

Het walsproces in de Nederlandse wegenbouwpraktijk: Variabiliteit en 'common practices'

Frank Bijleveld

Universiteit Twente, Civiele Techniek & Management, f.r.bijleveld@utwente.nl

Seirgei Miller

Universiteit Twente, Civiele Techniek & Management

André Dorée

Universiteit Twente, Civiele Techniek & Management

Samenvatting

Afgelopen decennium is er binnen ASPARi uitgebreid onderzoek verricht op het gebied van het uitvoeringsproces. Er is een Process Quality Improvement (PQi) framework ontwikkeld waarmee de belangrijkste parameters van het uitvoeringsproces op de bouwplaats gestructureerd vastgelegd kunnen worden. Afgelopen jaren zijn er ca. 30 wegenbouwprojecten gemonitord en vastgelegd. Deze paper geeft een (1) overzicht van de variabiliteit in de aanlegtemperatuur, de afkoeling van het asfalt tijdens het uitvoeringsproces en in het verdichtingsproces met betrekking tot inzet van walsen en de uitvoering van walsovergangen en (2) is een methode gedemonstreerd om 'common practices' (meest gebruikte uitvoeringspraktijken) met betrekking tot verdichting uit de dataset te halen. Deze common practices zijn geoperationaliseerd in (1) de inzet van de type walsen, (2) het aantal walsovergangen, (3) de tijd waarin die walsovergangen zijn uitgevoerd en (4) de begin- en eindtemperatuur van het walsproces per type wals.

De resultaten van dit onderzoek geven zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers meer inzicht in het uitvoeringsproces op de bouwplaats en in de operationele strategieën van asfaltploegen. Ook geven de resultaten inzicht in enerzijds de variabiliteit van de gekozen walsstrategieën, maar anderzijds ook in de walsstrategieën die 'common practices' zijn. Het expliciet maken van de uitvoeringspraktijk helpt om van het huidige ervarings-gebaseerd werken tot een meer methodische werkpraktijk te komen om vervolgens gestructureerd tot procesverbetering te kunnen komen. Op basis van dit verbeterde inzicht kunnen proceskwaliteit en kwaliteitscontrole worden verbeterd.

Keywords: Asfaltverwerking, walsproces, expliciete kennis, ervaring, variabiliteit.

1. **Introductie**

In de huidige technocratische samenleving is de verwachting dat opdrachtnemers de ICT-mogelijkheden aangrijpen om hun proces te verbeteren. Het uitvoeringsproces is echter nog veelal gebaseerd op ervaring en vakmanschap, low-tech, zelden worden instrumenten gebruikt om het uitvoeringsproces gestructureerd en systematisch vast te leggen en er is relatief weinig literatuur beschikbaar over het uitvoeringsproces op de bouwplaats. Opdrachtnemers weten daardoor zelden wat er precies tijdens de uitvoering heeft plaatsgevonden, hoe de werkzaamheden zijn uitgevoerd, hetgeen het haast onmogelijk maakt om goede en slechte uitvoeringspraktijken van elkaar te kunnen onderscheiden. Mede daarom is er ook weinig zicht op de effecten van het uitvoeringsproces op de uiteindelijke kwaliteit van het wegdek. En dit terwijl de significantie van het uitvoeringsproces voor de uiteindelijke kwaliteit, zowel in de literatuur als in de praktijk, wordt onderkend.

In ASPARi-verband is er de afgelopen jaren in samenwerking met elf wegenbouwbedrijven uitgebreid onderzoek verricht naar het asfaltuitvoeringsproces op de bouwplaats. Eerder is er een framework (Process Quality improvement) ontwikkeld om het uitvoeringsproces expliciet te maken om uiteindelijk de proceskwaliteit te verbeteren (Miller, 2010). De kern van dit framework is het systematisch vastleggen van de operationele strategieën en bepalende factoren tijdens het uitvoeringsproces met behulp van o.a. GPS, een laserlinescanner en infrarood camera's.

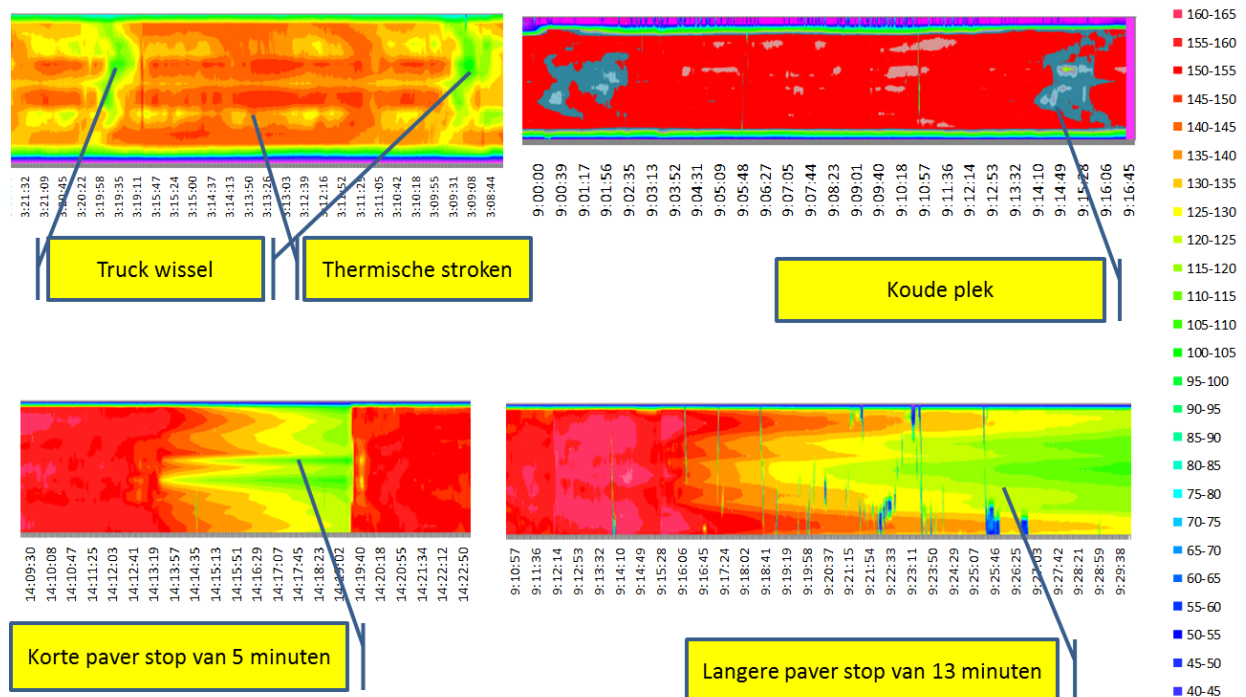
In de internationale wegenbouwindustrie liggen de ontwikkelingen om het wegenbouwproces te professionaliseren ook niet stil. Ten eerste zijn walsleveranciers bezig met nieuwe systemen waarop het aantal walsovergangen in real-time kan worden afgelezen. Ook zijn er mogelijkheden om temperatuursensoren op de wals te plaatsen om te oppervlakte-temperatuur onder en/of voor en achter de wals te meten. Verder zijn er uitbreidingen mogelijk om de dichtheid/stijfheid van asfalt onder de rol te meten door middel van trillen en deflectiemetingen. Het blijkt echter nog moeilijk om deze systemen in de praktijk gericht toe te kunnen passen. Walsleveranciers zijn niet of nauwelijks opgeleid om gericht beslissingen te kunnen nemen op basis van de geleverde informatie, zoals de temperatuur en stijfheid. Daarnaast is er tot op heden ook geen methode of procedure beschikbaar om bijvoorbeeld het optimale aantal walsovergangen, het temperatuurvenster waarbinnen gewalst dient te worden en de dichtheidsranges die behaald moeten worden, te bepalen. Ook instructies voor walsmachinisten ontbreken over het algemeen of ze zijn vrij vaag. Veelal moeten de machinisten de beslissingen nemen op basis van ervaring en opgebouwd vakmanschap in plaats van dat er duidelijke instructies zijn. Tezamen maakt dit het proces- en kwaliteitscontrole te verbeteren, terwijl de veranderende markt en de daarbij horende eisen dit wel vergen.

Het doel van dit onderzoek is om in eerste instantie meer inzicht te verkrijgen in het uitvoeringsproces door het huidige proces expliciet en systematisch vast te leggen. Afgelopen jaren zijn er 29 PQi-metingen uitgevoerd en vastgelegd. Uit deze projecten is de mate van variabiliteit in het uitvoeringsproces bepaald, maar ook werkpraktijken die het meest toegepast worden (common practices). Het doel van deze paper is het beschouwen van de procesvariabiliteit en de common practices en het demonstreren van de methoden om dit te bepalen. In de volgende sectie is de variabiliteit beschouwd voor (1) de asfalttemperatuur achter de balk, (2) de afkoeling van het asfaltmengsel tijdens het uitvoeringsproces, (3) de walsinzet en de uitvoering van het walsproces en (4) de dichtheidsmetingen, nucleair en in het laboratorium. In de sectie daarna worden de common practices voor walsverdichting beschouwd. De paper wordt afgesloten met een discussie van en reflectie op de onderzoeksresultaten en worden er mogelijkheden voor vervolgonderzoek gegeven.

2. Variabiliteit in asfaltverdichting

Variabiliteit in temperatuur achter de balk

De verzamelde data met de linescanner wordt gevisualiseerd door middel van Temperatuur Contour Plots (TCP). In deze plots wordt de oppervlaktetemperatuur achter de balk van de afwerkmachine gevisualiseerd. In deze plots worden de stops van de afwerkmachine duidelijk zichtbaar. In onderstaande figuur zijn voorbeelden van de effecten voor de asfalttemperatuur van truck-wissels, korte stops van de afwerkmachine, langere stops van de afwerkmachine en koude plekken weergegeven.



Van de 29 gemonitorde projecten is deze data achter de afwerkmachine geanalyseerd. Onderstaande tabel geeft een overzicht van het aantal gemeten stops en de afkoeling tijdens deze stops. De stops zijn gecategoriseerd in stops van 0-3 minuten (beschouwd als truck-wissels), 4-9 minuten (korte stops afwerkmachine), 10-15 minuten (lange stops afwerkmachine) en stops langer dan 15 minuten (echte logistieke problemen). Hieruit is het volgende geconcludeerd:

- 140 stops zijn gemonitord in 29 projecten waarin 35 asfaltlagen zijn gemaakt. Bij deze stops waren 50 stops van 0-3 minuten waarbij de oppervlakte-temperatuur gemiddeld 24 °C afkoelde, 61 stops van 4-9 minuten waarin de oppervlakte-temperatuur gemiddeld 32 °C afkoelde, 11 stops van 10-15 minuten waarin de oppervlakte-temperatuur gemiddeld 45 °C afkoelde en 18 stops van 15 minuten of langer met een afkoeling van de oppervlakte-temperatuur tussen de 40 en 100 °C.
- Niet alleen voor de langere stops van de afwerkmachine zijn behoorlijke afkoelingen gemonitord, maar ook bij truck-wissels en korte stops zijn al behoorlijke afkoelingen waargenomen. Een afkoeling van ca. 25 °C moet dus al verwacht worden bij een korte stop van 0-3 minuten.
- De afkoelingssnelheid is logischerwijs afhankelijk van de asfaltdikte die aangebracht moet worden. Een langzamere afkoeling moet verwacht worden bij dikkere lagen (>50

mm), met name bij de stops langer dan 4 minuten. Bij stops van 0-3 minuten zijn deze verschillen niet zo groot tussen dikke en dunne asfaltlagen.

- Bij WMA-asfaltlagen zijn er bij de stops van 0-3 minuten nauwelijks temperatuurverschillen waargenomen. Dit komt omdat de aanlegtemperatuur al een stuk lager is en de afkoelingssnelheid bij die temperaturen ook een stuk lager is.

Er zijn drie projecten met een Shuttle-buggy / Voorlader gemonitord. Op deze projecten zijn eigenlijk alleen maar stops van meer dan 15 minuten gemonitord wanneer er echt een probleem in de logistiek aanwezig was. De kortere stops worden dus door middel van de extra buffer uit het proces gehaald. Er is te weinig data beschikbaar om een vergelijking te kunnen maken tussen de Voorlader en de Shuttle-buggy.

Stops afwerkmachine	HMA-surface layers (30-50 mm)		HMA-base/bind layers (50-80 mm)		WMA-base/bind layers (60-80 mm)	
	12 lagen		20 lagen		3 lagen	
	# stops	gem. T drop	# stops	gem. T drop	# stops	gem. T drop
0-3 minuten	21	25 °C	28	22 °C	1	Nauwelijks waarneembaar
4-9 minuten	17	40 °C	34	33 °C	10	18 °C
10-15 minuten	3	55 °C	7	46 °C	1	30 °C
15-50 minuten	5	63 °C	12	62 °C	1	50 °C

Op basis van de data en de feedback die met sommige asfaltploegen heeft plaatsgevonden kunnen de oorzaken gecategoriseerd worden in drie categorieën:

- Oorzaken tijdens de productie
 - Capaciteit asfaltcentrale
 - Bufferen in de centrale en isolatie in de silo's
 - Één centrale die meerdere bouwplaatsen bevoorraadt
 - Storingen bij de centrales
- Oorzaken tijdens transport
 - Afstand centrale-bouwplaats en route
 - Files
 - Verplichte rusttijden chauffeurs
- Oorzaken tijdens aanleg
 - Geografische condities van het project
 - Snelheid afwerkmachine
 - Capaciteit afwerkmachine
 - Storingen afwerkmachine of walsen
 - Meerdere centrales die één bouwplaats moeten bevoorraden
 - Meerdere afwerkmachines naast elkaar

Variabiliteit in afkoeling

Met behulp van thermokoppels en infraroodcameras is de afkoeling van de asfaltmengsels (zowel oppervlakte als in de asfaltlaag) tijdens het proces op vaste locaties gemonitord. Door op deze vaste locaties de relatie tussen de oppervlakte-temperatuur en de in-asfalt temperatuur te bepalen is het mogelijk om met behulp van de linescanner-data de in-asfalt temperatuur op de gehele bouwplaats te voorspellen (Vasenev et al. 2012). Deze intelligentie kan later in de 'Intelligent Compaction' systemen gestopt worden, zodat bij de juiste temperaturen gewalst kan worden.

Om de afkoelingscurven te analyseren zijn de curves opgedeeld in afkoeling van de starttemperatuur tot 120 °C, afkoeling van 120 °C tot 90 °C en afkoeling van 90 °C tot 60 °C. Deze opdeling is gebaseerd op de in de literatuur bekende walsfasen (voorwalsfase, hoofdverdichtingsfase en nawalsfase). Ook zijn de afkoelingscurven vergeleken met de voorspelde afkoelingscurven in Pavcool (Chadbourn et al. 1998). In onderstaande tabel is de gemonitorde afkoelingsdata weergegeven waaruit de volgende conclusies zijn getrokken:

- De afkoeling van dikkere lagen duurt logischerwijs langer dan de afkoeling van dunne lagen. Bij onder- en tussenlagen duurt het ca. 15-30% langer, voor WMA-mengsels duurt het ca. 15% langer. Dit betekent dat als walsmachinisten binnen bepaalde temperatuurranges moeten walsen ze ook informatie over de laagdikte en de bijbehorende afkoeltijd moeten verkrijgen.
- De data laat zien dat de afkoeling tot 120 °C bij deklagen erg snel gaat. Dus als er vanaf de aanlegtemperatuur tot 120 °C een bepaald aantal walsovergangen uitgevoerd moeten worden, is daar beperkt de tijd voor en moet dit nauwkeuriger gepland worden dan de andere walsfasen.
- Logischerwijs duurt het korter voor de WMA-mengsels om af te koelen tot 60 °C dan voor de HMA-mengsels. Anderzijds beargumenteren verschillende onderzoekers dat WMA-mengsels tot ca. 40 °C verdicht kunnen worden. De vraag is echter hoeveel energie er op welk moment bij de WMA-mengsels ingestopt moet worden op de optimale resultaten te behalen. Als er evenveel walsovergangen uitgevoerd moeten worden vanaf de starttemperatuur tot 90 °C is er immers veel minder tijd beschikbaar. De energie kan er wel bij lagere temperaturen in gestopt worden, maar de vraag is welke effecten dit heeft voor de uiteindelijke kwaliteit. Dit betekent dat walsprocedures voor WMA-mengsels anders zullen zijn dan voor HMA-mengsels.
- Uit de vergelijking tussen de gemonitorde afkoelingscurven de voorspellingen uit PavCool blijkt dat PavCool de werkelijke afkoeling vrij goed voorspelt. Echter, achteraf zijn de exacte laagdikte en de weersomstandigheden bekend, maar het is moeilijk om deze vooraf correct te voorspellen. Dit maakt het moeilijk om de afkoeling vooraf te voorspellen.

<u>Afkoeltijd in minuten</u>	base/bind 80 mm	base/bind 50-60mm	Surf 40-50 mm	Surf 30-35 mm	WMA 80 mm	WMA 60 mm
# projecten gemonitord	6	14	4	8	1	2
# curves gemonitord	14	45	8	24	2	13
Afkoeltijd start tot 120 °C	15	11	6	7	-	-
Afkoeltijd 120 tot 90 °C	21	20	11	9	15	17
Afkoeltijd 90 tot 60 °C	48	41	37	31	57	33
Afkoeltijd start tot 60 °C	84	72	54	46	72	49

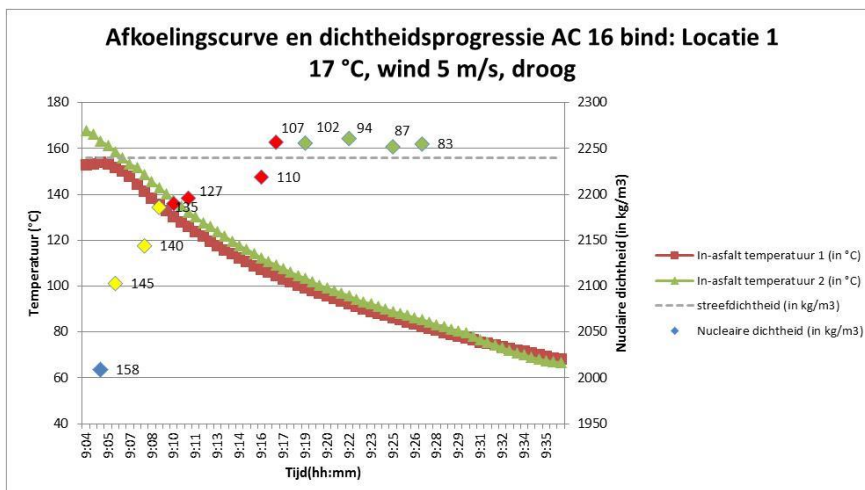
Zowel uit de literatuur als de data is gebleken dat de windsnelheid en de zonne-straling veel invloed hebben op de afkoeltijd van het asfaltmengsel. Daarom zijn er analyses uitgevoerd waarbij de projecten met een hoge en lage windsnelheid en een lage en hoge zonne-straling met elkaar vergeleken zijn. Uit deze analyses is gebleken dat:

- De afkoelingsnelheid bij projecten met een windsnelheid hoger dan 5 m/s significant hoger is dan bij projecten met nauwelijks wind. Dit is het geval in alle delen van de afkoelingscurve, dus zowel van de starttemperatuur tot 120 °C, maar ook van 120 °C tot 90 °C en van 90 °C tot 60 °C.

- Met name bij dunnere asfaltlagen (30-35 mm) heeft deze hogere afkoelsnelheid grote gevolgen voor de beschikbare tijd om walsovergangen uit te voeren. Afkoeling tot 60 °C duurt gemiddeld 30 minuten en afkoeling tot 120 °C duurt gemiddeld 5 minuten. Dit betekent dat er ca. 40-50% minder tijd beschikbaar om de walsovergangen uit te voeren bij projecten met hoge windsnelheden. De aanleg van dunne deklagen bij hoge windsnelheden wordt dus erg kritisch en zal er dus beter gepland en voorbereid moeten worden.
- Ook de verschillen tussen de oppervlakte-temperatuur en de in-asfalt temperatuur worden sterk beïnvloed door de windsnelheid. Bij de dikkere lagen (dikker dan 60 mm) zijn deze verschillen zelfs verdubbeld.
- Ook de zonne-straling heeft een significante invloed op de afkoeling van het asfaltmengsel. Bij een hoge zonne-straling (hoger dan 100 W/m²) duurt de afkoeling van 90 naar 60 °C significant langer, terwijl de invloed op de afkoeling tot 120 °C nihil is. De invloed van de hoge zonne-straling in de temperatuurrange tot 120 °C wordt vaak overschat door de asfaltploeg, waardoor als gevolg vaak te laat wordt begonnen met het walsproces.

Variabiliteit in walsinzet en uitvoering

Tijdens de afkoeling van het asfaltmengsel worden er walsovergangen door verschillende typen walsen uitgevoerd. Voor de 30 gemonitorde projecten is na elke walsovergang de nucleaire dichtheid bepaald. Dit geeft inzicht in de dichtheidsprogressie na elke walsovergang bij een bepaalde temperatuur. Dit wordt weergegeven in grafieken met afkoelingscurven en de dichtheidsprogressie. Een voorbeeld is weergegeven in de figuur hieronder. De impact van verschillende walsen is duidelijk zichtbaar: Voorwalsen met een bandenwals tot ca. 98% verdichting, hoofdverdichting met een tandemwals tot ca. 100% en uiteindelijk nawalsen met een drierolwals om oneffenheden te verwijderen, maar die nauwelijks de dichtheid beïnvloedt. Ook de tijd en temperatuurvensters voor de verschillende walsen worden duidelijk zichtbaar. In dit voorbeeld voert de bandenwals 3 overgangen uit binnen 145 en 135 °C in 4 minuten, voert de tandemwals 4 overgangen uit binnen 135 en 107 °C in 7 minuten en voert de drierolwals 4 overgangen uit binnen 102 en 87 °C in 7 minuten.



Het is echter moeilijk gebleken om duidelijke causale relaties uit de 30 gemonitorde projecten te halen. Dit komt omdat er veel variabiliteit gemonitord is in de gebruikte asfaltsets, het aantal walsovergangen, de tijd- en temperatuurvensters voor verdichting. Een voorbeeld van de vele variabiliteiten is weergegeven in onderstaande tabel, waarin de volgende variabiliteiten zichtbaar zijn voor een AC 16 base/bind (80 mm):

- In 3 projecten zijn 3 verschillende walssets gebruikt: (1) een tandem wals en dan een drierolwals, (2) een combi-wals en een kleine tandemwals voor de naden en (3) een bandenwals en een tandemwals. In het eerste project is ook twee keer de walsvolgorde veranderd. Op locaties 1-4 is eerst een tandemwals en dan een drierolwals gebruikt, op locatie 5 eerst een drierolwals en dan een tandemwals en op locatie 6 alleen een drierolwals.
- Het totaal aantal uitgevoerde walsovergangen varieert van 8 tot 28 overgangen met verschillende walssets. Maar ook binnen 1 project varieert het aantal walsovergangen behoorlijk. Bijvoorbeeld in project 1 varieert het aantal overgangen van 10 tot 17 bij de drierolwals en van 7 tot 11 bij de tandemwals.
- De tijd- en temperatuurvensters waarbinnen verdicht wordt varieert ook aanzienlijk. Bijvoorbeeld de verdichtingstijd van de drierolwals in project 1 varieert van 53 tot 90 minuten en het temperatuurvenster van de tandemwals varieert van 140-100 °C en 120-65°C.
- Ook de tijd tussen de voorverdichting van de afwerkmachine en de eerste walsovergang varieert behoorlijk. Bijvoorbeeld in project 1, waarbij de drierolwals na 2-9 minuten na aanleggen begint met walsen en de drierolwals die begint tussen 10 en 19 minuten na aanleg. Gerelateerd aan de afkoelingscurve, betekent een verschil van 2 minuten na aanleg of 9 minuten na aanleg een temperatuurverschil van 25 °C.
- Er op veel projecten nog walsovergangen uitgevoerd als de streefdichtheid reeds behaald is. Dit varieert van 1 tot 9 walsovergangen nadat de streefdichtheid behaald is. Deze extra walsovergangen beïnvloeden niet direct de dichtheid, maar mogelijk wel de mechanische eigenschappen die uiteindelijk behaald worden.

Mengsel en weersomstandigheden	Locatie	Walstype en volgorde	Aantal overgangen	Verdichtings-tijd	Verdichtings-temperatuur	Tijd tussen ASM en 1ste overgang
Mengsel: HMA - AC 22 base (80 mm) Weer: 15-17 °C, solar 100-200 W/m ² , wind 8-13 km/hr, droog	1	tandemwals	10	38	130-85	5
		drierolwals	15	53	115-60	14
	2	tandemwals	11	30	145-100	2
		drierolwals	17	62	120-65	19
	3	tandemwals	7	43	120-75	7
		drierolwals	17	90	110-70	10
	4	tandemwals	7	43	120-65	9
		drierolwals	15	54	110-65	17
	5	drierolwals	10	65	140-70	10
		tandemwals	11	30	125-60	32
6	drierolwals	14	65	140-65	5	
Mengsel: HMA - AC 22 base (80 mm) Weer: 5-10 °C, wind 5-8 km/hr, regen	1	combi-wals	8	30	130-90	8
		small tandem	naden			
	2	combi-wals	12	35	110-60	15
		small tandem	naden			
Mengsel: HMA - AC 22 base (80 mm) Weer: 15-25 °C, solar 200-700 W/m ² , wind 0-1 km/hr, droog	1	bandenwals	6	11	150-125	2
		tandemwals	11	35	125-80	16
	2	bandenwals	6	6	155-140	1
		tandemwals	9	27	140-90	7
	3	bandenwals	6	11	155-120	2
		tandemwals	11	35	120-80	17
	4	bandenwals	5	4	130-100	1
		tandemwals	8	29	100-75	8

Variabiliteit in dichtheidsmetingen

Vervolgens zijn op de locaties waar de afkoeling en dichtheidsprogressie is gemonitord kernen geboord en geanalyseerd in het laboratorium. Niet op alle projecten was het mogelijk om kernen te boren, maar op 23 projecten zijn er 130 kernen geboord. Van deze kernen is de nucleair gemeten dichtheid vergeleken met de kerndichtheid in het laboratorium. Er is geen goede relatie tussen de nucleaire dichtheid en de lab-dichtheid gevonden ($R^2 = 0,68$). In onderstaande tabel zijn de verschillen tussen de lab-dichtheid en nucleaire dichtheid per asfaltsoort weergegeven (in kg/m^3).

<i>Versillen nucleaire en lab-dichtheid (in kg/m^3)</i>	<i>base/bind 80 mm</i>	<i>base/bind 50-60mm</i>	<i>WMA 60-80 mm</i>	<i>Surf 40-50 mm</i>	<i>Surf 30-35 mm</i>
<i>Gemiddeld verschil</i>	-27	-1	-61	-24	13
<i>Minimum verschil</i>	-81	-76	-213	-120	-102
<i>Maximum verschil</i>	55	93	-7	41	137
<i>Standaardafwijking</i>	38	53	39	46	59

* Een negatief getal betekent dat de nucleaire dichtheid hoger is dan de dichtheid bepaald in het lab

3. Common practices asfaltverdichting

Van de 30 gemonitorde projecten is bepaald welke walssets zijn gebruikt. Dit is weergegeven in onderstaande tabel per asfaltsoort. Hieruit blijkt dat lang niet altijd dezelfde walsset wordt gebruikt voor een bepaalde asfaltsoort en dat dit afhankelijk is per aannemer en van de beschikbaarheid. Alleen voor de AC Surf (30-35mm) is op 6 van de 7 projecten eerst een drierolwals en daarna een tandemwals gebruikt. Deze 6 projecten zijn vervolgens verder geanalyseerd om de meest gebruikte walsstrategie (common practices) te bepalen.

<i>base/bind 80 mm (3 projecten)</i>	<i>base/bind 50-60mm (12 projecten)</i>	<i>WMA 60-80 mm (4 projecten)</i>	<i>Surf 40-50 mm (3 projecten)</i>	<i>Surf 30-35 mm (7 projecten)</i>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>tandem, drierol</i> • <i>combi, kleine tandem</i> • <i>banden, tandem</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>banden, tandem, drierol (3x)</i> • <i>tandem, drierol (3x)</i> • <i>drierol, tandem, tandem</i> • <i>banden, tandem</i> • <i>combi, tandem</i> • <i>tandem, tandem</i> • <i>kleine tandem, tandem</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>tandem, drierol(2x)</i> • <i>drierol, tandem</i> • <i>kleine tandem, tandem</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>kleine tandem, tandem (2x)</i> • <i>drierol, tandem</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>drierol, tandem (6x)</i> • <i>tandem, drierol</i>

* Het getal in haakjes correspondeert met de frequentie van gemonitorde walssets

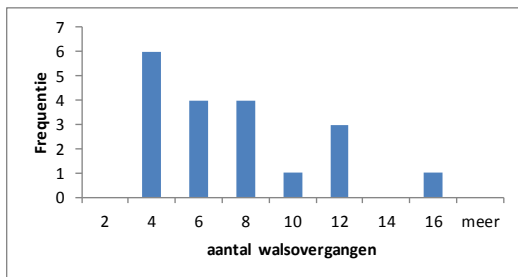
Op basis van de temperatuur en dichtheidsmetingen zijn voor deze 6 projecten bepaald: (1) het aantal walsovergangen, (2) de totale verdichtingstijd, (3) de begintemperatuur waarop begonnen is met verdichten en (4) de temperatuur waarop gestopt is met walsen. Vervolgens zijn de frequenties bepaald en weergegeven in histogrammen. Deze histogrammen zijn weergegeven in onderstaande figuren. Uit deze histogrammen zijn de common practices voor de verdichting van een AC Surf (30-35 mm) bepaald:

- De drierolwals voert tussen de 4 en 8 walsovergangen uit in 10-20 minuten, waarbij verdichting wordt begonnen tussen 160-130 °C en verdichting stopt tussen 100-90 °C.

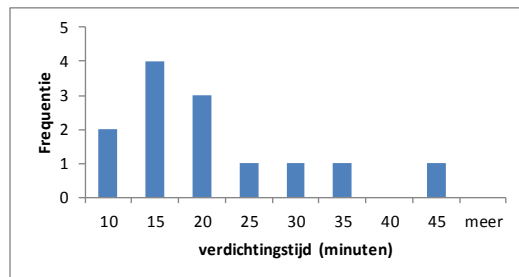
- De tandemwals voert tussen de 6 en 8 walsovergangen uit, waarbij verdichting wordt begonnen tussen 110-80 °C en verdichting stopt tussen 60-50 °C. De verdichtingstijd is erg afhankelijk van de weersomstandigheden en dus de afkoeltijd.

De walsstrategie zal natuurlijk afhankelijk zijn van de weersomstandigheden en project condities. Omdat er echter slechts 7 metingen op dit mengsel zijn uitgevoerd is het nog te voorbarig om de walsstrategie op te splitsen voor verschillende omstandigheden. Als meer projecten worden gemonitord kan dit natuurlijk wel worden gedaan. Ook betekent het toepassen van deze walsstrategie niet per definitie dat de streefdichtheid wordt behaald. Dit is echter wel de meeste toegepaste walsstrategie, gebaseerd op jarenlange ervaring van walsmachinisten.

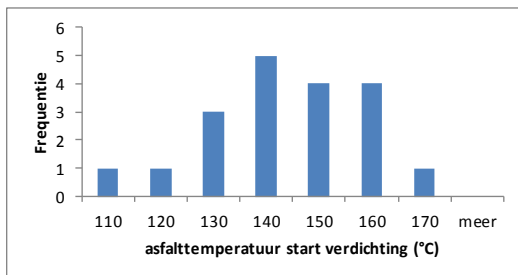
Common practices drierolwals SMA 0/8 30-35 mm



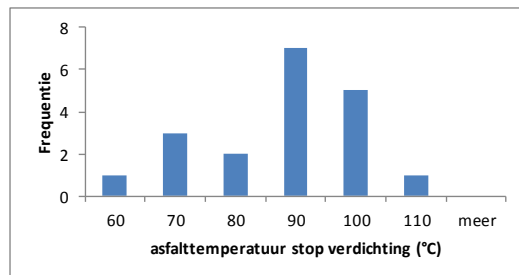
4-8 walsovergangen



in 10-20 minuten

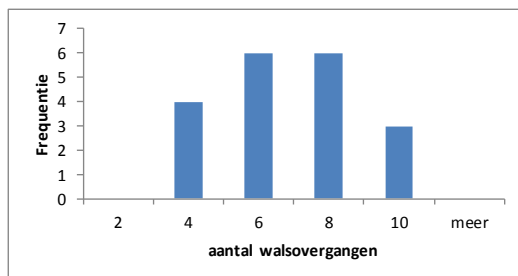


start verdichting tussen 160-130 °C

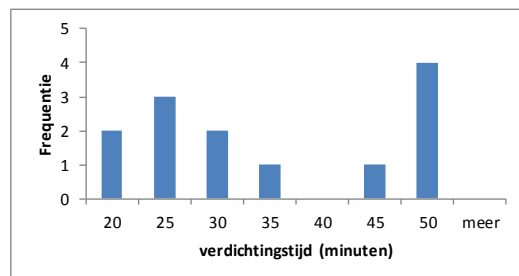


stop verdichting tussen 100-90 °C

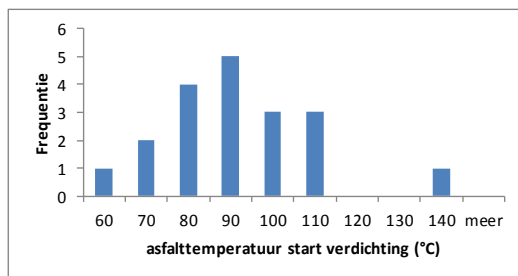
Common practices tandemwals SMA 0/8 30-35 mm



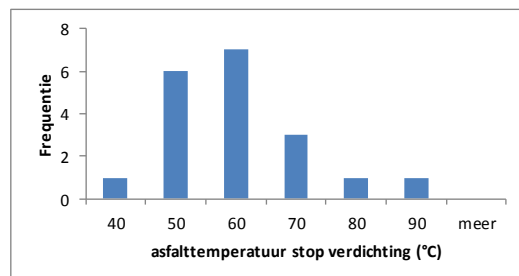
6-8 walsovergangen



verdichtingstijd afhankelijk van de weersomstandigheden



start verdichting tussen 110-80 °C



stop verdichting tussen 60-50 °C

4. Discussie en conclusies

Professionalisering van het uitvoeringsproces is noodzakelijk om in te kunnen spelen op de veranderingen die gaande zijn in de markt. Deze paper heeft de variabiliteit in het uitvoeringsproces laten zien en ook de common practices voor walsverdichting van één specifiek asfaltmengsel. Uit 30 PQi-metingen blijkt dat er veel variabiliteit in de Nederlandse uitvoeringspraktijk aanwezig is. 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. Ook blijkt er veel variabiliteit tussen de nucleaire dichtheid en de lab-dichtheid. Dit is aanleiding om de nucleaire metingen in de praktijk extra onder de loep te nemen in vervolgonderzoek. Verder is een methode gedemonstreerd om uit de data-set van PQi-projecten ‘common practices’ te bepalen. Voor een AC Surf (30-35 mm) is een common practice bepaald waarbij eerst een drierolwals 4 en 8 walsovergangen uitvoert in 10-20 minuten, waarbij verdichting wordt begonnen tussen 160-130 °C en verdichting stopt tussen 100-90 °C, waarna een tandemwals 6 en 8 walsovergangen uitvoert, waarbij verdichting wordt begonnen tussen 110-80 °C en verdichting stopt tussen 60-50 °C.

De belangrijkste aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn:

- In de nabije toekomst:
 - 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. Ook zal er meer gericht data verzameld moeten worden om de hoeveelheid variabelen te beperken.
 - De eerste projecten die gemonitord zijn volgens de PQi-methode zijn inmiddels ca. 7 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.
 - De afgelopen jaren is gebleken dat wegenbouwbedrijven 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. Stappen die nog gezet moeten worden zijn het verder versimpelen en het plug-and-play maken van de technologieën en een verdere standaardisering en automatisering om sneller feedback te kunnen geven. De eerste stappen hiervoor zijn inmiddels gezet door een gestructureerde import-wizard en database te maken om de data op te slaan, zodat automatisch de visualisaties gemaakt kunnen worden (Vasenev et al. 2013).
- Langere termijn:
 - Op de langere termijn moeten ook de machine leveranciers verder professionaliseren om hun systemen zo aan te passen dat wegenbouwbedrijven en walsmachinisten het uitvoeringsproces werkelijk kunnen vastleggen en analyseren.
 - Wanneer de systemen in real-time bruikbare informatie kunnen produceren, kunnen gerichte procedures en instructies naar de asfaltploegen worden ontwikkeld op basis van de expliciet gemonitorde projecten en feedback van de asfaltploegen.

Dankbetuiging

Voor het werk en hun inzet in de PQi-werkgroep bedanken wij: Marco Oosterveld (BAM Wegen), Peter van Hinthem (Heijmans), Mahesh Moenielal (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), André Bakker (MNO), Rudi Dekkers (KWS).

Referenties

- Bijleveld, F.R. 2010. *Temperatuur- en tijdsvensters verdichten asfaltmengsels op basis van mechanische eigenschappen*. Construction Management and Engineering. Enschede, The Netherlands, University of Twente. M.Sc. thesis, 2010.
- Bijleveld, F.R., Miller, S.R., Dorée, A.G. 2014. *On-site process variability and common practices: A case in asphalt compaction*. Forthcoming CIB-conference 2014, Sri Lanka, 4-7 May 2014.
- Chadbourn, B. A., Newcomb, D. E., Voller, V. R., Desombre, R. A., Luoma, J. A., and Timm, D. H. 2001. *An asphalt paving tool for adverse conditions*. Minnesota Dept. of Transportation Final Report MN/RC-1998, 18.
- Miller, S.R. 2010. *Hot mix asphalt construction: towards a more professional approach*. Construction management and engineering, Enschede, The Netherlands, University of Twente. PhD Thesis, 2010.
- ter Huerne, H. L. 2004. *Compaction of asphalt road pavements using finite elements and critical state theory*. Construction Management and Engineering. Enschede, University of Twente. PhD Thesis, 2004.
- Timm, D. H., Voller, V. R., Lee, E., and Harvey, J. 2001. *Calcool: A multi-layer Asphalt Pavement Cooling Tool for Temperature Prediction During Construction*. International Journal of Pavement Engineering 23: 169–185, 2001.
- Vasenev, A. Hartmann, T., Dorée, A.G. 2012. Prediction of the in-asphalt temperature for road construction operations. Proceedings of the 2012 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering, 469-476.
- Vasenev, A., Ionita, D., Bijleveld, F.R., Hartmann, T., & Doree, A.G. 2013. *Information fusion of GNSS sensor readings, field notes, and expert's a priori knowledge*. Paper presented at the EG-ICE workshop 2013, Vienna, Austria, , 1-3 July 2013.