

KOAC-NPC

Esscheweg 105
5262 TV Vught

Tel. 088 562 26 72
Fax 088 562 25 11
info@koac-npc.com
www.koac-npc.com

e120323701-3

Leidraad voor kwaliteitszorg bij het aanleggen
van bekledingen van vol en zat gepenetreerde
breuksteen

Projectnummer : e120323701-3
Offertenummer en datum : o121211/ov/ivv d.d. 24 januari 2013
Titel rapport : Leidraad kwaliteitszorg gepenetreerde breuksteen
Status rapport : definitief

Naam opdrachtgever : Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Adres : Postbus 250
Plaats : 1700 AG HEERHUGOWAARD
Naam contactpersoon : de heer Dhr. J. Haanstra
Datum opdracht : 21 mei 2013
Kenmerk opdracht : 13.21052

Contactpersoon KOAC·NPC : ing. I.H.B. van Vilsteren
Auteur(s) rapport : ir. M.P. Davidse,
ing. I.H.B. van Vilsteren

Rapportage

Naam: ir. M.P. Davidse

Functie: Adviseur

Handtekening:



Datum: 14 oktober 2015

Autorisatie

Naam: ing. A.K. de Looff

Functie: Manager productgroep
Advies

Handtekening:



Datum: 14 oktober 2015

Zonder schriftelijke toestemming van KOAC·NPC mag het rapport niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding	4
1.2	Probleemdefinitie	5
1.3	Afbakening	6
1.4	Leidraad in ontwikkeling	6
1.5	Organisatie	7
2	Vorbereiding	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Contractfase	8
2.3	Uit te voeren materiaalonderzoek	8
2.4	Afspraken ten aanzien van de kwaliteitscontrole	11
3	Kwaliteitscontrole	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Benodigde gegevens	12
3.3	Vaststellen laagdikte	12
3.4	Vaststellen vullingsgraad	14
3.5	Overige controles	15
4	Beoordeling vullingsgraad	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Berekening van de vullingsgraad	17
4.3	Vastleggen variatie van materiaaleigenschappen	17
4.4	Berekening van de vullingsgraad met een Niveau II benadering	18
4.5	Voor- en nadelen van deze methode	22
5	Maatregelen	23
5.1	Inleiding	23
5.2	Resultaten uitgevoerde proeven tijdens het werk	23
5.3	Volgorde verificatie	23
6	Praktijkcase Wieringermeerdijk	25
6.1	Inleiding en doel	25
6.2	Contractkeuze Wieringermeerdijk	25
6.3	Uitvoering	26
6.4	Kwaliteitscontrole, voor- en nadelen van de gebruikte methode	28
6.5	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	30
7	Referenties	31
	BIJLAGE 1 Parameterlijst	
	BIJLAGE 2 Niveau klasse II benadering	
	BIJLAGE 3 Praktijkproef vol en zat penetreren van waterbouwstenen met gietasfalt	

1 Inleiding

1.1 Vol en zat gepenetreerde breuksteen bekleding

Verskillende dijken in Nederland worden versterkt door een laag breuksteen aan te leggen waarvan de tussenruimten worden opgevuld met gietasfalt. Deze bekleding noemen we een vol en zat gepenetreerde breuksteenbekleding. De aanwezigheid van holten die niet gevuld zijn met gietasfalt, wordt gezien als het belangrijkste risico bij de aanleg van dit type bekledingen. Deze holten vormen een risico voor de bekleding, doordat, wanneer deze holten met elkaar en met het open water in verbinding staan, golfklappen wateroverdrukken onder deze gesloten dijkbekleding kunnen veroorzaken. Vooral wanneer de watervoerende capaciteit groot is kan dit leiden tot opdrukken en uitbreken van de dijkbekleding en schade aan het onderliggende dijklichaam.

De aanwezigheid van holle ruimten wordt bezwaarlijk geacht, zodra er sprake is van:

- Gruisophoppingen onderin de bekleding over een oppervlak van 1 m² met een dikte van 2 centimeter of meer die zich voordoen in de golfklapzone. Dit criterium is vastgesteld door de projectgroep Asfalt in november 2013.
- Minder dan 90 % vulling van de holle ruimte in het onderste 2/3^e deel van de laag breuksteen.

Het tweede criterium wordt gehanteerd bij de beoordeling van de aangebrachte dijkbekleding door middel van kernboringen. Hierin worden tevens eisen aan de lengte van de boorkernen gesteld, opdat de bekleding de minimaal vereiste dikte bezit en er ook voldoende gietasfalt in aanwezig is. Bovendien mogen er geen losse delen onderin het boorgat aanwezig zijn. Hierin worden defecten kleiner dan 1 m² in de regel niet bezwaarlijk geacht.

Ten behoeve van de uitvoering van gepenetreerde breuksteen is in de afgelopen jaren exact in het bestek beschreven wat de aannemer diende te leveren. Daarbij moet gedacht worden aan het type steen, de toe te passen sortering, de minimale laagdikte, het toepassen van asfaltmastiek of gietasfalt. De bestekken zijn gebaseerd op de RAW-systematiek. Daarbij was de hoeveelheid geleverde steen als ook het aantal tonnen mastiek of gietasfalt verrekenbaar tot een afgesproken maximum. De aannemer had er in dat geval voordeel bij om in geen geval tekort aan laagdikte aan te brengen danwel te weinig gietasfalt toe te passen. Het sturen op grotere hoeveelheden had voordelen; voor de aannemer doordat hij meer in rekening kon brengen; voor de opdrachtgever omdat de bekleding nooit krap aan de eisen voldeed, maar vaker overgedimensioneerd uitgevoerd werd.

Bij prestatiegerichte contracten geldt een aangepaste aanpak in het bestek. De opdrachtgever beschrijft in het contract de prestatie die door de opdrachtnemer geleverd moet worden. In het contract is niet exact aangegeven met welke materialen en hoeveel materiaal de aannemer hiervoor zal toepassen. De opdrachtnemer zal zelf met zijn kennis en ervaring hierin keuzes moeten maken.

Een mogelijke aanpak bij aanleg van een nieuwe dijkbekleding is een controle op holten en gruisophoppingen door een zeer groot aantal kernboringen uit te voeren (globaal eens per 10 meter). De kans dat holten zo worden opgespoord is echter klein (orde 1 %), daarnaast zijn de

boringen ook kostbaar. Om deze reden is deze leidraad voor de kwaliteitscontrole van dit type dijkbekleding opgesteld, die uitgaat van de beschikbare gegevens tijdens de aanleg.

1.2 Probleemdefinitie

Het beschrijven van een prestatie-eis in het bestek in plaats van het volledig beschrijven van het te leveren product, brengt enkele risico's met zich mee. De belangen van de opdrachtgever en de aannemer zijn anders en zij zullen daarom andere keuzes maken.

Specifiek kan genoemd worden dat de aannemer niet meer per ton gietasfalt betaald wordt en zodoende zal sturen op het zo zuinig mogelijk toepassen van dit materiaal (aangezien dit de duurste bouwstof in deze bekleding is). Wanneer de opdrachtgever de keus zou hebben zou deze eerder kiezen voor een grotere hoeveelheid gietasfalt om zo ook in de toekomst een veilige marge te behouden bij het beheer van de dijk.

De vrachten breuksteen worden waarschijnlijk per schip en/of per vrachtwagen geleverd. Bij het laden en lossen ontstaat altijd een deel breuk en ontmenging. Het fijne materiaal komt meestal onderin het schip/ de vrachtwagen terecht. Aangezien ook dit materiaal niet verrekenbaar is, zal de aannemer erop sturen dat (vrijwel) de volledige vracht wordt gebruikt om hierin zo min mogelijk verlies te moeten nemen. Aangezien het fijne materiaal zich ophoopt onderin het schip/ vrachtwagen bestaat de kans dat bij het lossen op de werkplek dit materiaal op één plaats komt te liggen. Vanuit het perspectief van de opdrachtgever zou deze juist ervoor kiezen zo min mogelijk fijn materiaal toe te passen en hierin de veilige kant van de gradering aan te houden opdat de bekleding eenvoudiger gevuld kan worden met gietasfalt en het risico op holten door gruisophoppingen wordt geminimaliseerd.

Enkele risico's die tijdens de uitvoering kunnen optreden zijn hieronder opgenomen;

1. De penetratie is in orde maar er is een tekort aan laagdikte van de vol en zat gepenetreerde breuksteen.
2. Plaatselijk ontbreekt de penetratie aan het oppervlak met als gevolg, losliggende stenen aan het oppervlak.
3. Plaatselijk ontbreekt de penetratie over (vrijwel) de volle hoogte.
4. Er is onvoldoende diep gepenetreerd in de breuksteenlaag die wel dik genoeg was.
5. De penetratie bevat extreem veel luchtinsluitingen.
6. De penetratie bevat veel met elkaar verbonden holle ruimten (tot op de onderlaag toe).
7. Er is een overschot aan penetratie.
8. Er is een overschot van penetratiemortel nabij de teen van de constructie, hoger op het talud is een tekort.
9. De breuksteen heeft een (te) groot gehalte fijne fracties of vervuiling met andere materialen waardoor holtes dichtslibben en hier onvoldoende gietasfalt kan penetreren.
10. De breuksteen heeft een dermate grote fractie dat de holten tussen de stenen groter zijn dan Ø 0,25 meter.

Door de opdrachtgever wordt in de meeste (prestatiegerichte of RAW-) projecten slechts beperkt een toetsing uitgevoerd op het geleverde product. De aandacht wordt verlegd naar het toetsen van de kwaliteitsborging die door de aannemer wordt uitgevoerd.

1.3 Afbakening

Deze leidraad heeft betrekking op het bepalen van de vulling van vol en zat gepenetreerde breuksteen ten behoeve van de tussentijdse beoordeling tijdens de aanleg van nieuw aangelegde bekledingen. Doel is te voorkomen dat er delen van de bekleding niet voldoende gevuld zijn met gietasfalt en zodoende niet aan de ontwerplevensduurverwachting voldoen. Tevens maakt het tussentijds beoordelen van de vullingsgraad het mogelijk om daar waar nodig nog bij te sturen in opvolgende fasen in het project.

Voor de leidraad wordt de volgende categorische beschrijving van de dijkbekleding gehanteerd:

- Type kering: waterkering
- Functionele zone: buitentalud
- Waterkerend element: Breuksteen met gietasfalt
- Inspectieparameter: laagdikte en vulling
- Kwaliteitsklasse: voldoende vertrouwen / twijfel (leidt tot nader onderzoek). Een uitspraak hierover moet volgen uit deze leidraad.

Bij het opstellen van de leidraad zijn de genoemde proefnummers en artikelen uit de Standaard RAW bepalingen 2015 gebruikt waarbij wordt opgemerkt dat de nummers niet zijn gewijzigd ten opzichte van de Standaard RAW bepalingen 2010.

1.4 Leidraad in ontwikkeling

De leidraad is ontwikkeld op basis van een groot onderzoek op de Wieringermeerdijk, waarbij diverse parameters zijn gerapporteerd en geanalyseerd. De leidraad is de eerste aanzet om te komen tot een definitief protocol. De leidraad wordt verder ontwikkeld en waar nodig aangescherpt gedurende de uitvoering van verschillende nieuwe projecten.

De leidraad kan zowel bij contracten onder RAW worden ingezet als ook bij (geïntegreerde) contracten binnen UAV-gc. Wanneer de aannemer de bepaling van de laagdikte en vulling uitvoert volgens het protocol dan kan deze daarmee zijn eigen proces sturen en daarmee tevens bij de opdrachtgever aantonen kwaliteitsborging op het proces uit te voeren.

De opdrachtgever kan de leidraad inzetten ter beoordeling en sturing van de processen bij het geleverde werk of bij oplevering van het dijkvak. Het is raadzaam in beide gevallen in het bestek of contract duidelijk aan te geven dat het inspectieprotocol wordt gehanteerd om de kwaliteit vast te stellen en wat de consequenties zijn wanneer afwijkingen worden vastgesteld, zodat dit voor alle partijen duidelijk is. Een consequentie kan bijvoorbeeld zijn dat wanneer gevraagde gegevens niet geleverd worden er meer boorwerk uitgevoerd moet worden om de kwaliteit van de bekleding aan te tonen.

1.5 Organisatie

De leidraad kwaliteitszorg vol en zat gepenetreerde breuksteenbekledingen is geschreven in opdracht van het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. De opstellers van dit rapport zijn:

ir. M.P. Davidse	KOAC·NPC
ing. I.H.B. van Vilsteren	KOAC·NPC
ing. A.K. de Loeff	KOAC·NPC
drs. J. Haanstra	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
ing. F. van der Horst	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
dhr. B. Kuiper	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

De leidraad is becommentarieerd door de volgende personen:

ing. J. Hoed MBA	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
ing. R.A. Joosten	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
ing. Y. Provoost	Rijkswaterstaat

Daarnaast is de leidraad voorgelegd aan de klankbordgroep asfaltdijkbekledingen. Het commentaar van de klankbordgroep is verwerkt in deze leidraad.

2 Voorbereiding

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is een beschrijving gegeven van de voorbereidingen die moeten worden genomen wanneer een vol en zat gepenetreerde breuksteen moet worden aangelegd op een dijklichaam. De voorbereiding begint in de fase waarin het contract wordt opgesteld door de opdrachtgever. De opdrachtgever moet bij het opstellen van het contract vaststellen wat de wensen zijn ten aanzien van de bekleding. Deze wensen moeten worden omgezet in eisen in het contract en de wijze van controle en gegevensinwinning plaats gaat vinden. Onderdeel van het proces is dat voor de aanvang van het werk een vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek worden uitgevoerd. De gegevens uit deze onderzoeken zijn de basis voor de rest van het werk en worden gebruikt om de kwaliteitszorg uit te voeren. In dit hoofdstuk is per fase een beschrijving gegeven hoe het proces doorlopen kan worden en wat de aandachtspunten zijn.

2.2 Contractfase

In de fase waarin het contract wordt opgesteld moet voor de opdrachtgever en de opdrachtnemer duidelijk zijn hoe de kwaliteitscontrole wordt uitgevoerd. De kwaliteitscontrole moet voldoende vertrouwen hebben van de opdrachtgever zodat duidelijk is wat de kwaliteit is van het geleverde product. Voor de opdrachtnemer is het van belang dat duidelijk is hoe de kwaliteitscontrole wordt uitgevoerd zodat inzicht kan worden verkregen in de kosten die deze controle met zich meebrengt.

Zoals in de inleiding is beschreven moet in het contract zijn opgenomen dat een vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek wordt uitgevoerd. Deze twee onderzoeken moeten worden uitgevoerd om op zoek te gaan naar de juiste materialen en juiste methode van aanleg. Deze onderzoeken zijn het uitgangspunt van het werk van waaruit de kwaliteitszorg wordt gestart.

2.3 Uit te voeren materiaalonderzoek

2.3.1 Vooronderzoek

Met het vooronderzoek (proef 57.1 uit de standaard RAW 2015, [1]) wordt de juiste samenstelling van het gietasfalt bepaald. Hiervoor wordt eerst de asfaltmestiek ontworpen (proef 58 uit [1]). Hierbij wordt de korrelverdeling bepaald (proef 11.0 uit [1]), de Engelsmannproef uitgevoerd (proef 90 uit [1]), het theoretisch bitumengehalte bepaald en gebruik gemaakt van de hellingproef (proef 59 uit [1]) om het benodigde percentage bitumen te bepalen. De ontwerpsamenstelling van het gietasfalt is weergegeven in artikel 52.56.09 van [1].

Als aanvulling bij de ontwerpsamenstelling wordt opgemerkt dat de korrelverdeling van het gietasfalt en de breuksteen op elkaar afgestemd moet worden. Zo moet van de korrelverdeling D_{85} van het gietasfalt kleiner zijn dan D_{15} van het breuksteen.

Het doel van het vooronderzoek is het bepalen van de juiste mengselsamenstelling uit een combinatie van materialen waarmee voldoende vloeieigenschappen verkregen worden. Het mengsel moet uiteindelijk geschikt zijn om de breuksteen voldoende te penetreren op het talud. Een laag viskeus mengsel zal uitlopen naar de teen van het talud, een te hoog viskeus

mengsel blijft boven op de steensortering liggen. Er worden geen eisen gesteld aan de sterkte van de bekleding. De ontwerpsamenstelling zoals beschreven in artikel 52.56.09 van [1] geeft enige garantie van het gebruik van voldoende bitumen om een sterkte te garanderen. De sterkte van het mengsel wordt momenteel echter niet getoetst.

Het volledige vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek wordt door de aannemer uitgevoerd en gerapporteerd en ter controle bij de opdrachtgever ingediend conform artikel 52.54.01.

Nadat de juiste samenstelling van het gietasfalt is verkregen, wordt het geschiktheidsonderzoek uitgevoerd.

2.3.2 Geschiktheidsonderzoek

Het geschiktheidsonderzoek wordt uitgevoerd om te testen of het mengsel, gekozen op basis van het vooronderzoek, de gekozen breuksteensortering voldoende penetreert.

Voor het geschiktheidsonderzoek wordt 16 ton gietasfalt geproduceerd. Afhankelijk van de laagdikte, de breuksteensortering en het gietasfalt wordt ongeveer 60-75 m² bekleding aangelegd. Van deze 16 ton moet worden vastgesteld of deze voldoet aan het vooronderzoek. Zo kan de vloeitijd worden bepaald met de hellingproef en kan de samenstelling worden bepaald door de bitumen te extraheren en te beproeven. Met een zeefproef kan de korrelverdeling van het aggregaat worden bepaald. Het hier beschreven geschiktheidsonderzoek is proef 57.2 uit [1]. De opdrachtnemer moet tijdens het geschiktheidsonderzoek de 16 ton gietasfalt verwerken volgens de verwerkingsmethode die zal worden gebruikt bij de uitvoering van het werk. Wanneer bij uitvoering van het uiteindelijke project afgeweken wordt van de verwerkingsmethode gebruikt bij het geschiktheidsonderzoek, moet opnieuw een geschiktheidsonderzoek plaatsvinden.

Om vast te stellen of het gietasfalt voldoende penetreert kunnen thermokoppels tot onderin de breuksteen worden geplaatst voordat het gietasfalt wordt aangebracht. De thermokoppel registreert of een temperatuurverhoging plaatsvindt doordat het gietasfalt de thermokoppel bereikt.

Wanneer uit het geschiktheidsonderzoek blijkt dat onvoldoende penetratie plaatsvindt kan het gietasfaltmengsel aangepast worden. Er moet dan een nieuw vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek uitgevoerd worden. Ook kan het type breuksteen, of de sortering aangepast worden. In hoofdstuk 6 is informatie gegeven over de invloed van de breuksteensortering op de vullingsgraad.

2.3.3 Overige onderzoeken

Voor de contractfase is het van belang om een aantal proeven op te nemen in het contract. De proeven dienen om tijdens de uitvoering van het werk zicht te houden op de kwaliteit van de materialen die worden toegepast en de samenstelling en eigenschappen. In bijlage 1 van dit rapport is een tabel opgenomen waarin de eigenschappen en proeven zijn genoemd. Ook de frequentie waarmee deze proeven kunnen worden uitgevoerd, zijn genoemd in de bijlage. Er is onderscheid gemaakt tussen proeven die uitgevoerd moeten worden tijdens het vooronderzoek, geschiktheidsonderzoek en tijdens het werk. Deze gegevens zijn nodig om vast te stellen of deze materialen continu dezelfde eigenschappen hebben en dus tijdens het werk gelijk zijn (en

om indien nodig bij te kunnen sturen). Daarnaast worden de gegevens gebruikt om te toetsen of de vullingsgraad van de bekleding voldoende is. Hierover is meer informatie opgenomen in hoofdstuk 3 en 4.

Tijdens en/of voorafgaand aan het geschiktheidsonderzoek moeten de volgende eigenschappen worden bepaald:

- De dichtheid van het proefstuk van het gietasfalt moet 8 maal met proef 82 uit [1] worden bepaald;
- De dichtheid van het mengsel van het gietasfalt moet 8 maal met proef 83 uit [1] worden bepaald;
- Met de dichtheid van het proefstuk en de dichtheid van het mengsel wordt vervolgens met proef 84 uit [1] de holle ruimte in het gietasfalt berekend;
- Het percentage holle ruimte van de breuksteen moet 8 maal worden bepaald.

De eigenschappen moeten 8 maal worden bepaald om inzicht te krijgen in de spreiding van de materiaaleigenschappen. Het is daarom belangrijk om de proefmonsters niet gelijktijdig te nemen maar verdeeld tijdens het geschiktheidsonderzoek. Er kan bijvoorbeeld bij aanvang van het ingieten van het gietasfalt een monster worden genomen uit de bak van de kraan en vervolgens na verwerken van elke 2 ton gietasfalt. In proef 57.2 is beschreven hoe de monsterneming uitgevoerd kan worden. Opgemerkt wordt dat voorkomen moet worden dat een monster van een ontmengt gietasfalt genomen wordt. Het is daarom aan te bevelen om grote monsters te nemen voor het bepalen van de steen-mortel verhouding.

Vervolgens moet tijdens het werk per 2000 ton breuksteen het percentage holle ruimte opnieuw worden bepaald. Het percentage holle ruimte in de breuksteen wordt bepaald door in een vloeistofdichte bak met een oppervlak van minstens 4 m² op de bodem de breuksteenbekleding aan te brengen zoals in het werk wordt beoogd. Het gewicht van de lege bak en volle bak wordt gemeten. Vervolgens wordt water toegevoegd tot een niveau van vulling (van gietasfalt) zoals op het werk beoogd. Het gewicht wordt opnieuw bepaald inclusief toegevoegd water. Het waterniveau in de (horizontale) bak wordt opgemeten. De holle ruimte in de breuksteen kan worden berekend met de volgende formule:

$$HR_{breuksteen} = \frac{M_{water/\rho_{water}}}{V_{water.bak}} \cdot 100$$

Waarin:

$HR_{breuksteen}$	= De holle ruimte in de breuksteen	(%)
M_{water}	= De massa van het toegevoegde water	(kg)
ρ_{water}	= De dichtheid van het water	(kg/m ³)
$V_{water.bak}$	= Het volume van het gevulde deel van de bak	(m ³)

$V_{water.bak}$ wordt bepaald door het opgemeten waterniveau (m) te vermenigvuldigen met het oppervlak (4 m²). Eventueel kan ook tijdens het pompen de hoeveelheid water worden geregistreerd om zo het volume te bepalen.

Van het gietasfalt moet per dag van uitvoering van het werk de dichtheid van het proefstuk worden bepaald. Daarnaast moet per 200 ton gietasfalt de dichtheid van het mengsel (proef 83 uit [1]) worden bepaald en de holle ruimte van het gietasfalt worden berekend (proef 84 uit [1]).

Ook de samenstelling van het gietasfalt moet per 200 ton gietasfalt worden bepaald (proef 52 uit [1]).

Wanneer een gekozen bouwstof tussentijds wordt vervangen door een nieuwe bouwstof, moet opnieuw een geschiktheidsonderzoek worden uitgevoerd. Bij veranderende bouwstoffen in het gietasfalt moet ook het vooronderzoek opnieuw uitgevoerd worden. De proeven zoals beschreven in deze paragraaf moeten opnieuw uitgevoerd op de bouwstof die veranderd is. Dit 8 maal tijdens het geschiktheidsonderzoek en opnieuw per 200 ton gietasfalt of 2000 ton breuksteen. Tevens moet vastgelegd worden vanaf welke dag en welke locatie het nieuwe materiaal wordt toegepast (in rapporten en/of tekeningen).

Een samenvatting van het materiaalonderzoek dat uitgevoerd moet worden, is weergegeven in Bijlage 1. De frequentie waarmee de proeven moeten worden uitgevoerd, zijn ook in bijlage 1 vermeld.

2.4 Afspraken ten aanzien van de kwaliteitscontrole

In de fase van voorbereiding moet worden vastgesteld hoe de kwaliteitscontrole wordt uitgevoerd en welke toetsing plaatsvindt. Het gaat hierbij niet alleen om het materiaalonderzoek zoals beschreven in de vorige paragraaf. Het gaat ook om de methode van opmeten van de toegepaste hoeveelheid breuksteen en gietasfalt. Daarnaast moet de uiteindelijke toetsmethode bekend zijn bij de opdrachtgever en de opdrachtnemer. Duidelijk moet zijn hoe de bekleding opgebouwd wordt en met welke materialen. De wijze waarop de controle plaatsvindt, is beschreven in hoofdstuk 3 en 4.

3 Kwaliteitscontrole

3.1 Inleiding

De controle die tijdens het werk uitgevoerd moet worden, is in dit hoofdstuk beschreven. Het gaat hierbij om de gegevensverzameling die nodig is om vast te stellen of de vullingsgraad in de bekleding voldoende is. Deze gegevensverzameling kan door de opdrachtnemer, opdrachtgever en/ of een onafhankelijke instantie uitgevoerd worden.

3.2 Benodigde gegevens

In hoofdstuk 1 is aangegeven dat er twee constructie-eisen zijn die getoetst moeten worden. Dit zijn de laagdikte en de vullingsgraad. Om vast te stellen of de bekleding voldoet, zijn vooraf in het contract de volgende eisen gesteld:

- Een minimale laagdikte;
- Een minimale vullingsgraad.

Om deze tijdens de uitvoering van het werk vast te kunnen stellen worden metingen en materiaalonderzoek uitgevoerd. De opdrachtnemer kan deze metingen en onderzoeken gebruiken om het werkproces bij te sturen daar waar nodig.

3.3 Vaststellen laagdikte

De laagdikte van een vol en zat gepenetreerde breuksteen is minimaal $1,5 \cdot D_{n50}$, waarin D_{n50} de mediaan van de nominale diameter van de steensortering is. Deze waarde kan worden bepaald uit de gemiddelde massa en het soortelijk gewicht van de steen [2].

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_{app}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Waarin

D_{n50} = de mediaan van de nominale diameter

M_{50} = de gemiddelde massa van de sortering

ρ_{app} = het soortelijk gewicht van de stenen

Dit is uitgewerkt in onderstaand voorbeeld;

De beschikbare steensorteringen die toegepast worden in de waterbouw zijn beschreven in een norm [3]. Stel; voor het project is een breuksteensortering van 5-40 kg gebruikt. De massa van de gradering waarbij 50% de zeef passeert is ongeveer 23 kg [2]. Het soortelijk gewicht is 2.700 kg/m^3 . Dan is op basis van bovenstaande formule de mediaan van de nominale diameter 0,20 m. De minimale laagdikte met deze steensortering is dan 0,30 m.

De eigenschappen van de breuksteensortering zijn te vinden op het CE-certificaat wat bij de breuksteensortering geleverd kan worden. In bijlage E van de norm voor de specificatie van waterbouwsteen [3] is een voorbeeldformulier weergegeven die eigenschappen en informatie van de breuksteen samenvat. In bijlage D van de norm voor de specificatie van waterbouwsteen [3] is weergegeven met welke frequentie de producent van de waterbouwsteen de standardeigenschappen moet bepalen. Zo moet de korrelverdeling eens per 20.000 ton worden bepaald en de weerstand tegen breuk eens per 5 jaar.

De eigenschappen die vermeld zijn op het CE-certificaat kunnen worden gecontroleerd. Vanwege de lage herhalingsfrequentie waarmee de leverancier van het waterbouwsteen de productie moet controleren, wordt aanbevolen deze controle uit te voeren binnen het werk van aanbrengen van een vol en zat gepenetreerde breuksteenbekleding. Met name extra controle op de steensortering is gewenst. De controle van de toegepast steensortering kan worden uitgevoerd volgens de norm voor beproevingsmethoden van waterbouwsteen [4]. De toegepaste steensortering moet voldoen aan de eisen zoals gesteld in § 52.36 uit [1]. Er zijn eisen gesteld aan de verontreinigingen, korrel- of massaverdeling, lengte-dikte verhouding, weerstand tegen breuk, weerstand tegen vors-dooiwisselingen,

De penetratie van de laag dient zodanig te worden uitgevoerd, dat de bovenste laag stenen voor ten minste de helft in de gietasfalt vastzitten, en dat de holle ruimte van het onderste 2/3 deel van de laagdikte van de breuksteen voor ten minste 90% moet zijn gevuld met gietasfalt. Zodoende ontstaan twee eisen:

1. de laagdikte van de breuksteen dient minstens $1,5 \cdot D_{n50}$ te zijn;
2. de laagdikte van de gietasfaltpenetratie dient minstens D_{n50} te zijn.

Opgemerkt wordt dat wanneer met een laagdikte groter dan $1,5 \cdot D_{n50}$ gewerkt wordt de gietasfaltpenetratie ook meer dan D_{n50} is.

De gerealiseerde laagdikte in het werk kan worden geverifieerd met drie methoden:

- uitvoeren van kernboringen en de diepte van het boorgat vaststellen;
- uitvoeren van landmetingen in een profiel voor en na aanbrengen van breuksteen en na aanbrengen gietasfalt;
- uitvoeren van non-destructieve metingen met radar of passieve microgolven radiometrie.

Al deze methoden zijn geschikt om de laagdikte vast te stellen. Binnen het project op de Wieringermeer zijn de metingen op basis van kernboringen vergeleken met de metingen op basis van landmetingen. Hieruit blijkt dat beide methoden goed met elkaar overeenkomen.

3.3.1 Laagdikte uit kernboringen

Een voordeel van kernboringen is dat tegelijkertijd ook inzicht wordt gekregen in de mate van vulling met gietasfalt. Dit laatste is echter niet meetbaar vast te stellen en blijkt een inschatting te zijn die per persoon kan verschillen. Het nadeel van kernboringen is dat slechts een puntmeting van de laagdikte op de locatie van de kernboring wordt verkregen. Daarnaast is het vrij kostbaar aangezien het boren op zo een grof oppervlak een arbeidsintensieve bezigheid is. Vooraf moet worden besloten of onder toezicht van de opdrachtgever geboord moet worden.

Laagdikte breuksteen:

De laagdikte in het boorgat wordt vastgesteld door een rei van 1 m lengte over de toppen van de bekleding te leggen. Het midden van de rei ligt over het boorgat en de diepte ten opzichte van de rei wordt gemeten.

Laagdikte penetratie:

De laagdikte van het gietasfalt wordt met een nauwkeurigheid van 5 mm gemeten aan de kern door binnen een half uur na boren te meten aan vier min of meer gelijk verdeelde zijden van de kern en deze te middelen. Hierbij moet steeds de afstand van onderzijde kern tot het niveau van

het gietasfalt tussen de stenen worden gemeten. Vanwege de flexibiliteit van het gietasfalt wordt meten na langere tijd afgeraden.

3.3.2 *Laagdikte uit landmetingen*

Landmetingen kunnen worden uitgevoerd in raaien die zich om de 10 meter herhalen. Omdat het mogelijk is de meting digitaal vast te leggen, is het relatief eenvoudig laagdiktes te bepalen. Ook kan de inhoud worden berekend uit deze landmeting. De landmeting van de breuksteen wordt uitgevoerd volgens 'the spherical foot staff' methode uit [2]. De landmeting van de asfaltpenetratie wordt uitgevoerd door de laagste punten tussen de stenen te kiezen (conventional foot staff uit [2]).

3.3.3 *Laagdikte op basis van non-destructieve meetmethoden*

Met radar wordt een signaal uitgezonden en opgevangen waaruit onder andere de laagdikte kan worden bepaald. Met passieve microgolven radiometrie wordt de natuurlijke straling van de toegepaste materialen gemeten. De hoeveelheid straling is afhankelijk van de hoeveelheid toegepaste materialen. Beide metingen zijn relatief omdat deze onder meer afhankelijk zijn van de temperatuur en materiaaleigenschappen. Om deze reden worden deze metingen altijd in combinatie met enkele kernboringen uitgevoerd. Meer informatie over deze meting is beschreven in [5] en [6].

Met de inzet van grondradar voor het bepalen van de laagdikte van vol en zat geopeneteerde breuksteenbekledingen is weinig ervaring. Vanwege het heterogene karakter van dit type bekleding vindt er veel verstrooiing van het radarsignaal plaats. Dit maakt het moeilijk om de laagdikte vast te stellen. Daarnaast moet er rekening mee worden gehouden dat de mogelijkheden van grondradar in een zout milieu beperkt zijn; in zout water dempt het radarsignaal snel uit waardoor metingen vaak niet goed mogelijk zijn.

Er is nog weinig ervaring opgedaan met het bepalen van de laagdikte van bekledingen met behulp van passieve radiometrie. Wel is bekend dat dit systeem beter toepasbaar is in een zout milieu dan grondradar.

3.4 Vaststellen vullingsgraad

De vullingsgraad kan worden vastgesteld met:

1. kernboringen;
2. berekeningen;
3. non-destructieve methoden zoals passieve microgolven radiometrie.

3.4.1 *Vullingsgraad op basis van kernboringen*

Met kernboringen kan worden vastgesteld of het gietasfalt voldoende tot onderin de breuksteen is geopeneteerd. Ook kan worden vastgesteld of veel gruis aanwezig is waaruit blijkt of de zogenaamde grindnesten zijn ontstaan. Het vaststellen of de penetratie voldoende is kan alleen met het oog gebeuren en is daarom een inschatting. Het geeft een gevoel voor de vullingsgraad. Het kan daarom nuttig zijn om kernboringen uit te voeren.

Deze methode wordt louter gehanteerd als aanvulling op de vullingsgraad vanuit berekeningen.

3.4.2 Vullingsgraad op basis van berekeningen

De vullingsgraad wordt vastgesteld met berekeningen op basis van de eigenschappen die van de toegepaste materialen bekend zijn. Om deze reden moeten in het voor- en geschiktheidsonderzoek en tijdens het werk materiaaleigenschappen bepaald worden. Omdat deze materialen variatie vertonen, moeten deze eigenschappen zo vaak worden bepaald dat van deze variatie een statistische verdeling kan worden gemaakt. Deze eigenschappen zijn:

- Hoeveelheid toegepaste breuksteen per volume bekleding;
- Hoeveelheid toegepaste gietasfalt per volume bekleding;
- De dichtheid van het gietasfalt;
- De holle ruimte in de breuksteen.

Hierover is meer beschreven in hoofdstuk 4.

3.4.3 Vullingsgraad op basis van non-destructieve meetmethoden

Met behulp van passieve microgolven radiometrie kunnen holten in de bekleding worden opgespoord. Zodoende geeft de meting de mogelijkheid om locaties waar veel holten worden gedetecteerd op te sporen en hier bijvoorbeeld gericht boorkernonderzoek uit te voeren. Wanneer geen holten gevonden worden en de laagdikte is voldoende, dan is er de zekerheid dat de vullingsgraad ook voldoende is. Meer over deze methode is beschreven in [5] en [6].

Met deze methode is enkel achteraf te meten en is het niet mogelijk om tussentijds bij te sturen. Daarom zal deze methode veelal gehanteerd worden bij oplevering van (een deel van) het werk en niet om per vak van 50 meter de kwaliteit op het werk te borgen.

Opmerking: De validatie van deze veelbelovende meetmethode is op het moment van het opstellen van deze leidraad nog niet afgerond. Bovengenoemd tekst is geldig onder het voorbehoud dat de validatie van deze meetmethode succesvol wordt afgerond.

3.5 Overige controles

Naast de controle op laagdikte en vullingsgraad moet het verwerkingsproces worden gecontroleerd. Dat kan door de opdrachtnemer, opdrachtgever en/ of een onafhankelijke instantie worden uitgevoerd. Hierbij moeten de volgende gegevens worden vastgelegd:

- temperatuur van het gietasfalt bij levering en ieder half uur tijdens verwerking;
- resultaten van de hellingproef;
- resultaten van de bepaling dichtheid proefstuk van het gietasfalt;
- resultaten van de bepaling dichtheid mengsel van het gietasfalt;
- resultaten van de bepaling van het percentage holle ruimte in de breuksteen;
- verwerkte hoeveelheid breuksteen per 50 m¹ bekleding;
- verwerkte hoeveelheid gietasfalt per 50 m¹ bekleding;
- de weersgesteldheid tijdens uitvoering;
- de luchttemperatuur tijdens uitvoering

Voor elke meting geldt dat geregistreerd moet worden op welke tijdstip de meting is uitgevoerd en, indien van toepassing, op welke locatie.

Eisen ten aanzien van de verwerkingstemperatuur en resultaten van de hellingproef zijn beschreven in [1]. Wanneer de dichtheid van het proefstuk en de dichtheid van het mengsel van het gietasfalt afwijken, wordt een grotere spreiding in meetwaarden geïntroduceerd. Dit heeft

direct gevolgen voor de toe te passen hoeveelheid gietasfalt in de bekleding. Het is voor de opdrachtnemer van belang om bovenstaande controles uit te voeren om tijdig bij te kunnen sturen en te voorkomen dat een te grote hoeveelheid gietasfalt verwerkt wordt, danwel dat de vullingsgraad niet behaald wordt en onderdelen na aanleg afgekeurd kunnen gaan worden. Het is voor de opdrachtgever goed om bovenstaande gegevens beschikbaar te krijgen om vast te kunnen stellen wanneer er uitvoeringsrisico's optreden. Tevens geven de gegevens inzage in een gecontroleerd uitvoeringsproces. Meer hierover is beschreven in hoofdstuk 4.

4 Beoordeling vullingsgraad

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is beschreven hoe de beoordeling van de vullingsgraad uitgevoerd wordt. Voor deze beoordeling wordt gebruik gemaakt van de materiaaleigenschappen die bepaald zijn tijdens het geschiktheidsonderzoek en tijdens het werk. Ook wordt gebruik gemaakt van de metingen van de hoeveelheden die met de landmeting en tijdens de controles zijn bepaald.

4.2 Berekening van de vullingsgraad

De vullingsgraad kan worden berekend met de volgende formule:

$$\text{Vullingsgraad} = \frac{g}{i \cdot hr} \cdot m \quad (\%)$$

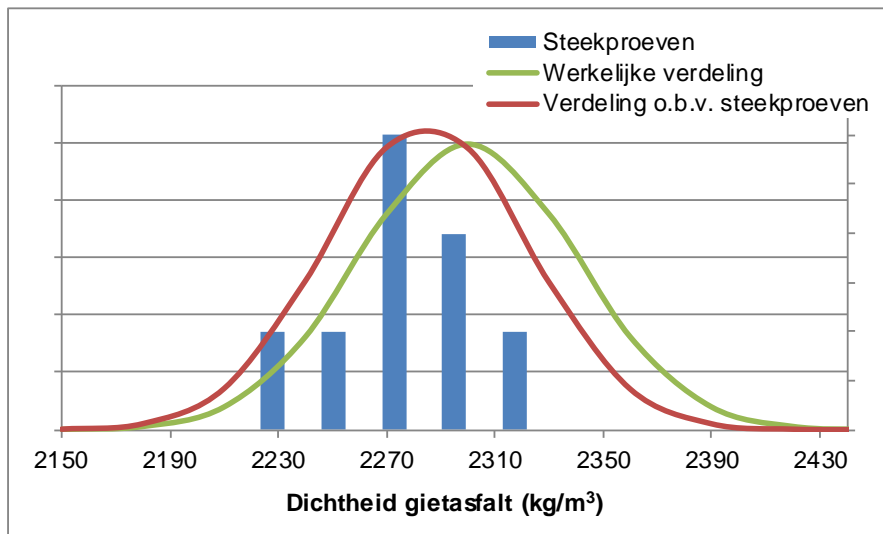
waarin:

- i : verwerkte hoeveelheid breuksteen deelvak (o.b.v. landmeting, zie § 3.3.2) (m³)
- hr : holle ruimte breuksteen per m³ uit geschiktheidsonderzoek en proeven tijdens uitvoering (%)
- g : verwerkte hoeveelheid gietasfalt deelvak talud uit geschiktheidsonderzoek en proeven tijdens uitvoering (kg)
- m : dichtheid gietasfalt (kg/m³)

In deze formule zijn er vier variabelen die bekend moeten zijn om de vullingsgraad te berekenen. De holle ruimte in de breuksteen en de dichtheid van het gietasfalt volgen uit de proeven die worden uitgevoerd. De verwerkte hoeveelheid breuksteen en de verwerkte hoeveelheid gietasfalt moeten tijdens het werk per 50 m¹ bekleding worden bepaald. (Er kan gekozen worden voor kleinere en afwijkende vaklengte, indien dit gezien de verwerkte hoeveelheden per dagproductie praktisch beter uitkomt)

4.3 Vastleggen variatie van materiaaleigenschappen

Doordat de materiaaleigenschappen constant gemeten worden, kan een gemiddelde en standaardafwijking van de materiaaleigenschappen worden bepaald. Op basis van deze gemiddelde waarde en de standaardafwijking, kan een statistische verdeling worden bepaald.



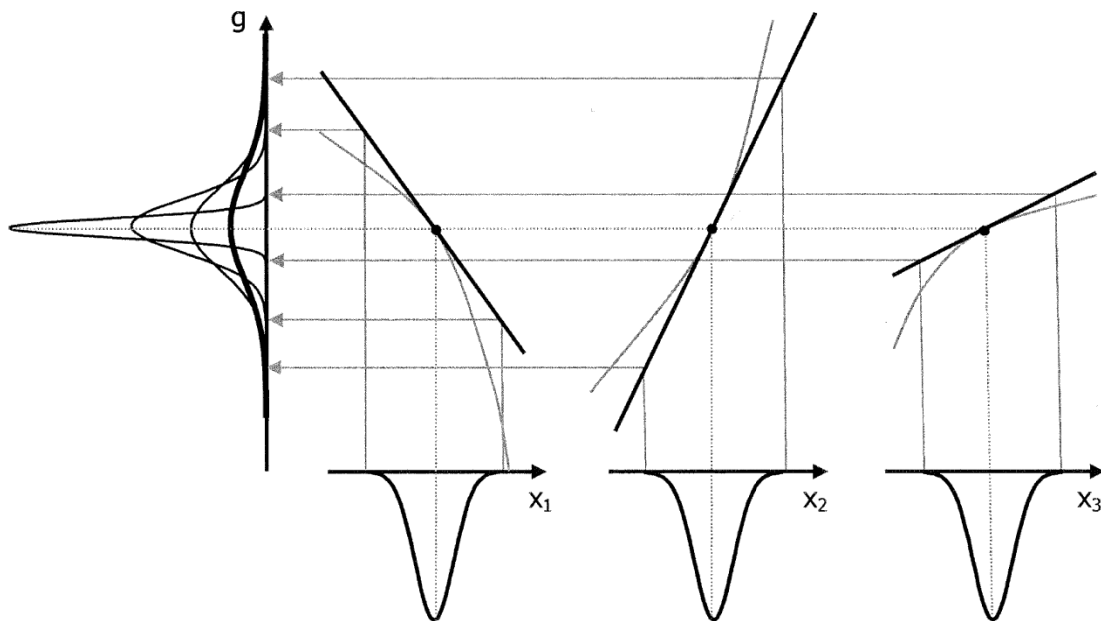
Figuur 1 Voorbeeld steekproeven uit een normale verdeling

Door de statistische verdelingen te combineren kan per vak de vullingsgraad worden berekend. Het combineren van de statistische verdelingen is in de volgende paragraaf toegelicht.

4.4 Berekening van de vullingsgraad met een Niveau II benadering

Met een niveau II probabilistische benadering is het mogelijk om met weinig moeite een betrouwbaar beeld van de verdeling van de vullingsgraad over een deelvak te verkrijgen. Uitleg over de methode is gegeven in Bijlage 1. In dit hoofdstuk is met een voorbeeld de methode toegelicht. Er is een Excel blad opgesteld waarin de berekeningen worden uitgevoerd. Er is een invoer blad waar de gegevens uit het werk kunnen worden ingevoerd. Het uitvoerblad geeft vervolgens de resultaten van de berekeningen weer. Verderop in deze paragraaf zijn daar voorbeelden van weergegeven.

Het principe van de methode is als volgt: Omdat de materiaaleigenschappen en de hoeveelheid verwerkte materialen een bepaalde variatie hebben tijdens het verwerken, zal de vullingsgraad ook een bepaalde variatie hebben. Uit de formule om de vullingsgraad te berekenen is bijvoorbeeld af te leiden dat wanneer meer gietasfalt verwerkt wordt de vullingsgraad hoger is. Zo kan ook minder breuksteen zijn toegepast, het percentage holle ruimte hoger zijn of het gietasfalt een hogere dichtheid hebben. Wanneer al deze variaties in de berekening van de vullingsgraad worden meegenomen, zal een bepaalde verdeling van de vullingsgraad worden gevonden. Dit is schematisch zichtbaar gemaakt in Figuur 2.



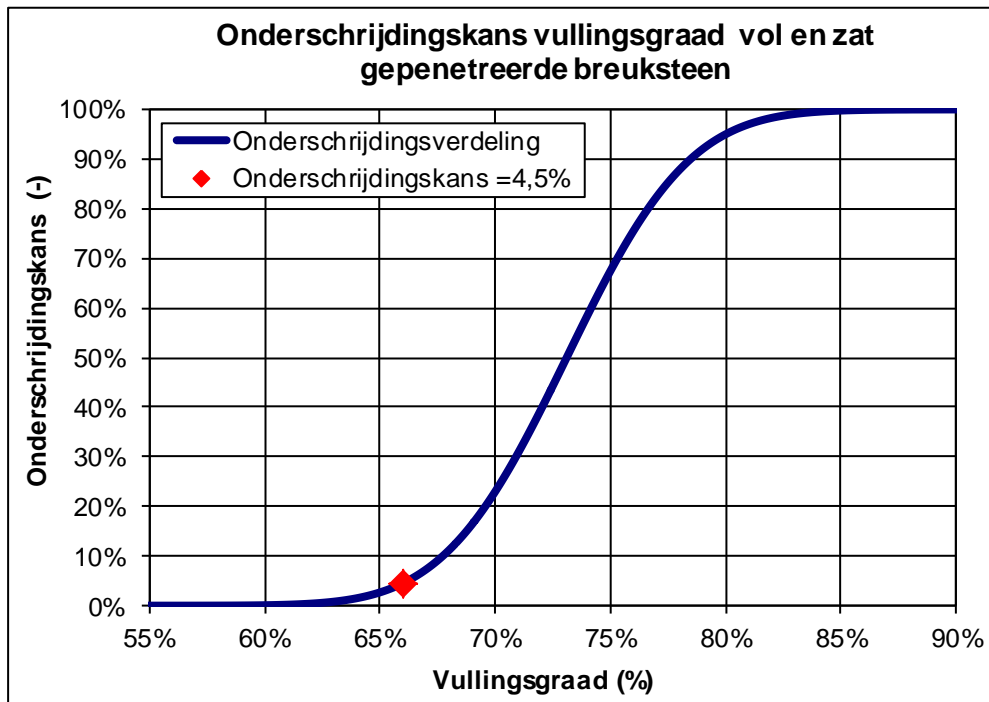
Figuur 2 Grafische weergave van de Niveau II klasse 1 benadering

Als voorbeeld worden de volgende getallen aangenomen voor een vak op de bekleding van 50 m¹.

Tabel 1 Voorbeeld gemiddelde parameters en afwijking

Parameter	Gemiddelde	variatiecoëfficiënt
Holle ruimte breuksteen	40%	10%
Dichtheid gietasfalt	2.210 kg/m ³	2%
Hoeveelheid breuksteen	195 m ³	5%
Hoeveelheid gietasfalt	126000 kg	5%

Met behulp van de in bijlage 2 weergegeven formules kan vervolgens de kans worden berekend dat de vullingsgraad van 66,6% wordt overschreden. Deze 66,6% is op basis van de laagdikte van de breuksteen gemeten op de toppen. De eis is dat 90% van 2/3 van deze laag is gevuld met gietasfalt. In Figuur 3 is de verdeling van de onderschrijdingskans weergegeven.



Figuur 3 Onderschrijdingskans van de vullingsgraad

Uit Figuur 3 blijkt dat de kans dat de vullingsgraad van 66% daadwerkelijk lager ligt 4,5 % is. Wanneer de metingen correct zijn uitgevoerd, bestaat het vertrouwen dat de vullingsgraad in orde is. Wanneer er controle wordt gedaan op basis van boorkernen, dan is er een kans (4,5 %) dat daadwerkelijk een locatie wordt aangetroffen waar de vullingsgraad onder de eis van 66% ligt. De opdrachtgever bepaalt vooraf in het contract op welke kanswaarde hij toetst. Er kan ook minder streng getoetst worden, bijvoorbeeld een 10% waarde.

In Tabel 1 zijn voorbeelden van standaardafwijkingen weergegeven. Om deze van de toegepaste materialen te bepalen worden de proeven gevraagd zoals weergegeven in bijlage 1. De standaardafwijking van de dichtheid van het gietasfalt en de holle ruimte van de breuksteen is te bepalen uit de resultaten van de uitgevoerde proeven. Voor de toegepaste hoeveelheden van breuksteen en gietasfalt is de standaardafwijking moeilijker te bepalen. Bij de uitvoering wordt niet per 50 m¹ bekleding gewerkt maar continu. Een dagproductie wordt gestopt wanneer de bestelde hoeveelheid gietasfalt verwerkt is. Er moet dus extra inspanning worden gestoken in het bijhouden van de toegepaste hoeveelheid breuksteen en gietasfalt. Wanneer dit aantoonbaar juist wordt uitgevoerd, kan bespaard worden op extra controles zoals het boren van kernen om de penetratie te controleren. De hoeveelheid verwerkte tonnen gietasfalt kan worden vastgesteld door:

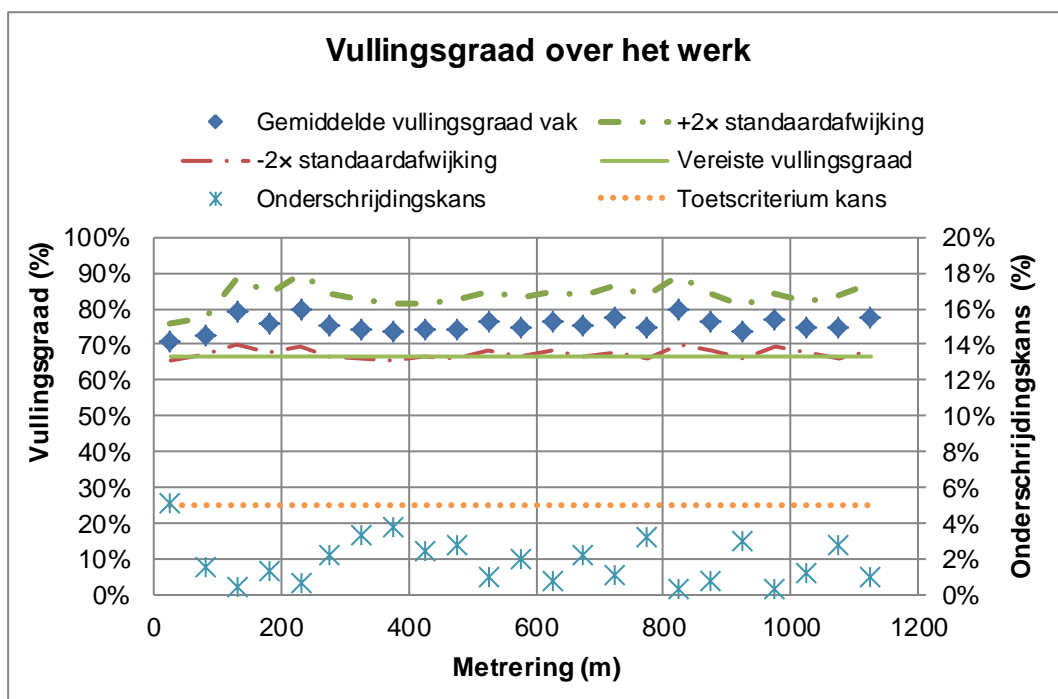
- de registratie van de verwerkte vrachten/ dagproductie en het oppervlak waarover dit verdeeld is;
- registratie van het aantal keren dat een kraanbak geleegd is per 50 m¹ bekleding over verschillende vakken.

Uit beide metingen kan de hoeveelheid die verwerkt is per 50 m¹ bekleding worden bepaald. De standaardafwijking kan worden afgeleid door de verschillende vakken met elkaar te vergelijken.

Na 200 m kan bijvoorbeeld van 4 vakken de gemiddelde hoeveelheid verwerkt gietasfalt bepaald worden en de standaardafwijking.

Ook wordt geadviseerd om vooraf in het contract een toetscriterium vast te stellen voor de vullingsgraad. Aanbevolen wordt om de onzekerheden in de berekening- en meetmethode te verdisconteren door een onderschrijdingskans van 5% te hanteren voor de vullingsgraad van 66,6 %.

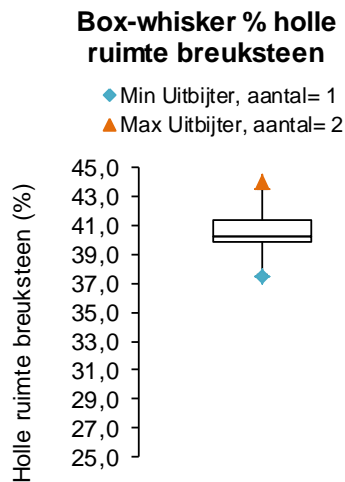
In het Excel blad wat is opgesteld, is in het blad uitvoer de toetsing van de vullingsgraad voor een vak weergegeven. In Figuur 4 is een beeld gegeven van de toetsing van 1100 m bekleding.



Figuur 4 Voorbeeld toetsing vakken uit het Excel bestand

In het Excel bestand is ingesteld dat de resultaten van de laatste 16 proefnemingen worden meegenomen om de standaardafwijking van de materiaaleigenschappen (dichtheid gietasfalt en holle ruimte breuksteen) en verwerkte hoeveelheden te berekenen. Met deze gegevens wordt de vullingsgraad per vak bepaald (zie figuur 4). Zodoende kan tijdens het aanleggen van de bekleding worden bijgestuurd op het proces. Van de eerste 15 vakken worden ook de resultaten van het vooronderzoek meegenomen.

Daarnaast worden box en whisker grafieken geproduceerd. Met de grafieken kan gecontroleerd worden of er sterke afwijkingen zijn ten opzichte van het gemiddelde. Opgemerkt wordt dat voor deze box en whisker grafieken alle ingevoerde resultaten worden meegenomen en niet van alleen de laatste 16. Een voorbeeld van een grafiek is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Voorbeeld box en whisker grafiek

Opgemerkt wordt dat wanneer bijvoorbeeld een breuksteen berm wordt toegepast die niet wordt gepenetreerd, deze ook niet meegenomen moet worden in de berekening van de vullingsgraad en dus de bepaling van de hoeveelheid breuksteen. Vanuit de landmeting kunnen deze hoeveelheden achteraf gecorrigeerd worden.

4.5 Voor- en nadelen van deze methode

Een voordeel van werken met deze methode is dat inzicht wordt verkregen in de spreiding van materiaaleigenschappen en dus de spreiding van de vullingsgraad van de bekleding. Wanneer de opdrachtnemer de spreiding van materiaaleigenschappen beperkt, hoeft minder gietasfalt verwerkt te worden waardoor de kosten van aanbrengen worden gereduceerd. Door het uitvoeren van proeven in de loop van het werk wordt inzicht verkregen in de variatie van materiaaleigenschappen tijdens het werk. Hierdoor kan bij afwijkende materiaaleigenschappen inzichtelijk worden gemaakt voor welke locatie op het werk deze afwijkingen gevonden zijn.

Er zijn kosten gemoeid met het uitvoeren van proeven om de materiaaleigenschappen of hoeveelheden te bepalen. Ook moeten controles uitgevoerd worden op het bedrijfsproces van de opdrachtnemer door de opdrachtgever of onafhankelijke instantie. Het is de vraag of deze kosten in verhouding staan tot het boren van kernen per 10 m¹ bekleding. Wel wordt opgemerkt dat bij het nemen van boorkernen minder informatie wordt verkregen dan wanneer de spreiding van materiaaleigenschappen inzichtelijk wordt gemaakt.

5 Maatregelen

5.1 Inleiding

Wanneer tijdens het werk of tijdens de onderzoeken afwijkingen worden geconstateerd, moet hierop geacteerd worden door de opdrachtnemer en opdrachtgever. Ook wanneer een bekleding wordt afgekeurd volgens de methode beschreven in het vorige hoofdstuk, moet in het contract beschreven zijn wat de gevolgen zijn. In dit hoofdstuk is beschreven hoe in deze situaties te werk kan worden gegaan.

5.2 Resultaten uitgevoerde proeven tijdens het werk

Tijdens het werkproces worden verschillende proeven uitgevoerd om de kwaliteit of samenstelling van de toegepaste materialen te controleren. De verwachting is dat het resultaat van een proef valt binnen het gemiddelde $\pm 2 \times$ de standaardafwijking die bepaald is tijdens het geschiktheidsonderzoek. Tijdens het geschiktheidsonderzoek zijn per proef 8 metingen uitgevoerd waaruit deze standaardafwijking af te leiden is. Wanneer een afwijkende waarde gevonden wordt, moet worden vastgesteld waardoor dit wordt veroorzaakt. Een eenvoudige toets of de waarde teveel afwijkt (een uitbijter is) kan worden uitgevoerd door te bepalen of de waarde meer dan $3 \times$ de standaardafwijking buiten het gemiddelde ligt. Deze afwijking kan worden veroorzaakt doordat de proef niet goed is uitgevoerd of dat de toegepaste materialen veranderd zijn. Aanbevolen wordt om, wanneer een uitbijter gevonden wordt, de proef te herhalen. Wanneer nogmaals een uitbijter gevonden wordt moet worden geconcludeerd dat de eigenschappen van het toegepaste materiaal afwijkt. Wanneer een grensgeval gevonden wordt (nabij $3 \times$ de standaardafwijking) kan op uitbijters worden gecontroleerd volgens de norm ASTM 178.

Wanneer afwijkende materiaaleigenschappen geconstateerd zijn, moet het materiaal onderzocht worden. Voor het gietasfalt kan het dichtheid mengsel en de samenstelling opnieuw worden bepaald. Wanneer deze grote afwijkende resultaten laten zien kan de korrelverdeling van het aggregaat in het gietasfalt worden bepaald. Ook kunnen de bitumeneigenschappen worden bepaald. De breuksteen kan onderzocht worden op massaverdeling en vorm. In de norm voor waterbouwsteen zijn de specificaties [3] gegeven en ook hoe deze bepaald moeten worden [4]. Daarnaast kan de holle ruimte in de breuksteen opnieuw bepaald worden zoals beschreven in § 2.3.3.

Wanneer blijkt dat andere materialen zijn toegepast zonder dat opnieuw de eigenschappen van de toegepaste materialen, het asfaltmengsel of de bekleding zijn bepaald, kan de opdrachtgever overgaan tot afkeur van het deel van de bekleding waar deze materialen zijn toegepast. In dat geval heeft de opdrachtnemer niet voldaan aan de eis dat dezelfde materialen als gebruikt bij het geschiktheidsonderzoek zijn toegepast.

5.3 Volgorde verificatie

Wanneer een vak is afgekeurd op grond van de vullingsgraad, moet worden vastgesteld over welk oppervlak de vullingsgraad onvoldoende is geweest. De verificatie van de berekening van de vullingsgraad kan in de volgende stappen worden uitgevoerd:

- controle gebruikte waarden en hoeveelheden;
- controle van de voor dat vak gebruikte holle ruimte breuksteen en dichtheid gietasfalt. Wanneer dit een uitbijter is ten opzichte van de overige waarden, is mogelijk een andere steensortering of gietasfalt gebruikt. De controle op een uitbijter kan plaatsvinden volgens norm ASTM 178. Een eenvoudigere manier is om controleren of de gevonden waarde meer dan 3 maal de standaardafwijking van het gemiddelde af ligt of door gebruik te maken van de box en whisker grafieken uit het Excel blad.
- controle van de laagdikte en vullingsgraad met kernboringen. Aanbevolen wordt minimaal 16 kernboringen uit te voeren op aselechte locaties op het vak. Of uitvoeren van metingen met passieve radiometrie wanneer deze methode gevalideerd is;
- wanneer blijkt dat de laagdikte en/of vullingsgraad niet voldoende is, moet het vak uitgebroken worden.

6 Praktijkcase Wieringermeerdijk.

6.1 Inleiding en doel

Dit hoofdstuk beschrijft de ervaringen van het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) met de aanleg van vol en zat gepenetreerde breuksteen op de Wieringermeerdijk. In de tweede toetsronde was de bekleding van deze dijk afgekeurd. Een integrale dijkversterking bleek niet nodig. Tussen voorjaar 2013 en najaar 2014 is ruim 16 kilometer bekleding versterkt. Op de bestaande bekleding is nieuwe breuksteen aangebracht en gepenetreerd met gietasfalt. HHNK heeft het initiatief genomen om, op basis van ervaringen op de Wieringermeerdijk (en het projectbureau Zeeweringen), deze "Leidraad voor kwaliteitszorg bij het aanleggen van bekledingen van vol en zat gepenetreerde breuksteen" op te stellen in samenwerking met KOAC·NPC. Onderhavig hoofdstuk beschrijft de praktijkervaring van HHNK op de Wieringermeerdijk en die van het projectbureau Zeeweringen. Dit hoofdstuk gaat in op vragen zoals:

- Wat ging er goed en wat ging er juist niet goed?
- Welke zaken liepen in de praktijk anders dan van te voren (in het contract) gedacht?

Aspecten die voor verbetering vatbaar zijn, zijn zoveel mogelijk als leerpunten in de leidraad opgenomen.

In dit hoofdstuk zijn vier fasen beschreven:

- contract opstellen en gunnen;
- uitvoering;
- controle;
- oplevering.

6.2 Contractkeuze Wieringermeerdijk

In het contract voor de Wieringermeerdijk is ervoor gekozen om het werk traditioneel te beschrijven in de vorm van een RAW-bestek. De reden hiervoor was dat het werk van het begin tot het einde min of meer hetzelfde was en weinig complex. De scope van het project was vrij beperkt, omdat sec de bekleding moest worden verbeterd. Ook waren de kaders in het projectplan al helder vastgesteld. Er was dus geen sprake van een engineering of design component.

In de praktijk heeft HHNK ondervonden (tijdens eigen proeven) dat breuksteensoorten van kalksteen minder gemakkelijk te penetreren zijn. Dit komt doordat het materiaal een hogere vervuilingsgraad heeft, waardoor het gietasfalt minder goed vloeit. En dat er bij de verwerking van de steen veel breuk (scherfvorming) optreedt, waardoor er relatief veel kleine stukken (scherven) ontstaan. Als deze scherven verwerkt worden, geeft dat verminderde holle ruimte binnen het aan te brengen steenpakket en dus een slechtere penetratie met gietasfalt.

Om dit gegeven te toetsen heeft HHNK ervoor gekozen om een *praktijkproef* uit te voeren in een steengroeve in Duitsland. Het rapport van de praktijkproef [7] is als bijlage 3 toegevoegd aan deze leidraad. De vulling van de holle ruimten door gietasfalt liet duidelijke verschillen zien tussen de steensoorten Basalt/Basanit en Grauwacke. De vullingsgraad bij de Grauwacke was

duidelijk lager. Bij Basalt/Basanit trad veel minder breuk op (tijdens het laden en lossen en het verwerken) dan bij Grauwacke. De conclusie was dat de steensoort Basalt/Basanit ten behoeve van gepenetreerde breuksteen op dijken aan alle verwachtingen heeft voldaan. Economisch gezien is Basalt/Basanit een betere steensoort, omdat er (bij de juiste sortering) minder gietasfalt hoeft te worden gebruikt.

Bij het schrijven van het RAW-bestek heeft de opdrachtgever ervoor gekozen om de hoeveelheden niet in tonnen gietasfalt en breuksteen, maar in vierkante meters aangebrachte gepenetreerde breuksteen, te verrekenen. Hiervoor is gekozen om de marktpartijen nog enige ontwerprijheid te geven. Een en ander uiteraard met vooraf aangegeven functionele eisen met betrekking tot de dikte van de aan te brengen laag en het minimaal toe te passen soortelijk gewicht van de breuksteen. De marktpartijen hadden op deze manier zelf de mogelijkheid om de ideale mix van breuksteen en gietasfalt te onderzoeken en toe te passen. Een nadeel van deze "constructie" is dat er nauwkeurig omschreven moet zijn hoe de aannemer aan moet tonen dat hij voldoet aan het gevraagde. In de praktijk blijkt het niet eenvoudig om in duidelijke kaders vast te leggen waaraan de verificatie en de wijze van validatie moet voldoen. Hiervoor is nu echter de leidraad voor het gepenetreerde breuksteen opgesteld. Deze praktijkervaringen maken daar onderdeel van uit.

6.3 Uitvoering

6.3.1 Mengen

De uitvoeringswijze is in grote lijnen gegaan zoals het vooraf bedacht is. Het werk is alleen vanaf het water uitgevoerd en de aannemer liet geen gietasfalt aanvoeren, maar een halffabricaat. Het halffabricaat was een recept voor gietasfalt, maar met maar circa 3% bitumen in plaats van de benodigde 14%. De resterende (vloeibare) bitumen werd op het ponton in een menginstallatie toegevoegd. In eerste instantie gebeurde dit in een menginstallatie van Mengtechniek Nederland (hierna: MTN). Later heeft de aannemer zelf een menginstallatie gebouwd en die gebruikt.

Dit was voor de aannemer een goedkoper alternatief. De menginstallatie van de aannemer is in vergelijking met die van MTN minder geavanceerd. Bij MTN werd de kwaliteit van het mengsel met de computer bijgestuurd, terwijl dit bij de aannemer meer op gevoel ging. Hierdoor was de kwaliteit van het product bij MTN waarschijnlijk consistent. Bij MTN werd ook geregistreerd wat er gemengd werd (recept, hoeveelheid, etc.).

Na opmenging is de samenstelling van het gietasfalt aan de hand van aangeleverde monsters gecontroleerd door KOAC·NPC (volgens de standaard 2010 (Proef 52)).

In geval van de aannemer werd er in principe nooit gietasfalt op maandag verwerkt. De molen was in het weekend buiten bedrijf, en kon op maandag niet goed genoeg 'opgestookt' worden om het warmere gietasfalt te produceren.

6.3.2 Verwerken

In het kader van de Flora en Fauna Wet was het een vereiste dat minimaal 90% van het breuksteen oppervlak schoon moest blijven. Aanvankelijk had de aannemer bedacht om dit te bereiken door met een pomp het gietasfalt te verpompen. Bij proeven in Lelystad werd dit gedaan met een kraanbak met een aangelaste 'trechter'. Het pompen, of het gebruik van de trechter was mede ingegeven door het feit dat er dan gedoseerd gewerkt zou kunnen worden. Er werd getracht gietasfalt alleen tussen de breuksteen te verwerken, in plaats van ook op de breuksteen!

De gekozen werkmethode gaf niet het beoogde resultaat. Naast het feit dat de steen evengoed met gietasfalt besmeurd raakte, werd de uitvoering enorm vertraagd doordat de oorspronkelijke methode niet werkbaar bleek, in de praktijk bleek het lastig om nauwkeurig te gieten. Er is toen contact opgenomen met de vergunningverlener en na overleg is de werkmethode aangepast en akkoord bevonden. Er is met een gewone kraanbak verder gewerkt en op deze manier het gietasfalt te verdelen over het talud. Door op deze manier te werken werden er in één gang banen gemaakt van ca. 1,25 meter breedte. De productie liep op, in normale omstandigheden, naar ca. 950 vierkante meter per dag. Er is nooit bijgehouden hoeveel gietasfalt er door de aannemer per dag is verwerkt. 's Morgens werd een bepaalde hoeveelheid halffabricaat door de aannemer geleverd, welke zoals omschreven op het ponton werd opgemengd. Aan het eind van de dag werd er vaak ook een hoeveelheid gereed product, weer afgevoerd. Dit geldt ook voor halffabricaat.

6.3.3 Uitvoeringproblemen en risico's

Behalve harde wind, uit min of meer oostelijke richting is het weer in dit project geen beperking gebleken. Het is een paar maal voorgekomen dat de aannemer niet kon uitvaren vanwege harde wind uit die richting. IJsvorming is niet opgetreden. Het komt regelmatig voor dat het IJsselmeer dichtvriest waardoor varen onmogelijk is. Wat een ander probleem zou kunnen zijn, bij lichtere vorst, is dat opspattend water voor een spekglad, en dus onveilig talud zorgt.



Niet waterkerende objecten zoals hevels, afrasteringen en bankjes zijn opgenomen en terzijde gezet. Na het aanbrengen van de gepenetreerde breuksteen zijn deze objecten teruggeplaatst. De hekwerken zijn teruggeplaatst met behulp van bussen die zijn ingegoten in het gietasfalt. De aansluiting op gefundeerde objecten is gemaakt met behulp van een mastiek 'dilatatievoeg'.

6.4 Kwaliteitscontrole, voor- en nadelen van de gebruikte methode

De feitelijke kwaliteitscontrole op het werk, door middel van het boren van kernen is naar de mening van de toezichthouder en directievoerder goed verlopen. Ook al zijn de kernen een momentopname, samen met het voeren van dagelijks toezicht, en een gevoel krijgen bij de kwaliteit van het uitgevoerde werk, was er in zijn totaliteit een goed beeld van de kwaliteit van het eindproduct.



Vooraf was beoogd de kwaliteitscontrole deels te baseren op gegevens die tijdens de aanleg van de bekleding verkregen zouden worden. De gegevens bestonden uit de hoeveelheid toegepaste breuksteen, hoeveelheid gietasfalt, de holle ruimte van de breuksteen en het soortelijk gewicht van het gietasfalt. Het verzamelen en verwerken van deze gegevens tijdens de uitvoering kostte meer tijd en inspanning van de aannemer dan vooraf bedacht. Zowel het

dagelijks toezicht van HHNK als de aannemer waren zich onvoldoende bewust van de voordelen die gedetailleerde data kunnen opleveren. Het was immers de bedoeling om het aantal uit te voeren kernboringen te beperken, wanneer de kwaliteit van de bekleding met data kon worden aangetoond. Dit had als voordeel dat minder kosten gemaakt moesten worden voor kernboringen en dat er minder “schade” aan de nieuwe bekleding werd veroorzaakt door het boren van de kernen.

Buiten op de werkvloer (het talud) was er echter wel altijd discussie over de objectiviteit van de beoordeling van de vulling van de boorkernen door de directie. In bijna alle gevallen was de aannemer het niet eens met de besluiten van de directie. De directie had op het werk ook weinig mogelijkheden om de juiste onderzoeken uit te voeren (zoals omschreven in het bestek). Dit was in het bestek ook onvoldoende afgedekt en/of niet juist omschreven. Vooral daar waar het een twijfel geval betrof, had de omschrijving van het aanvullend onderzoek beter gekund. Het had beter omschreven kunnen worden wie dat aanvullend onderzoek zou moeten uitvoeren (aannemer, opdrachtgever of een 'onafhankelijk' adviesbureau). In een volgend project verdient het bovenstaande bij de contractvoorbereiding en contractbeheersing meer aandacht.

In een flink aantal gevallen is, na de eerste boring een viertal aanvullende boringen uitgevoerd door de aannemer. Dit op aanwijzing van de directie, omdat de eerste kern was afgekeurd. Door er nog vier kernen omheen te boren is nagegaan of het een incident betrof of dat er meer aan de hand was. In veel gevallen betrof het daadwerkelijk een incident en kon de directie het vak goedkeuren. In het contract waren de eisen opgenomen voor het goed- en afkeuren van boorkernen. In drie gevallen moest de aannemer een vak bekleding uitbreken. Het uitbreken werd dan niet gedaan over een lengte van 50 meter (zoals in het bestek stond omschreven), maar over een lengte die door de aannemer bepaald was door middel van het uitvoeren van

een kartering met boringen. Hiermee werd de begrenzing opgezocht van het slechte deel van het talud en hoefde er niet meer opgebroken te worden dan noodzakelijk.

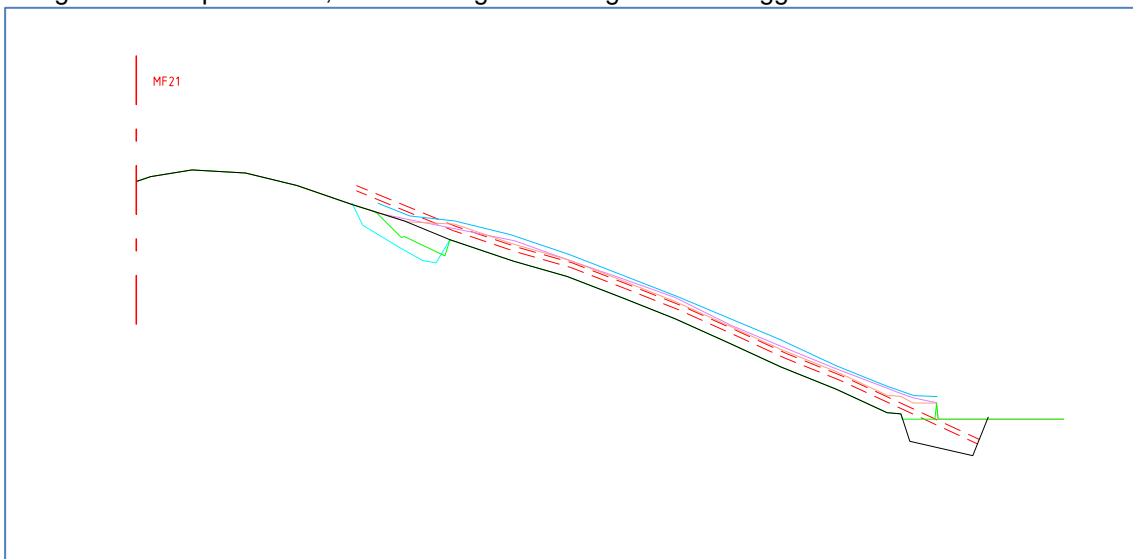


Wat opviel tijdens het uitbreken van deze stukken is dat de bekleding maar zeer moeizaam te verwijderen was. Zelfs met groot materieel (rupskraan). Het uitbreken van bekleding is een arbeidsintensieve handeling. In toekomstige projecten moet goed omschreven worden hoe na het uitbreken moet worden omgegaan met het vrijgekomen materiaal (afvoeren en storten). Ook dient de toekomstige uitbreidbaarheid van gepenetreerde breuksteen (die weinig tot niet flexibel is) te worden meegenomen

in de keuze van de voorkeursvariant voor de versterking.

Met aanvullende proeven, zoals de hellingproeven, en het nemen van asfalt monsters is weinig gedaan tijdens de uitvoering. Een enkele keer is er een monster door KOAC·NPC onderzocht. De uitkomsten waren niet sterk afwijkend t.o.v. de door de aannemer geleverde vooronderzoeken. De toezichthouder is van mening dat een helling proef niet eenmaal per dag, of op aanwijzing van de directie gedaan moet worden, maar per elke gefabriceerde partij.

Wellicht is het ook zinvol om de aannemer te verplichten, bij het gebruik van een goede menginstallatie op het werk, om de mengverhoudingen te overleggen aan de directie.



Op basis van de door de aannemer aangeleverde kwaliteitsgegevens en gemeten dwarsprofielen zijn geen grote afwijkingen (in negatieve zin) geconstateerd. Wel is geconstateerd dat het door de aannemer aangebrachte pakket breuksteen (dat ca. 30 cm dik

zou moeten zijn) dikker is dan nodig. Hetzelfde geldt voor de dikte van het gietasfalt. In voorkomende gevallen is goed te zien dat de laagdikte van het gietasfalt meer was dan de tweederde die het moest hebben ten opzichte van de dikte van het breuksteen. Dit komt onder meer door de door de aannemer gekozen type steen en steensortering.

6.5 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Over het algemeen is te stellen dat de aannemer zijn best heeft gedaan om een goede kwaliteit van het werk te bereiken. En dat is in de praktijk ook goed gelukt. Er is tijdens de uitvoering van de werkzaamheden voldoende deskundig personeel ingezet om de werkzaamheden uit te voeren.

7 Referenties

- [1] Standaard RAW bepalingen 2015, CROW, Ede, 2015
- [2] The rock manual, The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), CIRIA; CUR; CETMEF, 2007, C638, CIRIA, London
- [3] NEN-EN 13383-1 Waterbouwsteen, deel 1 specificatie, Nederlands Normalisatie-instituut, juni 2002
- [4] NEN-EN 13383-2 Waterbouwsteen, deel 2 beproevingsmethoden, Nederlands Normalisatie-instituut, mei 2002
- [5] Onderzoek naar de geschiktheid van passieve radiometrie als non-destructieve detectiemethode van holten in gepenetreerde breuksteen op de Wieringermeerdijk, rapport e120212901, KOAC·NPC, november 2014
- [6] Inspectieprotocol voor het bepalen van holle ruimten in vol en zat gepenetreerde breuksteen met behulp van de microgolven radiometrie (MIRA) techniek, **conceptversie**
- [7] Vol en zat penetreren van waterbouwstenen met gietasfalt, A. Schmidt, B. Kuiper, RPBL, HHNK, september 2011

BIJLAGE 1 Parameterlijst

Parameter	Hoe aantonen	Frequentie		
Eisen breuksteen		<i>Vooronderzoek (proef 57.1):</i>	<i>Geschiktheidsonderzoek (proef 57.2):</i>	<i>Tijdens uitvoering</i>
Steensoort, soortelijk gewicht + groeve	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2		1	
Massaverdeling	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2		1	
Druksterkte	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2		1	
Weerstand tegen afslijting	CE-certificaat Norm NEN-EN 13383-2		1	
Holle ruimte in de breuksteen	In bak in proefopstelling		8	Per 2000 ton
Verwerkte hoeveelheid breuksteen	Laagdikte, uitmeting Vrachtbonnen		Elke 10 m een dwarsprofiel. Binnen profiel om de 1m een puntmeting en op kenmerkende kniklijnen in het profiel.	Elke 10 m een dwarsprofiel. Binnen profiel om de 1m een puntmeting en op kenmerkende kniklijnen in het profiel.

Parameter	Hoe aantonen	Frequentie		
Eisen gietasfalt		<i>Vooronderzoek (proef 57.1):</i>	<i>Geschiktheidsonderzoek (proef 57.2):</i>	<i>Tijdens uitvoering</i>
Penetratie bitumen	NEN-EN 1426	1		
Verwekingspunt bitumen	NEN-EN 1427	1		
Asfaltmestiek	proef 58	1		
Hellingproef	proef 59	1		1 per dag
Samenstelling gietasfalt	proef 52	1	8	1 per 200 ton
Dichtheid proefstuk	proef 82	1	8	1 per dag
Dichtheid mengsel	proef 83	1	8	1 per 200 ton
Gehalte aan poriën	proef 84	1	8	1 per 200 ton
Verwerkte hoeveelheid gietasfalt	Wegen in de bak van de kraan, per dagproductie. Laagdikte, uitmeting		Elke 10 m een dwarsprofiel. Binnen profiel om de 1m een puntmeting en op kenmerkende kniklijnen in het profiel.	Elke 10 m een dwarsprofiel. Binnen profiel om de 1m een puntmeting en op kenmerkende kniklijnen in het profiel.
Vastleggen verwerkingstemperatuur		1	8 verdeeld over de dag	8 verdeeld over de dag
Temperatuur gietasfalt			Bij elke geleverde vracht	Bij elke geleverde vracht
Weersgesteldheid tijdens uitvoering	volgens 52.52.03		1 per dag	1 per dag
Luchttemperatuur tijdens uitvoering			1 per dag	1 per dag

BIJLAGE 2 Niveau klasse II benadering

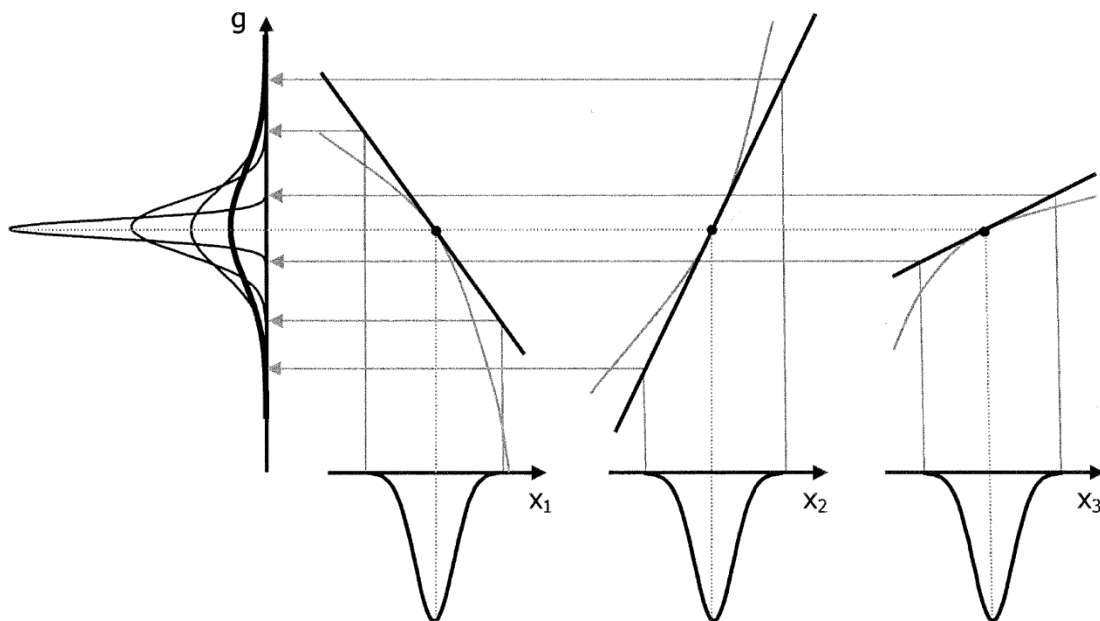
Een Niveau II benadering geeft een exact resultaat wanneer wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- $\frac{\delta V}{\delta x_i} = \text{const}_i$, dwz, alle verbanden zijn lineair en dus zijn alle afgeleiden constant.
- Er is geen covariantie, d.w.z. de variabelen hebben geen onderlinge afhankelijkheid¹⁾
- Alle verdelingen zijn normale verdelingen.

Waarbij:

V = de vullingsgraad

x_i = verklarende variabelen, in dit geval de holle ruimte in de breuksteen, de dichtheid van het gietasfalt, de verwerkte hoeveelheid breuksteen en gietasfalt.



Figuur 6 Grafische weergave van de Niveau II klasse 1 benadering

In Figuur 6 is het principe achter de Niveau II benadering weergegeven. Dit figuur toont dat de verdeling van elke variabele x_i (in dit geval holle ruimte in de breuksteen, de dichtheid van het gietasfalt, de verwerkte hoeveelheid breuksteen en gietasfalt) via de gelineariseerde functie g , wordt vertaald naar een bijdrage aan de verdeling van g . Voor g moet in dit geval vullingsgraad worden gelezen.

Per vak moeten 5 berekeningen van de vullingsgraad worden gemaakt. Hierbij zijn de invoerparameters, holle ruimte in de breuksteen, de dichtheid van het gietasfalt, de verwerkte hoeveelheid breuksteen en gietasfalt gevarieerd. Elke berekening levert een vullingsgraad ($V_{1...5}$) op. De eerste berekening wordt uitgevoerd met de gemiddelde waarden van holle ruimte in de breuksteen, de dichtheid van het gietasfalt, de verwerkte hoeveelheid breuksteen en

gietasfalt. Deze vullingsgraad (V_1) is de gemiddelde waarde van de verdeling van de vullingsgraad. De berekening wordt uitgevoerd met de volgende formule.

$$Vullingsgraad = \frac{i}{hr} \cdot \frac{m}{g} \quad (\%)$$

waarin:

i	: verwerkte hoeveelheid breuksteen deelvak (o.b.v. landmeting)	(m ³)
hr	: holle ruimte breuksteen per m ³ uit geschiktheidsonderzoek en proeven tijdens uitvoering	(%)
g	: verwerkte hoeveelheid gietasfalt deelvak talud uit geschiktheidsonderzoek en proeven tijdens uitvoering	(kg)
m	: dichtheid gietasfalt	(kg/m ³)

De standaardafwijking van de verdeling wordt berekend met door de waarden van holle ruimte in de breuksteen, de dichtheid van het gietasfalt, de verwerkte hoeveelheid breuksteen en gietasfalt te variëren door 2 maal de standaardafwijking bij de gemiddelde waarde op te tellen of af te trekken.

Vervolgens zijn de afgeleiden van de vullingsgraad naar i, hr, g en m bepaald:

$$\frac{\delta(V)}{\delta(i)} = \frac{V_2 - V_1}{2 \cdot \sigma_n}$$

$$\frac{\delta(V)}{\delta(hr)} = \frac{V_3 - V_1}{2 \cdot \sigma_n}$$

$$\frac{\delta(V)}{\delta(g)} = \frac{V_4 - V_1}{2 \cdot \sigma_n}$$

$$\frac{\delta(V)}{\delta(m)} = \frac{V_5 - V_1}{-2 \cdot \sigma_n}$$

Vervolgens kan het gemiddelde en de standaardafwijking van de vullingsgraad worden bepaald:

$$\mu_v = V_1$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sum_{n=1}^4 \left(\frac{\delta V}{\delta x_n} \right)^2} \cdot \sigma_n^2$$

Het resultaat is een normale verdeling van de vullingsgraad waaruit de onderschrijdingskans van de vullingsgraad berekend kan worden.

In de rest van deze bijlage is een voorbeeld uitgewerkt. Hierbij zijn de volgende invoerparameters gebruikt.

Tabel 2 Gemiddelden en standaardafwijkingen voor i, hr, g en m

	i (m³)	hr (%)	g (kg)	m (kg/m³)
Gem μ_1	195	40	126000	2.210
St. dev. σ_i	5	2	3000	22

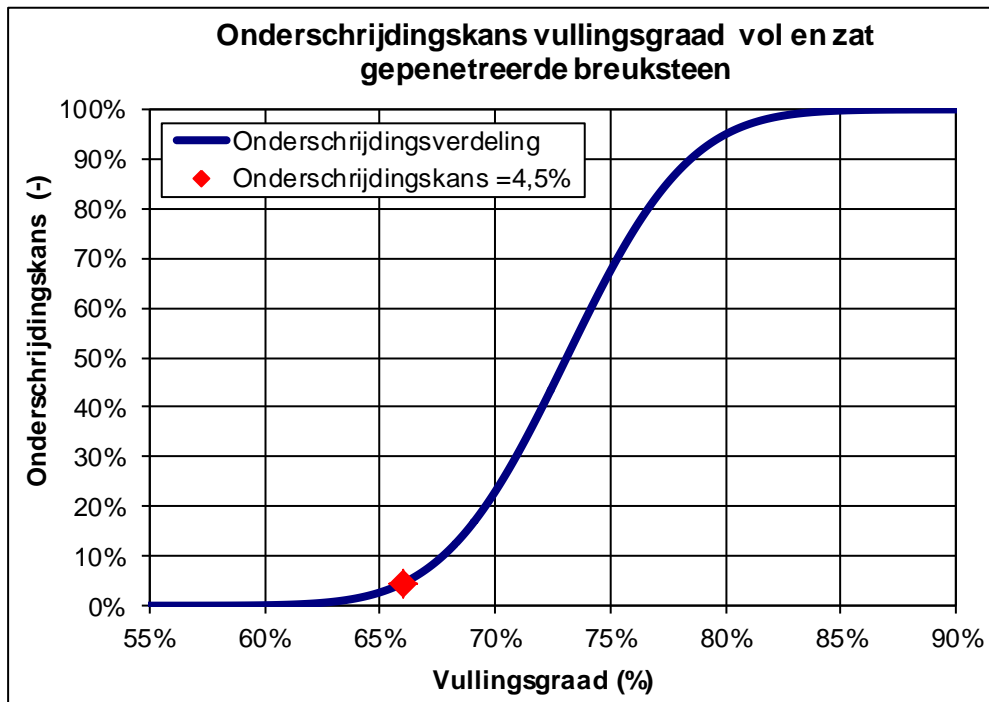
In Tabel 3 zijn de verschillende invoerparameters samengevat die zijn gebruikt in de verschillende berekeningen.

Tabel 3 Gemiddelden en standaardafwijkingen waarmee gerekend is

	Variabelen				Vullingsgraad	
	i	hr	g	m		
1	$\mu_1 = 195$	$\mu_2 = 40$	$\mu_3 = 126.000$	$\mu_4 = 2.210$	$V_1 =$	73,1%
2	$\mu_1 + 2 \cdot \sigma_1 = \mathbf{205}$	$\mu_2 = 40$	$\mu_3 = 126.000$	$\mu_4 = 2.210$	$V_2 =$	66,4%
3	$\mu_1 = 195$	$\mu_2 + 2 \cdot \sigma_2 = \mathbf{44}$	$\mu_3 = 126.000$	$\mu_4 = 2.210$	$V_3 =$	71,7%
4	$\mu_1 = 195$	$\mu_2 = 40$	$\mu_3 - 2 \cdot \sigma_3 =$ 121.905	$\mu_4 = 2.210$	$V_4 =$	69,6%
5	$\mu_1 = 195$	$\mu_2 = 40$	$\mu_3 = 120.000$	$\mu_4 + 2 \cdot \sigma_4 = 2.254$	$V_5 =$	69,6%

De gemiddelde waarde van de verdeling is V_1 . De standaardafwijking van de verdeling is 4,5%.

Het resultaat is grafisch weergegeven in de onderstaande Figuur 7.



Figuur 7 Berekende verdeling van de vullingsgraad

Uit de grafiek kan worden afgelezen dat de vullingsgraad van 66,6% een onderschrijdingskans van 4,5% heeft.

BIJLAGE 3 Praktijkproef vol en zat penetreren van waterbouwstenen met gietasfalt