

# Professionalisering asfaltuitvoeringsproces

—

## synthetiseren informatietechnologie, ervaringskennis en laboratoriumprocedures

Frank Bijleveld  
*Ooms Civiel*

Seirgei Miller  
*Universiteit Twente*

André Dorée  
*Universiteit Twente*

### **Samenvatting**

Dit onderzoek gaat over de noodzaak om het asfaltuitvoeringsproces en de operationele strategieën van asfaltploegen op de bouwplaats te verbeteren. Sinds 2005 wordt er in ASPARi-verband inspanning geleverd om het asfaltuitvoeringsproces te professionaliseren. In de huidige markt zoeken opdrachtnemers (aannemers) naar gerichte procesbeheersing, maar de noodzakelijke kennis over het ervaring gedreven proces ontbreekt grotendeels.

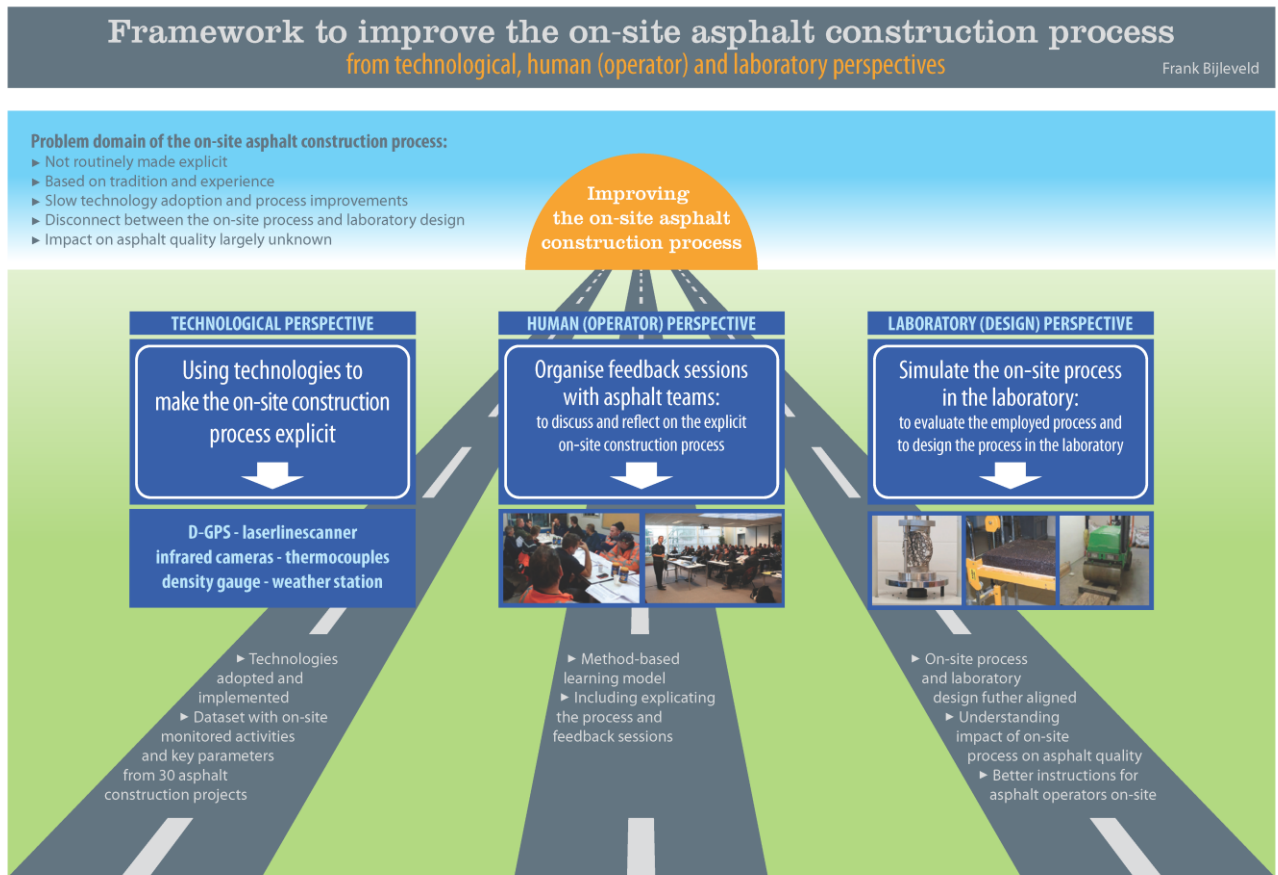
De inspanningen van het ASPARi-netwerk in de afgelopen jaren hebben geresulteerd in: Een verbeterd PQi (Process Quality improvement) framework geïmplementeerd in de praktijk, een dataset van ca. 50 systematisch gemonitorde projecten, een overzicht van variabiliteit in het uitvoeringsproces, een leermodel, empirisch geteste relaties in het laboratorium tussen uitvoeringsprocessen en mechanische eigenschappen en procedures om verdichting in het laboratorium beter te verbinden met asfaltverdichting op de bouwplaats.

De resultaten van het onderzoek hebben geleid tot een triangulatie-aanpak voor opdrachtnemers om operationele strategieën van asfaltploegen stapsgewijs te kunnen verbeteren door: (1) technologie uitbreiding en implementatie in het asfaltuitvoeringsproces; (2) het toepassen van consistente en methoden gebaseerde operationele strategieën inclusief feedbacksessies met asfaltploegen; en (3) het relateren van ontwerp-procedures in het laboratorium aan het uitvoeringsproces op de bouwplaats. Dit leidt tot procesverbeteringen, een meer consistente asfaltkwaliteit en meer professionele vakmensen en asfaltwegenbouwbedrijven.

De paper zal ingaan op de ontwikkelde triangulatie-aanpak om het asfaltuitvoeringsproces te verbeteren, onderbouwd en toegelicht met behulp van voorbeelden en lessen uit de praktijk. Vervolgens geeft de paper een vooruitblik naar 'de bouwplaats van de toekomst'. Tot slot beschrijft de paper mogelijke EMVI-criteria voor opdrachtgevers om de professionalisering van het asfaltuitvoeringsproces te stimuleren.

**Steekwoorden: Professionalisering, asfaltuitvoering, proces, technologieën, ervaringskennis, laboratorium experimenten.**

## Graphical abstract (grafische samenvatting):



## **1. *Introductie: Uitdagingen huidige asfaltuitvoeringsproces***

De wetenschappelijke gemeenschap en de wegenbouwindustrie beogen een hogere kwaliteit asfaltwegen. Om dit te bereiken moeten het asfaltuitvoeringsproces en de operationele strategieën van asfaltploegen worden verbeterd. Operationele strategieën zijn gedefinieerd als de activiteiten, de essentiële procesparameters en de onderliggende redeneringen van asfaltploegen, zoals de selectie van materieel en werkmethoden, die de asfaltkwaliteit, zoals de weerstand tegen scheurvorming, beïnvloeden.

De huidige marktomstandigheden in de asfaltwegenbouw stimuleren opdrachtnemers (aannemers) te zoeken naar verbeterde operationele strategieën van hun asfaltploegen. Echter, dit is vrijwel onmogelijk omdat hedentendage de operationele strategieën van asfaltploegen nauwelijks expliciet zijn, opdrachtnemers hun eigen operationele strategieën niet routinematig monitoren en registreren, beslissingen veelal worden genomen op basis van vakmanschap en ervaring en asfaltploegen nauwelijks feedback ontvangen over de kwaliteit van hun werk. Daarnaast is de adoptie van beschikbare technologieën om het uitvoeringsproces op de bouwplaats te monitoren, zoals laserlijnscanners, infrarood camera's en GPS, in de praktijk, langzaam. En omdat het uitvoeringsproces niet expliciet is en grotendeels gebaseerd is op impliciete ervaringskennis, is het ook moeilijk om het uitvoeringsproces aan ontwerpprocedures in het laboratorium te verbinden. De impact van het asfaltuitvoeringsproces op de asfaltkwaliteit blijft daarom grotendeels onbekend. Dit resulteert in individuele, impliciete en lange leercycli en tot een langzaam proces om procesverbeteringen te realiseren. De literatuur onderstreept het belang van het asfaltuitvoeringsproces op de bouwplaats, echter slechts beperkte kennis is beschikbaar over het uitvoeringsproces in gefragmenteerde delen. Er is dus behoefte en noodzaak om de operationele strategieën op de bouwplaats te verbeteren, maar de noodzakelijke kennis over het ervaring gedreven asfaltuitvoeringsproces ontbreekt grotendeels.

Daarom is er de afgelopen 10 jaar in ASPARi-verband onderzoek verricht van het asfaltuitvoeringsproces. Het doel van dit onderzoek het gezamenlijk professionaliseren van het asfaltuitvoeringsproces (10 aannemers en de Universiteit Twente). Het doel van deze paper is het geven van handvatten voor deze professionalisering voor opdrachtnemers (een aanpak om te leren en verbeteren) en opdrachtgevers (EMVI-criteria voor uitvragen om de professionalisering te stimuleren).

In de volgende sectie worden de belangrijkste resultaten van 10 jaar ASPARi-onderzoek beschreven. Sectie 3 beschrijft de triangulatie-methode om het asfaltuitvoeringsproces te professionaliseren en sectie 4 beschrijft een aanpak om deze methode stapsgewijs te implementeren. Sectie 5 geeft een vooruitblik naar de bouwplaats van de toekomst. In sectie 6 worden EMVI-criteria voor opdrachtgevers beschreven om professionalisering van het asfaltuitvoeringsproces te stimuleren. Tot slot worden de belangrijkste conclusies en discussie beschreven.

## **2. *Belangrijkste resultaten 10 jaar ASPARi-onderzoek***

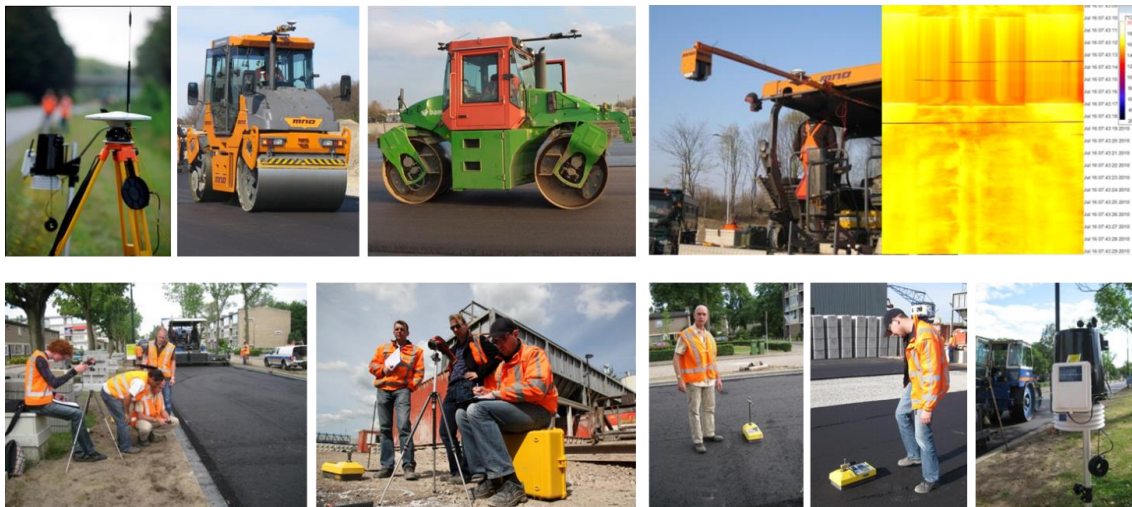
De afgelopen 10 jaar is een participatieve onderzoeksstrategie ontworpen en uitgevoerd met de volgende stappen: (1) introduceren en implementeren van technologieën in het huidige asfaltuitvoeringsproces; (2) systematisch monitoren en vastleggen van uitvoeringsprocessen op de bouwplaats; en (3) experimenteren met de effecten van procesvariabiliteit op de asfaltkwaliteit onder gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium. Er zijn ca. 50 projecten systematisch gemonitord en ca. 5 sectorbrede experimenten in verschillende laboratoria uitgevoerd.

De sturende veronderstelling in dit onderzoek is dat het verbeteren van het huidige asfaltuitvoeringsproces het volgende vereist: (1) een expliciet en controleerbaar

asfaltuitvoeringsproces; (2) een vermindering van de variabiliteit in het uitvoeringsproces en dus een consistent uitvoeringsproces; (3) werkmethode gebaseerd op basis van methoden en procedures aanvullend aan de huidige ervaring gebaseerde werkmethode; (4) kennis over de invloed van het uitvoeringsproces op de asfaltkwaliteit; en (5) het verbinden van ontwerpprocedures in het laboratorium met het uitvoeringsproces op de bouwplaats.

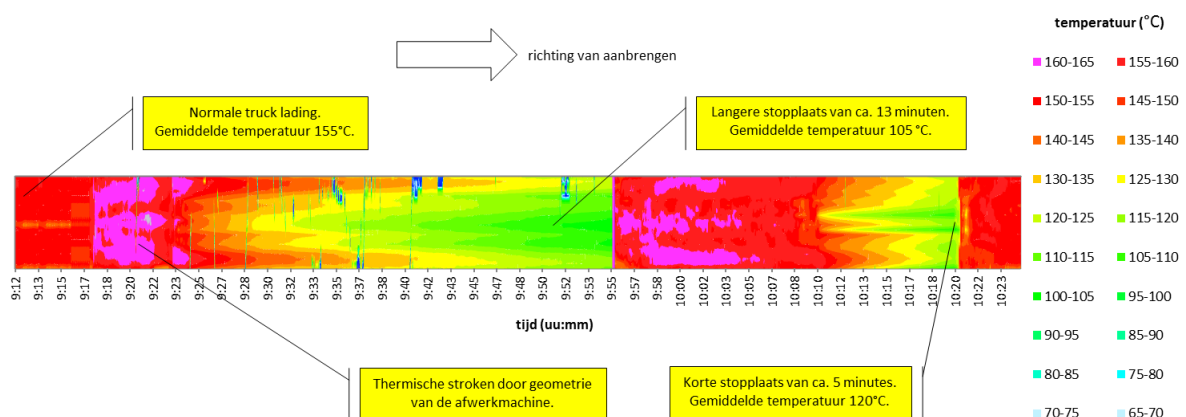
De belangrijkste resultaten van 10 jaar ASPARi-onderzoek zijn:

- Een Process Quality Improvement (PQi) framework, inclusief verschillende technologieën om het asfaltuitvoeringsproces te monitoren, zoals GPS, laser en infrarood – zie figuur 1. Dit PQi-framework is breed geïmplementeerd in de Nederlandse asfaltwegbouwpraktijk en heeft geleid tot een dataset met ca. 50 systematisch gemonitorde en vastgelegde projecten.

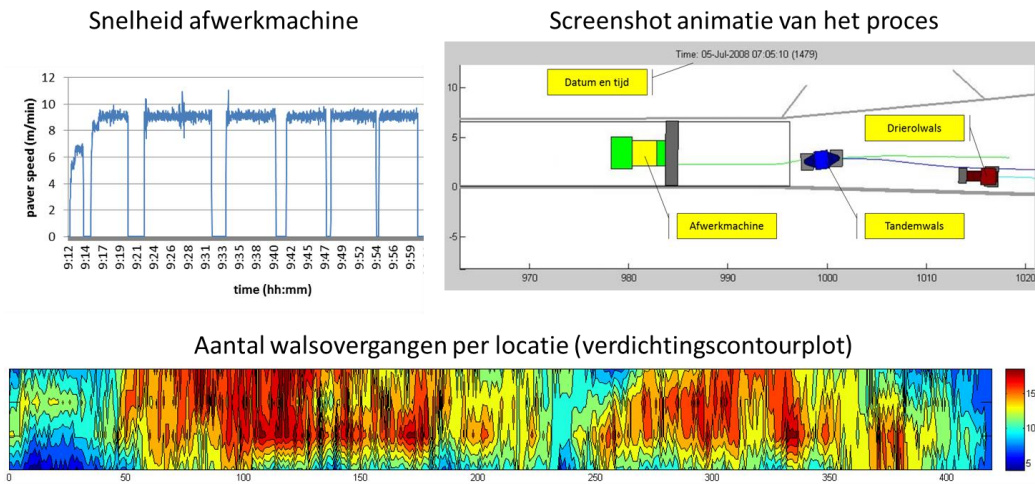


Figuur 1: Gebruik van technologieën om het asfaltuitvoeringsproces expliciet te maken

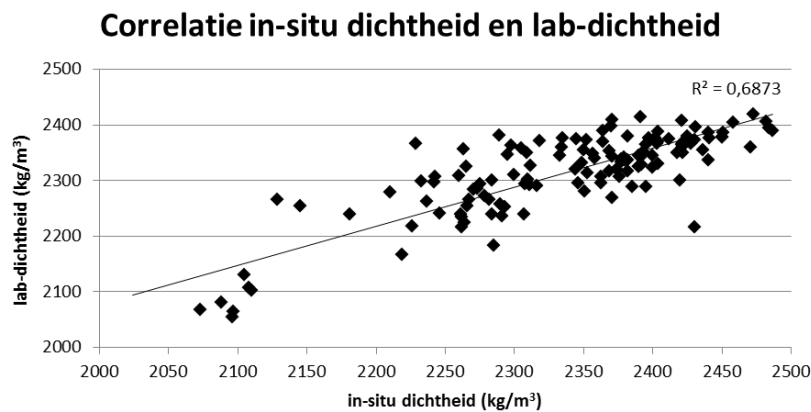
- Een overzicht van de huidige variabiliteit in het uitvoeringsproces en de operationele strategieën van asfaltploegen, hetgeen een impuls geeft om de variabiliteit in het proces te verminderen tot een consistent asfaltuitvoeringsproces. Voorbeelden van variabiliteit in het uitvoeringsproces zijn asfalttemperatuurverschillen tijdens aanleg, verschillen in het aantal uitgevoerde walsovergangen, verschil in snelheid van de afwerkmaschine en de relatie tussen on-site gemeten dichtheden (nucleair) en dichtheden bepaald in het laboratorium (op een asfaltkern) – zie figuren 2, 3 en 4.



Figuur 2: Asfalttemperatuurverschillen tijdens aanleg

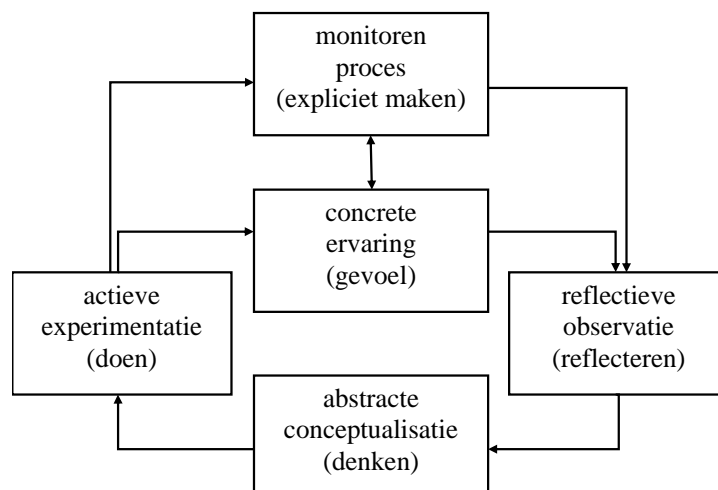


Figuur 3: Variabiliteit in de snelheid van de afwerkmaschine en het aantal walsovergangen



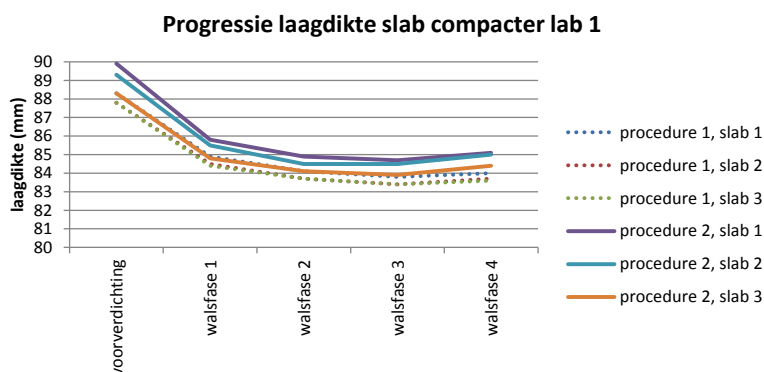
Figuur 4: Relatie on-site dichtheid (nuclear) en dichtheid bepaald in het laboratorium (kern)

- Een leermodel is ontwikkeld en toegepast om een transitie te bewerkstelligen van het huidige werken op basis van ervaring naar werken op basis van methoden en procedures die gebaseerd zijn op expliciete data. Dit leermodel implementeert het expliciet monitoren van het proces en het implementeren van feedback en reflectie met asfaltploegen (zie figuur 5). Implementatie van het model leidt tot een beter proces- en kwaliteitsbesef en tot betere communicatie met en binnen de asfaltploeg.



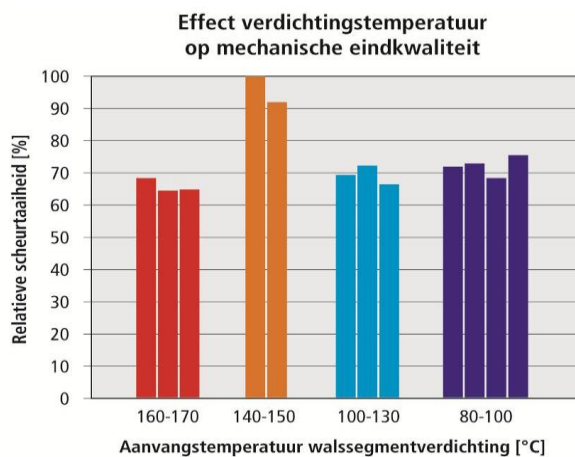
Figuur 5: Leermodel om te kunnen werken op basis van methoden en procedures

- Procedures om verdichting in het laboratorium beter te verbinden met asfaltverdichting op de bouwplaats met betrekking tot de verdichtingstemperatuur, de afkoeling van het asfalt en het walsregime. In figuur 6 is zichtbaar dat verschillende walsfasen gemeten in-situ gesimuleerd kunnen worden in het laboratorium.



Figuur 6: Walsproces gemeten in-situ simuleren in het laboratorium

- Empirisch geteste relaties tussen operationele strategieën, namelijk de verdichtingstemperatuur, de afkoeling van het asfalt en het walsregime, op de asfaltkwaliteit, namelijk de weerstand tegen spoorvorming en scheurvorming. Uit de resultaten van de experimenten blijkt dat de eindkwaliteit met 10-30% wordt beïnvloedt door deze uitvoeringsparameters (zie figuur 7). De procedures en experimentele data maken het mogelijk om de effecten van verschillende verdichtingsstrategieën op de asfaltkwaliteit te kunnen evalueren en om uitvoeringsprocessen in het laboratorium te ontwerpen om zo asfaltploegen beter te kunnen informeren en instrueren.



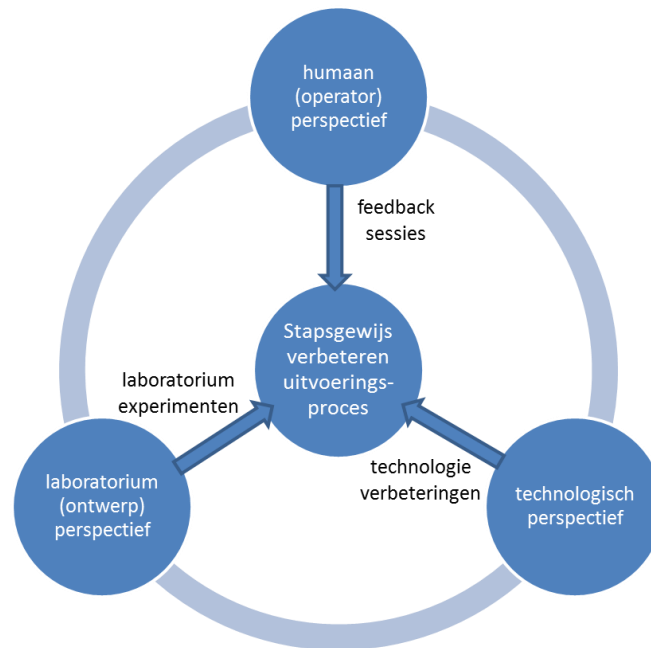
Figuur 7: Effect van verdichtingstemperatuur op scheurtaaiheid van asfalt

### 3. Triangulatie-aanpak

De inspanningen van 10 jaar ASPARi-onderzoek hebben geleid tot frameworks, modellen en empirische data, hetgeen tot meer inzicht en een beter begrip van het asfaltuitvoeringsproces en de impliciete logica van asfaltploegen heeft geleid. Alle resultaten samengenomen, kan het asfaltuitvoeringsproces en de operationele strategieën van asfaltploegen stapsgewijs worden verbeterd door een cyclisch iteratieve strategie van: (1) technologie uitbreiding en implementatie in het asfaltuitvoeringsproces; (2) het toepassen van consistente en methoden gebaseerde operationele strategieën inclusief feedbacksessies met asfaltploegen; en (3) het relateren van ontwerpprocedures in het laboratorium aan het uitvoeringsproces op de bouwplaats.

Dit heeft geleid tot een triangulatie-aanpak om het asfaltuitvoeringsproces te verbeteren vanuit een technologisch perspectief, vanuit een humaan, operator perspectief en vanuit een laboratorium perspectief – zie figuur 8. Triangulatie is het combineren van verschillende theorieën, methoden en databronnen om zo tot een beter begrip en inzicht van het onderwerp, het asfaltuitvoeringsproces, te komen. De triangulatie-aanpak faciliteert de validatie van data door kruis-verificatie vanuit meerdere perspectieven en databronnen.

Binnen deze triangulatie-aanpak zijn het ontwikkelde PQi-framework inclusief de verschillende technologieën, het ontwikkelde leermodel en de verzamelde empirische data essentieel richting een expliciet, consistent en methoden gebaseerd asfaltuitvoeringsproces.



*Figuur 8: Triangulatie-aanpak om het asfaltuitvoeringsproces te verbeteren*

Deze aanpak helpt om technologieontwikkeling, asfaltuitvoeringsprocessen en laboratoriumontwerp beter met elkaar te verbinden. Essentieel in deze strategie is het cyclische en iteratieve karakter dat resulteert in het stapsgewijs verbeteren van het asfaltuitvoeringsproces en de operationele strategieën van asfaltploegen. Het is noodzakelijk om geleidelijk in al deze richtingen vooruitgang te boeken in plaats van in één richting individueel. Bijvoorbeeld, alleen vooruitgang vanuit technologisch perspectief zal stagneren omdat het niet direct leidt tot inzicht in de relatie met de uiteindelijke asfaltkwaliteit en dus levensduur. Soortgelijk zal het onderzoek stagneren als er alleen voortgang wordt geboekt vanuit laboratorium perspectief omdat dan de in-situ processen onvolledig in beeld zijn en het laboratoriumonderzoek ongefocust wordt. Deze drie richtingen ondersteunen en versterken elkaar dus tot een professioneler asfaltwegbouwproces. Dit leidt tot procesverbeteringen, een meer consistente asfaltkwaliteit en meer professionele vakmensen en asfaltwegbouwbedrijven.

#### **4. Implementatie ASPARi-resultaten in de praktijk**

De resultaten van 10 jaar ASPARi-onderzoek hebben ook reeds hun weg gevonden in de praktijk. Enerzijds vragen opdrachtgevers de ASPARi-metingen al uit in hun contracten en opdrachtnemers zetten de ASPARi-metingen in om beter te scoren op project- en procesbeheersing. Tot op heden blijft het echter voornamelijk beperkt tot ‘een keer monitoren

op een project' in plaats van 'continue procesoptimalisatie en risicobeheersing over projecten heen'. Redenen hiervoor zijn talrijk, maar het lijkt te resulteren in een impasse waarin opdrachtnemers het moeilijk vinden om verder te investeren in de technologieën (de waardering in contracten is nog te beperkt) en opdrachtgevers nog te beperkt de toegevoegde waarde zien, omdat er nog niet breed is geïnvesteerd in deze technologieën. Om de ASPARI-resultaten nog verder te implementeren worden een aantal aanbevelingen gedaan. Opdrachtnemers passen het PQI-framework al sinds 2007 toe op projecten. Het monitoren van het asfaltuitvoeringsproces en het gebruik van de verschillende beschikbare technologieën wordt door de opdrachtnemers zelf toegepast en uitgevoerd. De praktijk leert dat opdrachtnemers dit prima kunnen. Dit laat zien dat opdrachtnemers niet alleen gebruikers van de technologie zijn, maar ook deel uit maken van de technologieontwikkeling zelf en de adoptie in het asfaltuitvoeringsproces. Om richting een continu verbeterproces te gaan is het essentieel om feedback met de asfaltploeg te organiseren en te laten zien dat er over projecten heen geleerd en variabiliteit teruggedrongen kan worden. Ook zal er meer en meer ontwerp van het uitvoeringsproces moeten plaatsvinden (kan zowel door laboratoriumonderzoek als metingen in de praktijk). Op deze manier kan er echt gericht naar een betere proceskwaliteit en asfaltkwaliteit worden toegewerkt.

Opdrachtgevers kunnen verschillende onderdelen in hun uitvragen opnemen: Het monitoren van het uitvoeringsproces, de organisatie van feedback met asfaltploegen en het ontwerpen van het proces voorafgaand aan de uitvoering. Wel moet er naar de context van het project worden gekeken, er kunnen bijvoorbeeld heel moeilijk GPS-metingen worden uitgevoerd midden in het bos. Dit vergt dus een deskundige uitvraag en voorbereiding van de opdrachtgever. Ook is er deskundigheid nodig voor de interpretatie en evaluatie van de data. Reken als opdrachtgever niet af op individuele getallen, maar waardeer op basis van leerervaringen en (proces)verbeteringen.

In de volgende sectie wordt vooruitgeblikt op de bouwplaats van de toekomst en waaraan meer aandacht besteed moet worden om ook in de toekomst verder te professionaliseren.

## **5. *Bouwplaats van de toekomst***

Als een visie op de bouwplaats van de toekomst wordt beschouwd, is het ook goed om kort terug te kijken waar vandaan gekomen wordt. In 2005 waren er nog geen Smartphones (introductie Iphone: 2005), er waren nog geen tablets (introductie Ipad: 2010), er was nauwelijks mobiel internet, de civiele markt werkte grotendeels met bestekken (aannemer voerde uit), opdrachtnemers voerden nauwelijks ontwerp- en onderhoudstaken uit (alleen re-engineering), er was nog geen CE-markering voor asfaltmengsels, er waren nauwelijks geavanceerde laboratoria bij de aannemerij (toentertijd met name bij TNO en TU Delft), het uitvoeringsproces vond plaats op basis van vakmanschap en jarenlange ervaring met dezelfde mengsels en er werden nauwelijks geavanceerde technologieën op de bouwplaats toegepast.

De huidige praktijk is dat bijna overal toegang is tot mobiel internet, opdrachtnemers voeren ontwerptaken uit, plannen en voeren het onderhoud uit, opdrachtnemers wennen aan hun rol als asset manager, opdrachtgevers specificeren functioneel en opdrachtnemers beproeven hun asfaltmengsels functioneel (CE-markering) en hebben eigen geavanceerde laboratoria, vakmanschap wordt minder en minder toepasbaar (door toepassing van andere mengsels) en tot slot vindt de intrede van technologieën op de bouwplaats zijn weg die de variabiliteit in het uitvoeringsproces expliciet maakt.

Hoe zal dan de bouwplaats van de toekomst eruit zien? Dat weet natuurlijk niemand, maar in deze paper wordt er, op basis van trends, een voorspelling gedaan. Over 10 jaar zijn alle babyboomers uit de werkende samenleving en is de verwachting dat er een tekort aan goed



opgeleid civieltechnisch personeel is, maar anderzijds zal jong personeel wel meer kennis van slimme sensoren, technologieën en IT bezitten. Ook zullen er veel meer slimme sensoren en technologieën beschikbaar zijn en zal langzaamaan de intrede van robotisering plaatsvinden. De uitdaging is in de toekomst misschien minder hoe iets gemeten kan worden, maar om uiteindelijk alle data om te zetten naar bruikbare informatie en deze informatie met elkaar te verbinden. Digitalisering en informatiemanagement zullen key competentie moeten zijn. Daarnaast zal er niet alleen functioneel beproefd worden in het laboratorium, maar zal er gewerkt worden aan functioneel verifiëren van het eindproduct (direct na aanleg en tijdens gebruik). Ook is de verwachting dat kwaliteit (product en proces) bij EMVI-contracten een steeds grotere rol krijgt, hoewel de concurrentie nog steeds veelal prijs-gedreven zal zijn. Qua projecten zal er meer focus op onderhoud en beheer zijn dan op nieuwbouw. Daarnaast zal er meer sturing op duurzaamheid plaatsvinden (hergebruik, biobased, Warm Mix Asphalt worden de standaard) en meer focus op duurzame energieopwekking zijn (energieneutraal). Tot slot zal de communicatie met de samenleving nóg belangrijker worden.

Om succesvol in deze toekomst te zijn, leert het ASPARi-onderzoek, dat er in de toekomst meer aandacht besteed zal moeten worden aan:

- Informatiesystemen (software) om het asfaltuitvoeringsproces te kunnen analyseren (zowel vooraf als achteraf);
  - Bruikbare dataverwerking en visualisatie tools;
  - Ontwerp van het uitvoeringsproces door middel van laboratorium simulaties;
  - Waarschuwingsoftware dat afwijkingen identificeert en acties voorstelt tijdens het proces (real-time) om de variabiliteit in het proces te verminderen;
  - Een meer geïntegreerde manier voor het plannen en ontwerpen van de logistiek, het walsproces en de verwerkingsstrategie;
  - Opleidings- en trainingsmateriaal op zowel civieltechnisch als op technologisch gebied.
- Gezamenlijk moet dit leiden tot minder variabiliteit en daarmee een verbeterde kwaliteit van de Nederlandse asfaltwegen.

## **6. EMVI-criteria voor uitvragen van opdrachtgevers**

Om verder te professionaliseren in de toekomst kunnen, naast de opdrachtnemers met behulp van de triangulatie-aanpak, ook opdrachtgevers deze professionalisering stimuleren. Zij kunnen in hun uitvragen EMVI-criteria opstellen over het uitvoeringproces, waarop opdrachtnemers (met de plannen) kunnen scoren.

De EMVI-criteria moeten stimuleren om te leren en verbeteren (inzichten krijgen) en niet gebruikt worden om af te rekenen op individuele getallen. Het zijn immers geen eisen, maar EMVI-uitvragen.

Het doel is om meer inzicht in de (proces)kwaliteit van het gehele werk te krijgen i.p.v. het (ouderwetse) beoordelen van het werk op basis één of een aantal kernen. Net zoals bij een voetbalveld, moet het hele veld gekeurd worden en wordt het veld niet op basis van één kern goedgekeurd of afgekeurd. Achtereenvolgens zijn, ter discussie, een aantal mogelijke EMVI-criteria voor opdrachtgevers uitgewerkt (voorstellen).

Expliciet maken van het uitvoeringsproces op de bouwplaats:

- 0 – Weersomstandigheden en proces-logboek;
- 1 – 0 + Afkoeling van het asfalt (bv. om de 100 meter);
- 2 – 2 + Oppervlaktetemperatuur continu achter de balk (gehele werk);
- 3 – 3 + aantal walsovergangen van de voorwals (eerste wals);
- 4 – 4 + aantal walsovergangen van alle walsen (gehele werk).

Implementeren feedback met de asfaltploeg (bij meerdere dagen uitvoering):

- 0 – Geen feedback met de asfaltploeg
- 1 – Ad-hoc toolbox meetings;
- 2 – Maandelijks feedback;
- 3 – Wekelijks feedback;
- 4 – Dagelijks feedback.

Het principe is dat de feedback-gesprekken met leerervaringen expliciet vastgelegd moeten worden (in de vorm van rapporten en notities).

Ontwerp het uitvoeringsproces (bij een gekozen constructie) voorafgaand aan de uitvoering:

- 0 – Impliciet proces (ad-hoc) bepaald tijdens de uitvoering;
- 1 – Expliciet proces voorafgaand aan de uitvoering vastgelegd;
- 2 – Eerder expliciet gemaakte testsecties gebruikt om het proces te ontwerpen;
- 3 – Proces ontworpen en empirisch getest alleen in het laboratorium;
- 4 – Proces ontworpen in het laboratorium en expliciet gevalideerd in de praktijk.

Optimaliseren transport:

- 0 – Impliciete planning transport;
- 1 – Expliciete planning transport;
- 2 – Registratie alle vrachten, bv. op een GIS-kaart;
- 3 – Simulatie vooraf en registratie van alle vrachten;
- 4 – Simulatie, registratie en evaluatie van het transport.

Afhankelijk van het project, kunnen deze EMVI-criteria in verhardingsuitvragen worden gebruikt. Bijvoorbeeld op een project waar het transport kritisch is (bv. in de binnenstad of bij veel files), kan het EMVI-criterium ‘optimaliseren transport’ worden uitgevraagd en bij projecten waar het mengsel gevoelig is voor de uitvoering kan het EMVI-criterium ‘ontwerp het uitvoeringsproces voorafgaand aan de uitvoering’ worden toegepast en mogelijk gecombineerd met het ‘expliciet maken van het uitvoeringsproces op de bouwplaats’. En als de uitvoering vastgelegd moet worden voor lange termijn monitoring (bv. bij lange garantieperioden) is het ook aan te raden om het EMVI-criterium ‘expliciet maken van het uitvoeringsproces op de bouwplaats’ toe te passen, zodat in de toekomst altijd teruggekeken kan worden naar de kwaliteit en het proces van de uitvoering. Tot slot kunnen, afhankelijk van de toegepaste EMVI-methodiek, wegingsfactoren en scores worden toegekend aan de EMVI-criteria.

Verder is het essentieel om als opdrachtgever te realiseren dat het monitoren van het asfaltuitvoeringsproces niet automatisch verbetering van het proces en de eindkwaliteit van het asfalt betekent. Door alleen te monitoren wordt beter bekend wat er gebeurt en er wel of niet goed gaat, maar er is meer nodig om de proceskwaliteit en uiteindelijk de asfaltkwaliteit te verbeteren (bv. communicatie met de asfaltploeg, betere instructies, monitoring van de variabiliteit in het vervolg van het proces, leerproces over meerdere projecten heen, etc.). Tot slot vergt het ook deskundigheid van opdrachtgevers om de data te kunnen interpreteren. Er is bijvoorbeeld niet altijd overall 100% kwaliteit benodigd (bv. plekken die minder zwaar belast worden), waardoor op sommige plekken 98% (uitvoerings)kwaliteit ook voldoende is. Anderzijds, is voor heel kritische plekken, bv. naden, wel extra aandacht nodig en is 100% kwaliteit vereist met een minimale spreiding. Voor de interpretatie en een oordeel over de data is dus deskundigheid van opdrachtgevers noodzakelijk.

Op de langere termijn kan er mogelijk ook functioneel worden uitgevraagd. Ten eerste kan er met behulp van ‘Statistical Process Control (SPC)’ expliciet grenzen aan de asfaltuitvoering

worden gesteld (bv. aan de temperatuurvariabiliteit), evt. met een bonus/malus systeem. Daarnaast kan er ook functioneel uitgevraagd worden om de variabiliteit tijdens de gehele uitvoering van het project aantoonbaar te verminderen.

## **7. Conclusies en discussie**

De belangrijkste conclusies van het onderzoek en deze paper zijn:

- Er is een triangulatie-aanpak ontwikkeld voor opdrachtnemers om het asfaltuitvoeringsproces te verbeteren vanuit een technologisch perspectief, vanuit een humaan, operator perspectief en vanuit een laboratorium perspectief. Het ontwikkelde PQi-framework, het leermodel en de empirische data (in-situ en in het laboratorium) zijn bruikbare handvatten om deze professionalisering vorm te geven.
- Implementatie van de ASPARi-resultaten vindt reeds plaats. Opdrachtnemers gebruiken de ASPARi-metingen met name om beter bij EMVI-contracten te scoren op procesbeheersing en opdrachtgevers starten voorzichtig met het uitvragen en waarderen van procesbeheersing en de bijbehorende metingen. Verdere implementatie zal plaats moeten vinden door feedback met asfaltploegen en ontwerp van de uitvoering verder te professionaliseren en implementeren in de praktijk.
- Om in de toekomst verder te professionaliseren, kunnen opdrachtgevers door verschillende EMVI-criteria op te nemen in hun uitvragen de professionalisering van het asfaltuitvoeringsproces stimuleren. Dit vergt een deskundige uitvraag en interpretatie van de data door opdrachtgevers.

Dit onderzoek is een belangrijke stap die methoden verschaft aan onderzoekers en de praktijk om technologieën te implementeren, asfaltuitvoeringsprocessen en hun effect op de asfaltkwaliteit te analyseren, het asfaltuitvoeringsproces te ontwerpen en een methoden gebaseerde uitvoeringspraktijk te realiseren. Dit leidt tot procesverbeteringen, een meer consistente asfaltkwaliteit en meer professionele vakmensen en asfaltwegbouwbedrijven. Professionalisering in de komende jaren zal zich focussen op real-time informatievoorziening naar asfaltploegen; op het verder verbinden van laboratoriumprocedures met het uitvoeringsproces inclusief een grondige evaluatie en herontwerp van het uitvoeringsproces op basis van realistische laboratoriumproeven; en op de ontwikkeling van een breed onderwijsprogramma (MBO-HBO-WO) over het asfaltuitvoeringsproces. Gezamenlijk zal dit leiden tot een professionelere wegbouwpraktijk en tot beter aangelegde asfaltwegen.

## **Referenties**

Bijleveld, F.R. (2015). Professionalising the asphalt construction process – aligning information technologies, operators’ knowledge and laboratory practices. Construction management and engineering, Enschede, Nederland, Universiteit Twente. PhD Thesis, 2015.

Miller, S.R., Dorée, A.G., Vasenev, A.N., Bijleveld, F.R. (2015). The Asphalt Construction Site of the Future – a Dutch perspective. Sun City, Zuid-Afrika, 16 – 19 augustus 2015.

Miller, S.R. (2010). Hot mix asphalt construction: towards a more professional approach. Construction management and engineering, Enschede, Nederland, Universiteit Twente. PhD Thesis, 2010.

Vasenev, A.N. (2015). Visualizing asphalt roller trajectories in context: acquiring, processing, and representing sensor readings. Construction management and engineering, Enschede, Nederland, Universiteit Twente. PhD Thesis, 2015.