak ontstaat. Nog een stap verder ging een test waarbij ook de posities van de walsen weergegeven werden, zodat de walsen hun positie op dat temperatuur-beeld beter konden zien.

Ook de verwerkingstijd om alle data te verwerken en dus feedback te kunnen geven is op een aantal punten verkort. Het verwerken van de data naar grafieken is verder geautomatiseerd en ook het verwerken van de GPS-data naar een animatie is verbeterd en versneld. Het project op de A4-Leiden was de ultieme test om de kortere verwerkingstijd te laten zien. Op dit project zijn er 2 dagen achter elkaar geasfalteerd en zijn deze werkzaamheden gemonitord. Na intensieve dataverwerking van het ASPARi-team zijn we in staat gebleken om in één dag feedback te geven aan de asfaltploeg. Dit vergde echter wel veel moeite en energie, dus het is belangrijk om deze verwerkingstijd nog verder te automatiseren.

3. Projecten en belangrijkste resultaten PQi's

In 2011 zijn er ca. 15 PQi's uitgevoerd, waar er bij een aantal projecten meerdere dagen is gemeten. Qua type projecten en soorten asfaltmengsels is er een breed spectrum gemonitord. Dit is weergegeven in tabel 3. Er zijn asfaltwerkzaamheden op stadwegen, provinciale wegen, snelwegen en bedrijfsterreinen gevolgd.

Tabel 3: Gemonitorde projecten ASPARi 2011

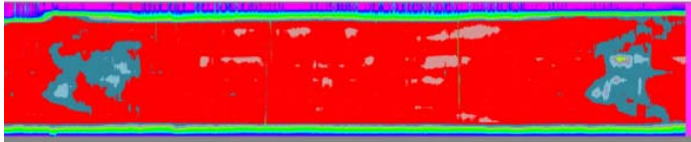
Soort werk	Asfaltmengsel	Weersomstandigheden
Stadsweg ca. 4 mtr breed	WMA (schuim + wax)	koud en regen
bedrijfsterrein ca. 40x60 mtr	AC 22 bind 6 cm + AC 16 surf 5 cm	mooi weer en droog
N245 ca. 7-8 mtr breed	EME 7 cm	mooi weer en droog
Bungalowpark wegen ca. 3 mtr breed	SMA 11 3 cm	erg zonnig, windstil
Nieuwe afrit S116, ca. 15 mtr breed	AC 22 base en bind 6 cm	mooi weer en droog
Stadsweg ca. 7-8 mtr breed	AC 22 bind 6 cm	mooi weer en droog
N332 ca. 7-8 mtr breed	SMA 11 3,5 cm	zonnig en droog
N317 8-10 mtr breed	AC 16 bind + ZSA	koud en droog
N327 ca. 4 mtr breed	AC 16 bind + DGD 0/6	koud en wisselvallig
A4 ca. 25 mtr breed	AC 22 bind 2x 6 cm	koud en droog
N319 ca. 7-8 mtr breed	SMA 11 (modificatie) 3,5 cm	koud en droog
Terrein palletfabriek 60x80 mtr	AC 16 bind	koud en droog
ACH terrein, 4 vakken van 20x30 mtr	WMA (zeoliet)	koud en regen
N15 ca. 7-8 mtr breed	AC 22 bind	koud en wind
Stadsweg ca. 4-5 mtr breed	AC 22 base 6 cm	koud, wind, regen

Zoals in de tabel zichtbaar, zijn er weliswaar 15 projecten gemonitord, maar er zat ten eerste variëteit in het soort project, het soort asfaltmengsel en de weersomstandigheden. Dit maakt het moeilijk om projecten te kunnen vergelijken. Desalniettemin wordt er bij elk project weer geleerd en vallen andere bijzonderheden op. Achtereenvolgens zullen de belangrijkste leerervaringen van het afgelopen jaar worden beschreven.

Oppervlaktetemperatuur

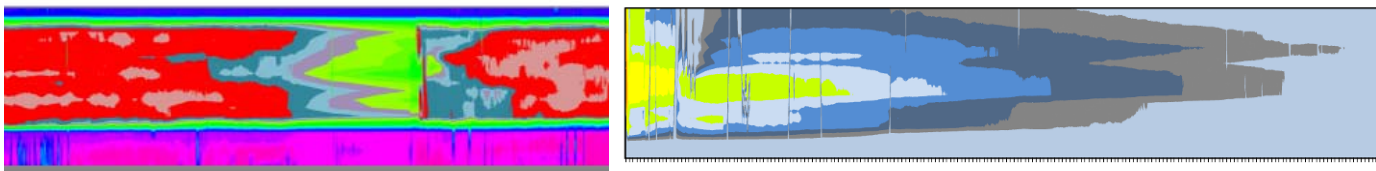
Met behulp van de laserlinescanner achter de balk van de asfaltspreidmachine worden de effecten voor wat betreft de asfalttemperatuur van truckwissels, korte stopplaatsen, en/of lange stopplaatsen duidelijk zichtbaar. Dit wordt gevisualiseerd in de vorm van Temperatuur Contour Plots (TCP's).

Tijdens de truckwissels, natuurlijk afhankelijk van de omstandigheden en de asfaltmengsels, is een beperkte daling in de oppervlaktetemperatuur zichtbaar. Deze dalingen in oppervlaktetemperatuur liggen in de range van 5-20 °C – zie onderstaande figuur.



Voorbeeld van 2 truckwissels

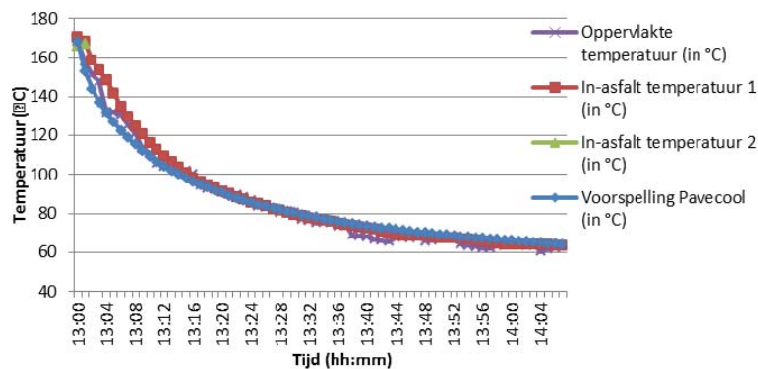
Tijdens de kortere stopplaatsen (ca. 3-10 minuten) en de langere stopplaatsen (>10 minuten) zijn deze dalingen logischerwijs aanzienlijk groter en is de range ook groter – zie onderstaande figuren - door m.n. de variërende invloed van weeromstandigheden, asfaltmengsel en laagdikte.



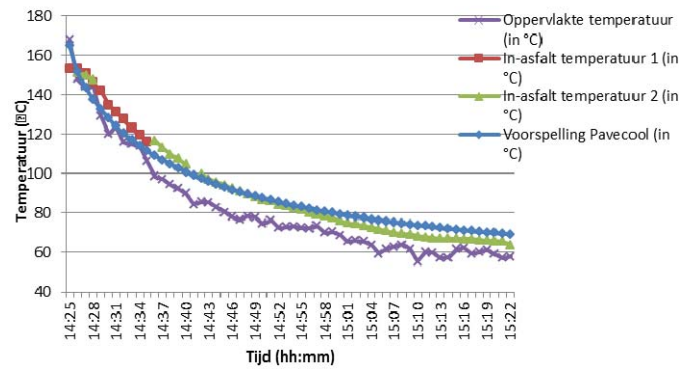
Voorbeeld korte en lange stopplaats

Afkoeling

Met behulp van thermokoppels en infrarood camera's wordt de afkoeling van een asfaltmengsel onder bepaalde omstandigheden gemonitord. Dit wordt gevisualiseerd in de vorm van afkoelingscurven. Op deze manier kan, op deze vaste punten, de relatie tussen de oppervlaktetemperatuur en de in-asfalttemperatuur worden bepaald. Deze relatie kan vervolgens gebruikt worden om met behulp van de linescanner-data om de in-asfalttemperatuur en de afkoeling van het gehele werkvak te voorspellen. Deze verhouding tussen bovenin, in het midden en onderin de asfaltlaag is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. In de twee volgende figuren is een voorbeeld weergegeven waarbij de oppervlakte-temperatuur en de in-asfalttemperatuur dicht bij elkaar liggen en een voorbeeld waarbij deze ver uit elkaar liggen.



Voorbeeld waarbij de opp.-temperatuur en in-asfalttemperatuur dicht bij elkaar liggen



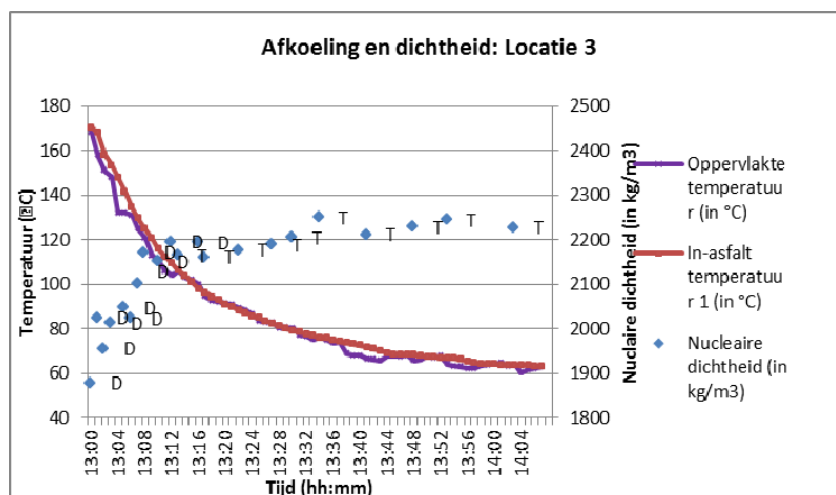
Voorbeeld waarbij de opp.-temperatuur en de in-asfalttemperatuur verder uit elkaar liggen

Ook wordt de gemeten afkoeling bij elk project vergeleken met de waarden voorspeld door Pavecool (Chadbourn, 1998; Timm et al, 2001). Dit is een softwareprogramma dat op basis van een aantal inputparameters, zoals de weersomstandigheden, de laagdikte en het mengsel en de aanvangstemperatuur de afkoeling van het asfaltmengsel voorspelt. Deze waarden komen bij het overgrote deel van de gemonitorde projecten goed overeen met de werkelijke afkoeling, dus Pavecool voorspelt de werkelijke afkoeling vrij goed. Moeilijk is echter om vooraf nauwkeurig de laagdikte en de aanvangstemperatuur te bepalen, twee parameters die deze voorspelde afkoeling aanzienlijk beïnvloeden.

De monitoring van de projecten hebben in behoorlijk verschillende weersomstandigheden plaatsgevonden. Het is zichtbaar dat de afkoeling sterk afhankelijk is van de windsnelheid en de zonstraling. Een hoge windsnelheid laat het asfaltmengsel veel sneller afkoelen en bij een hoge zonstraling (W/m^2) blijft het asfaltmengsel lang in het temperatuurgebied 80 tot 60 °C. Deze zonstraling wordt echter vaak overschat in het temperatuurgebied 160 tot 120 °C. De afkoeling van het asfaltmengsel in dit temperatuurgebied gaat onder zowel goede als slechte omstandigheden vrij snel.

Dichtheid

Tijdens het afkoelingsproces van het asfaltmengsel vinden er walsovergangen van verschillende typen walsen plaats. Na elke walsovergang wordt met een dichtheidsmeter (nucleair of elektromagnetisch) de dichtheid van het asfaltmengsel bepaald. Dit wordt gevisualiseerd in combinatie met de afkoeling van het asfaltmengsel – zie onderstaande figuur.



Voorbeeld afkoeling en dichtheidsprogressie tijdens het walsen

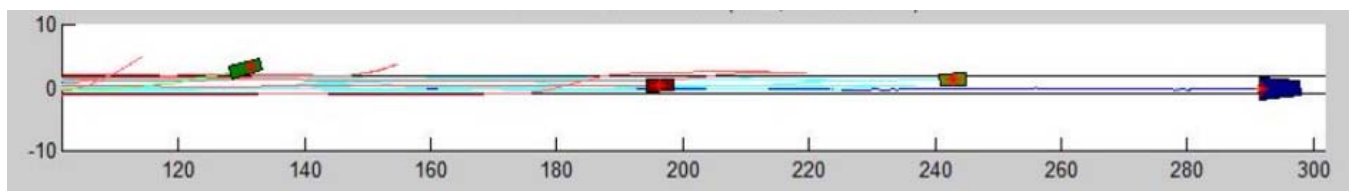
Op deze manier kan bijvoorbeeld worden afgelezen op welk moment (en dus ook bij welke temperatuur) de eerste walsovergang wordt uitgevoerd, bij welke temperatuur (bij een bepaald asfaltmengsel onder bepaalde weersomstandigheden) de meeste dichtheidprogressie plaatsvindt en wanneer er eigenlijk helemaal geen dichtheidprogressie meer plaatsvindt tijdens het walsen. Ook kan er geanalyseerd worden welke typen walsen in welke temperatuurgebied hebben gewalst en of dit het temperatuurgebied is waar dat type wals de meeste dichtheidprogressie bereikt.

In de projecten tot nu toe is zichtbaar geworden dat er veel variabiliteit in deze walsregimes aanwezig is – dus wanneer vindt de eerste walsovergang plaats, binnen welke temperatuurgebieden verschillende typen walsen hun werk uitvoeren en welke dichtheidprogressie dat heeft. Bij bijna alle projecten wordt er echter doorgewalst als de dichtheid al behaald is. Wat voor effecten dit heeft op de uiteindelijke kwaliteit en wanneer dit kritisch is voor deze kwaliteit behoeft meer onderzoek. Dit soort onderwerpen worden nader onderzocht in het gezamenlijke laboratoriumonderzoek in ASPARi-verband. Verder is gebleken dat de resultaten met de dichtheidsmeters sterk afhankelijk zijn van de onderbaan, de omstandigheden en de technoloog. Ook worden boorkernen genomen ter plaatse van de locatie waar de dichtheidprogressie en afkoeling zijn gemonitord. De relatie tussen deze boorkernen en de gemeten nucleaire dichtheden is onduidelijk. De dichtheidsmeters lijken goed bruikbaar om de dichtheidprogressie tijdens het walsproces te begeleiden, maar op de absolute waarden kan moeilijk vertrouwd worden. Een belangrijke reden om de nucleaire dichtheidsmetingen weer eens tegen het licht te houden en eventueel te zoeken naar alternatieven.

Bewegingen op de bouwplaats

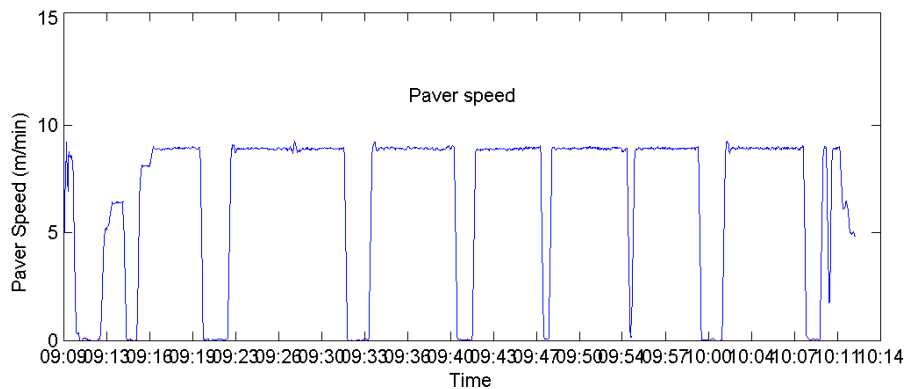
Met behulp van de GPS-apparatuur worden de bewegingen van het materieel op de bouwplaats gemonitord. Deze GPS-data wordt gebruikt om [1] een animatie van het uitgevoerde proces te maken, [2] de snelheid van de asfaltspreidmachine tijdens het proces in een grafiek weer te geven en [3] contourplots te construeren hoe vaak een wals over een bepaalde locatie in het wegvak is gegaan.

In de animatie wordt zichtbaar gemaakt waar het materieel ten opzichte van elkaar op een bepaald tijdstip was – zie onderstaand screenshot van een animatie. Wat deden de walsen bijvoorbeeld toen de asfaltspreidmachine moest wachten op een nieuwe vracht asfalt, of hoe hebben de walsen onderling een bepaald wegvak gezamenlijk gewalst. Opvallende aspecten in de tot nu toe gemonitorde projecten zijn de keuzes voor de volgorde van typen walsen – de ene aannemer kiest voor eerst een drierolwals en dan een tandemwals en de andere aannemer voor eerst een tandemwals en dan een drierolwals bij zelfde soorten mengsels – en de snelheid van walsen verschilt ook per aannemer bij zelfde soorten asfaltmengsels.



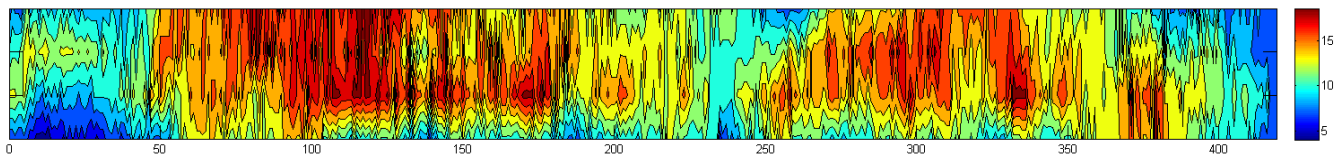
Voorbeeld van een 2D-animatie van een wegbouwproces

De snelheid van de spreidmachine tijdens het uitvoeringsproces is een belangrijke maat voor de continuïteit van het proces. In onderstaande figuur is te zien dat de spreidmachine continu op 8 meter per minuut heeft gespreid en tussendoor zijn de vrachtwissels duidelijk zichtbaar. In een variabel proces zijn er duidelijk pieken en dalen zichtbaar.



Voorbeeld van een grafiek die de snelheid tijdens het uitvoeringsproces laat zien

Verder komen er uit de GPS-data contour plots waarop is af te lezen hoe vaak één type wals op een locatie is geweest en plots met het totaal aantal walsovergangen per locatie. In deze zogenaamde Compaction Contour Plots is behoorlijk veel variabiliteit zichtbaar – zie onderstaande figuur. Opvallend is dat bij vrijwel alle projecten de start en het eind van het werk minder is gewalst, terwijl dit over het algemeen belangrijke aandachtspunten zouden moeten zijn. Ook bij het overnemen van taken, als een wals bijvoorbeeld water moet halen, stopplaatsen van de spreidmachine en bijzondere constructies in het werk, zoals een inrit, komen plekken voor waarbij minder of juist meer walsovergangen worden uitgevoerd.



Voorbeeld van een compaction contour plot van een ca. 400 meter lang wegvak

Feedback met de asfaltploegen

Na het analyseren van de verwerkte data is binnen de PQi-cyclus de volgende stap feedback met de asfaltploeg. Het blijkt echter moeilijk feedbacksessies te plannen, wegens de drukte van de asfaltploegen in het seizoen. Het organiseren van dit soort feedback sessies zijn echter wel van belang voor zowel het bedrijf, de ploeg als de individuen binnen de asfaltploeg. Een aantal van de belangen om dit soort sessies te organiseren zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4: Belangen van de feedback sessies

Belangen van de feedback sessies	
UT: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Uiteenrafelen kennis en ervaring asfaltploeg ▪ Nieuwe kennis verspreiden en implementeren ▪ Test- en evaluatieplatform voor nieuwe technologieën en visualisaties 	Bedrijf: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbeteren kwaliteit en verminderen risico's ▪ Procesbeheersing en verbetering ▪ Bevorderen communicatie tussen afdelingen en asfaltploegen ▪ Vergroten effectiviteit van de verwerking
Asfaltploeg: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbeteren teamprestatie en samenwerking ▪ Verbetering communicatie en coördinatie 	Individen van de ploeg: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbeteren en vergemakkelijken taken ▪ Onderbouwen 'onderbuikgevoelens' ▪ Bewustwording kwaliteit en kritische onderdelen van het verwerkingsproces

4. Ervaringen vanuit de sector

Belangrijk in deze brede inpassing van de PQi-methode in de praktijk zijn de ervaringen van bedrijven uit de sector. Hoe past de PQi-methode in de aanwezige strategieën voor procesbeheersing, hoe ervaren de bedrijven de druk op de uitvoering en hoe kan de organisatie ingericht worden tot een lerende organisatie waarin dataverzameling, feedback en kennisdeling belangrijk zijn. In de volgende secties bespreken een drietal bedrijven hoe deze overdracht is beleefd.

PQi-ervaringen BAM Wegen

BAM Wegen heeft sinds 2007 ervaring met het uitvoeren van PQi's, waarbij de eerste projecten model gestaan hebben voor de door Sergei Miller uitgewerkte methodiek. Sinds 2007 heeft BAM Wegen zes PQi-sessies uitgevoerd:

1. Mei 2007: ZOAB deklaag op A35 bij Hengelo-Zuid (SSH-project van Rijkswaterstaat);
2. Okt. 2008: AC 22 bind en SMA deklaag op industrieweg "Aziëhavenweg" in Amsterdam;
3. Sept. 2009: LEAB onderlagen op de A2 Everdingen-Everdingen;
4. Sept. 2009: AC 22 bind+deklaag op de "Bennekomsteeg" in Wageningen;
5. Nov. 2011: AC 22 base op de A4 Leiden Burgerveen (laag 2);
6. Nov. 2011: AC 22 base op de A4 Leiden Burgerveen (laag 3).

Door de ervaring van BAM Wegen met het uitvoeren van PQi's is aan de ene kant de organisatie rond de PQi's steeds eenvoudiger. Omdat BAM Wegen streeft om elke asfaltploeg voor het eind van 2012 eenmaal bezocht te hebben, dient wel telkens rekening te worden gehouden met een nieuwe ploeg, nieuwe mensen en bijvoorbeeld weer een asfaltset met net weer een andere stroomvoorziening. Dit maakt dat bij de start van de werkzaamheden vaak wat "aanloop-verliezen" optreden.

De ervaring is dat het uitvoeren van de metingen, waarbij ook vaak tijdens het werk direct terugkoppeling wordt gegeven, en het terugkoppelen van de resultaten van de metingen, een gezonde discussie op gang brengt over werkwijzen, kwaliteit van het asfalt, kwaliteit van machines en hulpmiddelen. Hierdoor wordt het kwaliteitsbewustzijn en het inzicht in het verwerkingsproces in het algemeen, en de rol van het personeel daarbij, vergroot. Omdat het belangrijk is dat dit kwaliteitsbewustzijn bij alle ploegen in alle regio's van BAM binnen Nederland naar een hoger niveau te tillen, is gekozen voor een regionale spreiding van de PQi's. Aansluitend worden in de winterbijeenkomsten de ervaringen van de uitgevoerde PQi's besproken met alle ploegen van alle regio's. Hierdoor is het ook mogelijk om te leren van de ervaringen van andere ploegen. Hierbij wordt geconstateerd dat de ploegen onderling weinig verschillen vertonen en vaak dezelfde leerervaringen hebben.

Het uitvoeren van de metingen heeft geleid tot het gebruik van een aantal hulpmiddelen bij de realisatie. Bijvoorbeeld het gebruiken van Pavcool of het gebruiken van de infraroodcamera bij kritische projecten. Ook is in het kader van een kritisch snelwegen-werk (A1 Hoeba) een softwaretool ontwikkeld waarbij, op basis van onder andere ASPARi-inzichten, de projectleiding geholpen wordt om op basis van objectieve criteria de verwachte weersomstandigheden te beoordelen voor een GO/NO-GO beslissing. Deze tool (BABOS) wordt door BAM Wegen nu op landelijke schaal toegepast.



voorbeeld gebruik infraroodcamera bij project met bijzondere variatie van laagdikte

De belangrijkste inzichten die BAM Wegen heeft opgedaan bij het uitvoeren van de PQi-cyclus zijn:

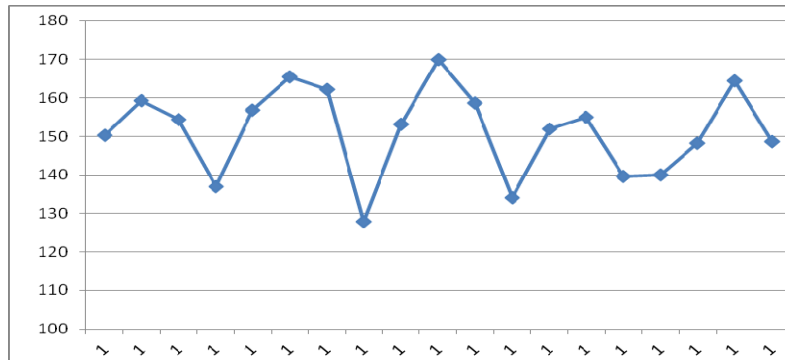
1. Het aantal uitgevoerde walsovergangen verschilt aanzienlijk in langs- en dwarsrichting. Door vergroten van het inzicht bij de walsmachinisten wordt dit onder de aandacht gebracht.
2. Walsmachinisten zien geen temperatuurverschillen; onder normale omstandigheden worden geen infrarood technieken gebruikt en zijn temperatuurverschillen niet zichtbaar. Omdat deze verschillen wel belangrijk zijn voor het aanpassen van het walsregime, wordt gezocht naar een geschikte methode of techniek om dit inzichtelijk te maken.
3. Het gebruik van Pavecool en Multicool kan helpen bij een goede voorbereiding van het werk.
4. Het voorkomen van stopplaatsen van de spreidmachine kan de kwaliteit vergroten.
5. Walsmachinisten kunnen de effectiviteit en kwaliteit van hun werk verbeteren door het gebruik van 'Compaction contour plots'.

PQi-ervaringen Heijmans

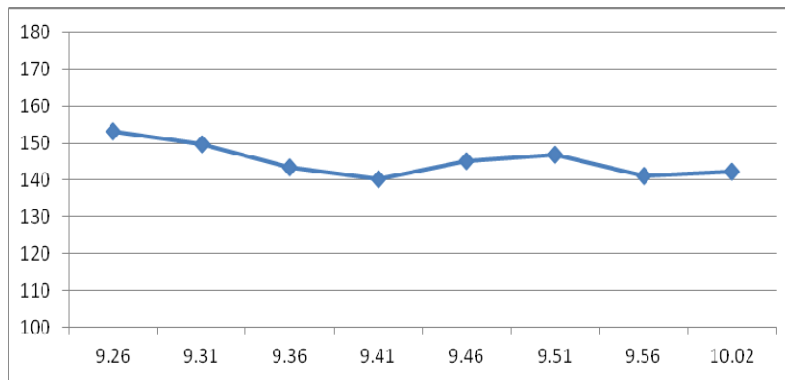
Door Heijmans is in 2011 gestart met het uitvoeren van de PQi metingen in het ASPARi-netwerk. Onze eerste ervaringen zijn als zeer positief ervaren in die zin dat het ons nog meer inzicht geeft in het proces en onze kennis op basis van ervaring opgedaan in de loop der jaren onderstreept met data.

Eerste ervaring opgedaan in deze PQi-metingen is dat de invloeden van de vrachtwisselingen en de het effect van de temperatuur van de onderbaan erg groot zijn bij het aanbrengen van dunne deklagen. De weersomstandigheden op het project waren voor het najaar redelijk gunstig te noemen, namelijk een flauw zonnetje, minimale windsnelheid en een buiten temperatuur van 6 tot 12°C (in de voorgaande nacht had het licht gevoren). In dit geval, met een bodem temperatuur van een paar graden boven nul, is een zeer snelle afkoeling onder invloed van de lage bodem temperatuur zichtbaar. De aangebracht dunne deklaag, van 25-30 mm, koelde in 6 tot 7 minuten tijdens het wisselen van een vracht meteen achter de balk, af met 15 tot 20 °C. Een sterke afkoeling was verwacht, maar bij het zien van de data werd de verwachting niet alleen ondersteund, maar zelfs versterkt. Uit deze eerste metingen mag dus de voorlopige conclusie getrokken worden, dat onder wat minder gunstige weersomstandigheden de eerste wals (voorafwals) al binnen een paar minuten zijn verdichtingsenergie in het mengsel moet kunnen brengen, omdat de afkoelsnelheid in de asfaltdeklaag erg groot is. Vrachtwisselingen, ook al zijn deze nog zo kort, brengen sterke temperatuurwisselingen in het asfaltmengsel teweeg. Hiermee wordt opnieuw aangetoond aan dat de continuïteit van het asfaltverwerkingsproces een zeer belangrijke factor is om een goed eindresultaat te bereiken, met name bij wat minder goede weersomstandigheden. Op hetzelfde

project is ook deels gebruik gemaakt van de Shuttle Buggy en hoewel het nog slechts over een beperkte hoeveelheid meetdata gaat, werd duidelijk dat er veel minder temperatuurschommelingen zijn in het asfaltmengsel achter de balk. De temperatuur mag dan enigszins lager liggen door de extra bewerking met de Shuttle Buggy, maar de schommelingen in temperatuur zijn niet aanwezig zie onderstaande figuren. Ook wordt d.m.v. deze data de positieve ervaringen met de Shuttle Buggy onderbouwd.

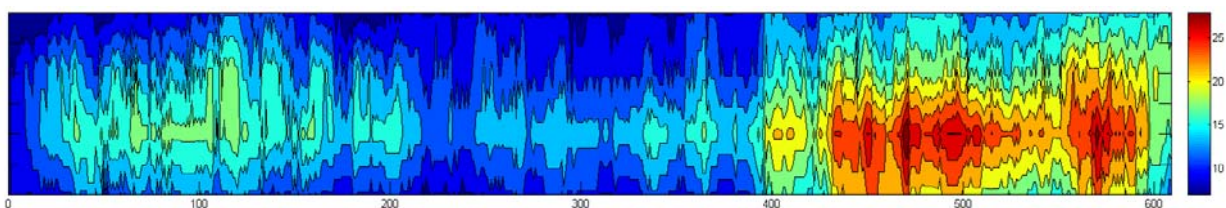


Voorbeeld temperatuurschommelingen tijdens vrachtwisselingen van 6 a 7 minuten



Temperatuurschommelingen bij inzet van de Shuttle Buggy

Naast het bovengenoemde fenomeen van temperatuurschommelingen door het logistieke proces, is gebleken dat de data uit de PQi-metingen ook voor het verdichtingsproces van belang kunnen zijn. De eerste ervaringen zijn dat door deze PQi-metingen het verdichtingsproces goed in beeld kan worden gebracht. Dit betekent dat we van een specifiek mengsel met een bepaalde situatie bij bepaalde weersomstandigheden, het meest ideale verdichtingsproces in kaart kunnen brengen. En door de verzameling van voldoende data, een instructie voor de verwerking kunnen aanreiken aan walsmachinisten. Op dit moment wordt op basis van ervaring en gevoel het aantal walspassages bij een bepaalde asfalttemperatuur uitgevoerd. In dit aantal walspassages zijn per project grote verschillen te zien (zie onderstaande figuur). De verklaring voor deze verschillen kunnen gevonden worden in variabiliteit in temperatuur of laagdikte. Het eindresultaat kan bij deze verdichtingsmethodiek weliswaar positief zijn. Echter, de vraag blijft of dit wel de meest optimale is werkwijze is.



Aantal walspassages op de asfaltdeklaag

Nader onderzoek moet aantonen of optimalisering van het verdichtingsproces mogelijk is en hoe dit mogelijk is. Naast deze potentiële optimalisatie van het verdichtingsproces, rijst de vraag op of de walsmachinist niet meer gedetailleerde ondersteuning zou moeten hebben bij de uitvoering van zijn werk. Veel van de ervaring van de machinisten is immers gebaseerd op de traditionele asfaltmengsels met de traditionele standaardbitumen. En omdat tegenwoordig in de deklaag mengsels steeds meer gemodificeerde bitumina en toeslagstoffen gebruikt worden, is het de vraag of de juiste ervaring wordt ingezet.

Onderzoek in gezamenlijk ASPARi-verband geeft ons middels de PQi-metingen de mogelijkheid bovengenoemde vragen te beantwoorden en ons te ondersteunen in mogelijk vervolgonderzoek.

PQi-ervaringen KWS Infra

KWS Infra heeft tot nu toe drie PQi-metingen uitgevoerd in verschillende regio's van het land. Op de A58 en de Edisonlaan in Apeldoorn zijn de PQI's uitgevoerd door de UT. In 2011 zijn uitgebreide, gedurende twee dagen door metingen uit te voeren op de N317 bij Drempt en Laag Keppel in de provincie Gelderland. Deze metingen zijn voor het eerst uitgevoerd met eigen medewerkers van KWS Infra en met beperkte ondersteuning van de UT.

Uit de ervaringen met de metingen op de N317 is gebleken, dat het belangrijk is dat alle betrokkenen bij het proces vooraf op de hoogte zijn van de meet-aanpak tijdens het project. Aanbrengen van de meetapparatuur op het verwerkingsmaterieel vraagt voorbereiding vooraf en assistentie van de asfaltploeg op de meetdag zelf. Tijdens de metingen op de ZSA-deklaag op de N317 werd bijvoorbeeld de Linescanner op een hoogte van 4 meter op de afwerkmachine bevestigd, om temperaturen over de volle wegbreedte, van twee spreidmachines te kunnen scannen.

Op de meetdag moet ook voldoende tijd worden uitgetrokken voor het inregelen van de GPS-apparatuur, voordat met de asfaltverwerking wordt begonnen. Bovendien is de ontvangst van het GPS-systeem erg gevoelig voor hoge gebouwen en bomen, zelfs als er gewerkt wordt met een basisstation. Hiermee moet vooraf bij de keuze van het wegvak voor de PQi-metingen al rekening worden gehouden.

Onderdelen van de PQi-meting geven momenteel pas achteraf inzicht in hoe het verwerkingsproces is verlopen. Toch is het verzamelen van deze informatie essentieel om tot verbetering van het verwerkingsproces te komen. Als KWS Infra willen we zo snel mogelijk komen tot protocollen en hulpmiddelen om tijdens het verwerkingsproces inzicht te hebben in de voortgang en de kwaliteit van het proces, oftewel real-time informatie tijdens het proces. Op deze manier kan de kwaliteit tijdens het werk worden bewaakt en zonodig worden bijgestuurd.

De tot nu toe uitgevoerde PQi-metingen, hebben al veel inzicht gegeven in het verwerkingsproces, waardoor belangrijke aandachtspunten kunnen worden benoemd. Een drietal voorbeelden hiervan zijn:

- De snelle afkoeling van dunne deklagen: Tijdens de PQi-metingen op de SMA-deklaag van de Edisonlaan en de ZSA-deklaag op de N317 werd zichtbaar hoe snel de afkoeling van dunne deklagen plaatsvindt. In beide gevallen was sprake van een deklaag met een laagdikte van 30 mm. Uit de afkoelingscurves is gebleken dat zelfs onder zomerse omstandigheden, slechts weinig tijd beschikbaar is om de verdichting van deze dunne deklagen tot stand te brengen.
- Uit de resultaten van de diverse temperatuurmetingen (afkoelingscurves en ter plaatse van stopplekken) is af te leiden, dat de logistiek van het asfalt een belangrijk punt

betreft, waaraan in de nabije toekomst meer aandacht zal moeten worden besteed. Met name bij het wegbreed aanbrengen van een dunne deklaag wordt aanbevolen om een Shuttle-Buggy in te zetten. Metingen op de N317 hebben aangetoond, dat hierdoor een meer homogene temperatuurverdeling over het wegoppervlak achter de balk wordt gerealiseerd.

- De met GPS verzamelde walsbewegingen zijn uitgewerkt in wals-contourplots. Uit deze resultaten blijkt dat de verdeling van de walsgangen over het wegoppervlak soms sterk varieert. Ontwikkeling van hulpmiddelen voor de walsmachinist zijn absoluut noodzakelijk, om real-time inzicht te krijgen en bij te kunnen sturen in het verdichtingsproces.

5. Conclusies, aanbevelingen en stellingen

De belangrijkste ervaringen en conclusies naar aanleiding van de brede inpassing van de PQi-methode in de praktijk zijn:

- Er is veel variabiliteit in de verschillende uitvoeringsprocessen van de Nederlandse wegebouwbedrijven aanwezig. De grootste variabiliteit is zichtbaar in: Initiële temperatuur waarop het asfaltmengsel gespreid wordt, de volgorde van de inzet van typen walsen, momenten waarop walsovergangen worden uitgevoerd en het totaal aantal walsovergangen dat binnen een werkvak en op verschillende projecten worden uitgevoerd.
- Wegbouwbedrijven zijn redelijk tot goed in staat om de PQi-metingen zelf uit te voeren om meer inzicht te krijgen in hun eigen proceskwaliteit. Het analyseren van hun eigen proceskwaliteit en nadenken over verbeteringen is nog geen standaardprocedure, maar kan wel aangeleerd worden.
- Het organiseren van feedback sessies met asfaltploegen om de resultaten van de PQi-metingen te bespreken is moeilijk. Het is echter wel erg belangrijk voor [1] het bedrijf om te streven naar kwaliteits- en procesbeheersing, [2] voor asfaltploegen om de communicatie en coördinatie in de ploeg te verbeteren, [3] voor individuen in de asfaltploeg om het uitvoeren van hun taken te verbeteren en vergemakkelijken en [4] voor de universiteit om het uitgevoerde onderzoek in de praktijk te implementeren.

De belangrijkste aanbevelingen voor vervolgonderzoek en stappen in de toekomst zijn:

- Er zijn veel gemonitorde projecten noodzakelijk om generieke conclusies te kunnen trekken wegens de hoeveelheid aan variabelen. Het is daarom belangrijk om het aantal variabelen te beperken en door te gaan met het uitbreiden van de hoeveelheid PQi-metingen.
- De eerste projecten die gemonitord zijn volgens de PQi-methode zijn inmiddels meer dan 5 jaar geleden. Dat betekent dat er de komende jaren op de eerst gemonitorde projecten mogelijk de eerste schades verwacht kunnen worden. Deze gemonitorde projecten zullen geïnspecteerd worden en vergeleken worden met data over het uitvoeringsproces.

Stellingen voortkomende uit dit onderzoek zijn:

- Brede inpassing in de praktijk van de PQi-methode is noodzakelijk om professionalisering binnen de wegebouwsector te bereiken.
- Feedback met asfaltploegen is noodzakelijk voor zowel de praktijk om kwaliteitsverbetering en procesbeheersing in het bedrijf te bewerkstelligen, als voor de wetenschap om kennis en ervaring van asfaltploegen uiteen te rafelen en nieuwe kennis in de praktijk te kunnen implementeren.

Dankbetuiging

Voor het werk en hun inzet in de PQi-werkgroep bedanken wij: Marco Oosterveld (BAM Wegen), Peter van Hinthem (Heijmans), Mahesh Moeniellal (Ballast Nedam), Erik van de Beek (Van Gelder), Gert Jan van Rijswijk (Ooms), Johnny Koster (TWW), Evert Scholten (Reef), Erik den Hollander (Mourik), Bas Laureijssen (Dura Vermeer), Jan Jansen (MNO), Rudi Dekkers (KWS).

Referenties

- Chadbourn, B. A., Newcomb, D. E., Voller, V. R., Desombre, R. A., Luoma, J. A., en Timm, D. H. (1998). "An asphalt paving tool for adverse conditions." *Minnesota Dept. of Transportation Final Report MN/RC-1998*, 18.
- Dorée, A. G., Miller, S. R., en Ter Huerne, H. L. (2008). "Asfalt, wat bakken we ervan?" *Combinatie van artikel en presentatie van de CROW infradagen*
- Dorée, A. G., S. R. Miller, et al. (2009). Vaklieden: trots op het vak, maar....VBW Asfalt: 17-19.
- Dorée, A. G., en ter Huerne, H. L. (2005). "Professionalisering asfalt wegenbouw sector; Van ambacht naar industrie."
- Miller, S.R. (2010). Hot mix asphalt construction - Towards a more professional approach. phd-thesis Universiteit Twente.
- Miller, S.R., Hartmann, T., Dorée, A.G. (2010). Measuring and visualizing hot mix asphalt concrete paving operations. *Automation in construction* volume 20, issue 4, July 2011, p. 474-481.
- Miller, S. R., en Dorée, A. G. (2009). "Proefproject Aziëhavenweg." *Asfalt nr. 2, juni 2009*.
- Miller, S. R., en Dorée, A. G. (2008). "Temperature profiling and the monitoring of equipment movements during construction".
- Miller, S. R., H. L. ter Huerne, et al. (2008). Op weg naar verdere professionalisering asfaltverwerking - Monitoring A35. VBW Asfalt: 8-12.
- Simons, B., en ter Huerne, H. L. (2008). "Op weg naar een beter beheerst asfaltverwerkingsproces." *VBW-Asfalt*, Nr. 2, p. 16-20.
- Ter Huerne, H. L. (2004). *Compaction of Asphalt Road Pavements Using Finite Elements and Critical State Theory*, University of Twente.
- Ter Huerne, H. L., en Dorée, A. G. (2005). Professionalisering asfalt wegenbouw sector, van ambacht naar industrie.
- Timm, D. H., Voller, V. R., Lee, E., en Harvey, J. (2001). "Calcool: A multi-layer asphalt pavement cooling tool for temperature prediction during construction." *International Journal of Pavement Engineering*, 2(3), 169-185.
- Wirtgen Group, Hamm (2011). Flyer 'Hamm compaction quality'.