



Onderzoek naar het scheur- en onthechtingsgedrag van cementgebonden dekvloeren

Hechting dekvloeren

Gescheurde en deels losliggende dekvloeren komen veelvuldig voor in de bouwpraktijk. Een goede hechting tussen een dekvloer en een constructievloer wordt, volgens bestekken, verkregen als de constructievloer hechtsterkte minimaal $1,5 \text{ N/mm}^2$ is. Signalen uit de praktijk wijzen er echter op dat dit een waarde is die, zonder uitvoerige nabewerkingen, nagenoeg niet kan worden bereikt. In een afstudeerstudie aan de TU Delft is onderzoek gedaan naar het scheur- en onthechtingsgedrag van cementgebonden dekvloeren. Daarbij is de invloed van verschillende factoren op de hechtsterkte onderzocht.

Hechting tussen constructievloer en dekvloer

De verbinding tussen twee lagen beton blijkt in het algemeen niet te worden verkregen door chemische verbinding, maar door een combinatie van verschillende fysische krachten. De krachten die hierbij de grootste invloed hebben zijn de Vanderwaalskrachten en de zogenaamde mechanische 'interlocking'.

Vanderwaalskrachten

Vanderwaalskrachten zijn elektromagnetische krachten die werken tussen twee moleculen die circa 30 – 100 nanometer van elkaar zijn verwijderd. Om een goede hechting, gebaseerd op Vanderwaalskrachten, te creëren, is het van belang dat de afstand tussen de twee lagen zo klein mogelijk is. Hierbij heeft de consistentie van het mengsel een grote invloed. Als een aardvochtig, relatief grof mengsel is toegepast, zullen er nauwelijks Vanderwaalskrachten optreden. Bij een meer vloeibaar mengsel is de afstand tussen de moleculen kleiner en zijn daardoor de krachten groter.

Interlocking

Mechanische ‘interlocking’ is de mechanische verankering die gecreëerd wordt door mortel die de oppervlakteruwheid afdekt (fig. 2). In enkele gevallen kan de mortel zich tevens nestelen in de poriën van het substraat waardoor een extra goede verankering wordt gerealiseerd. Het contactoppervlak is essentieel bij het creëren van een sterke verbinding. Ook hierbij is het van belang dat de mortel enige vloerbaarheid heeft. Als echter een stijf materiaal wordt toegepast, is het contactoppervlak minimaal (fig. 3).

Invloed hechtsterkte

De sterkte van de hechting tussen twee lagen beton (de hechtsterkte) wordt beïnvloed door een groot aantal factoren. In [1] heeft Silfwerbrand de resultaten van een onderzoek omschreven waarbij de mate van invloed van verschillende factoren is onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 4.

Cementslib is de grootste invloedsfactor op de reductie van de hechtsterkte. Doordat tijdens het uitharden van het beton water naar het oppervlak vloeit, is er plaatselijk een erg hoge watercementfactor aanwezig. Hierdoor wordt een zwakke laag gecreëerd aan het betonoppervlak. Dat is het zogenaamde cementslib. Als deze laag niet wordt verwijderd voordat de dekvloer wordt aangebracht, zal de hechtsterkte tussen de twee lagen zeer gering zijn.

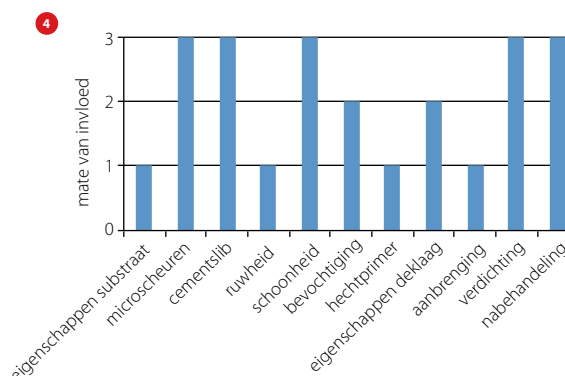
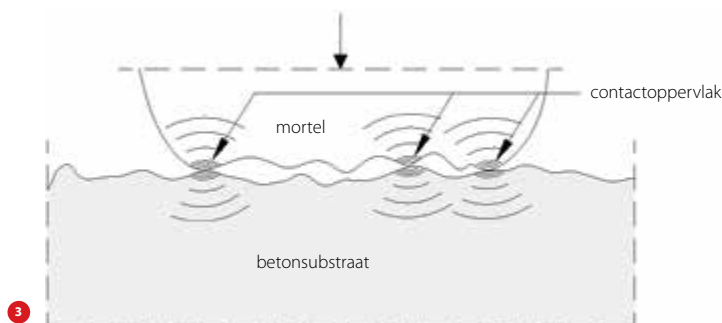
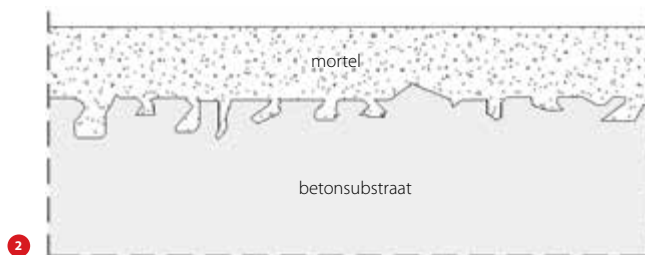
Hechtsterkte en huidtreksterkte

Onderscheid moet worden gemaakt tussen de hecht- en huidtreksterkte. De hechtsterkte is de sterkte van de overgang tussen twee lagen. Hiermee wordt de sterkte van het contactvlak omschreven, bijvoorbeeld tussen een constructievloer en een dekvloer. De huidtreksterkte is de sterkte van een oppervlak zelf, bijvoorbeeld het oppervlak van de constructievloer.

Metten huidtreksterkte

Volgens de normen moet de huidtreksterkte in het werk worden gemeten door middel van een afbreekproef [2]. Hierbij wordt een holle cilinder geboord in het betonoppervlak, waarna een stalen dolly aan het betonoppervlak wordt verlijmd. Vervolgens wordt de dolly met een speciaal meetapparaat van het beton getrokken en wordt de huidtreksterkte

¹⁾ Dit artikel is gebaseerd op een afstudeerstudie ‘Bond strength of cementitious screeds on concrete bearing floors’ dat ir. M. van Dooren heeft uitgevoerd aan de TU Delft. Afstudeerhoogleraar was prof.dr.ir. D. A. Hordijk (TU Delft). In zijn afstudeercommissie hadden verder zitting: dr.ir.dr.s. C.R. Braam (TU Delft), dr.ir. B. Savija (TNO Technical Sciences) en ir. C.A.J. Sterken (BAM Advies & Engineering).



bepaald door de maximaal uitgeoefende kracht te delen door het oppervlak van de dolly.

Metten hechtsterkte

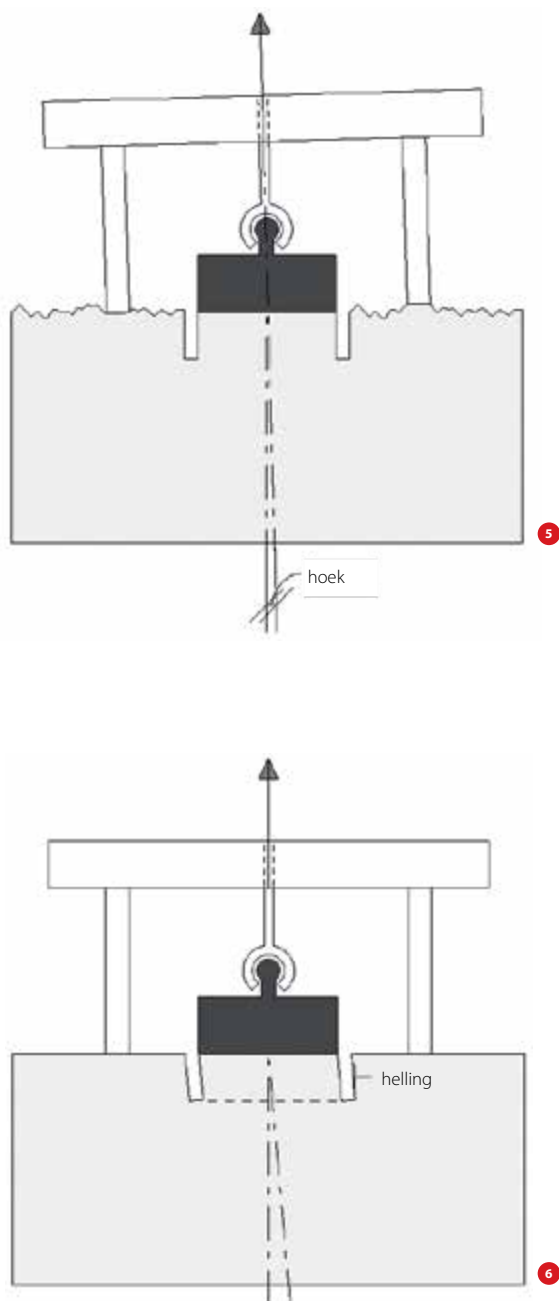
De hechtsterkte kan ook met een afbreekproef worden gemeten. De holle cilinder wordt nu tot een zodanige diepte geboord, dat deze het te beproeven grensvlak tussen de twee lagen doorsnijdt. Na het verlijmen van de dolly en het aanbrennen van een trekkracht, is het de bedoeling dat bezwijken ter plaatse van het grensvlak optreedt.

In de norm voor de kwaliteit en uitvoering van cementgebonden dekvloeren [2] wordt aangegeven dat de huidtreksterkte van een betonnen constructievloer minimaal 1,5 N/mm² moet zijn

om later een goede hechting met de dekvloer te kunnen verkrijgen. Metingen in de praktijk hebben aangetoond dat deze waarde bijna nooit wordt bereikt, tenzij speciale bewerkingen op het oppervlak van de constructievloer worden uitgevoerd. Gemiddelde waarden, variërend tussen 0,16 – 1,11 N/mm² werden op vier verschillende projecten gemeten.

Afbreekproef

De afbreekproef wordt vaak bij voorkeur toegepast omdat deze uitvoerbaar is op de bouwplaats zelf en relatief eenvoudig is uit



te voeren. Echter, eerder onderzoek [3] heeft uitgewezen dat excentriciteiten tijdens het uitvoeren van trekproeven van grote invloed kunnen zijn op de resultaten van de proeven. Bij het uitvoeren van afbreekproeven ten behoeve van het afstudeeronderzoek is gebleken dat excentriciteiten zeer gemakkelijk kunnen optreden. Excentriciteiten kunnen optreden doordat:

1. de stalen dolly niet gelijkmatig verlijmd is,
2. het meetapparaat schuin boven de dolly is geplaatst (fig. 5) of
3. de holle cilinder niet loodrecht in het betonoppervlak is geboord (fig. 6).

Onderzoek invloed excentriciteiten

De invloed van deze excentriciteiten op de resultaten van de proeven is onderzocht aan de hand van een theoretisch en praktisch experiment. In het theoretische deel is de afbreekproef geanalyseerd aan de hand van een analytische benadering en een modellering van het probleem met het eindigelementenpakket ATENA. Voor het praktische experiment zijn betonnen proefstukken vervaardigd met afmetingen $l \times b \times h = 300 \times 300 \times 100 \text{ mm}^3$ (foto 1 en 7). Vervolgens zijn per aspect minimaal vijf proeven uitgevoerd.

Conclusies onderzoek

Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies verkregen:

- Bij ongelijkmatig verlijmen van de dolly treden spanningsconcentraties direct onder de dolly op. Als de dolly over 5 mm vanaf de zijkant eenzijdig niet is verlijmd (fig. 8), is, volgens de theoretische benadering sprake van 8% reductie van de huidtreksterkte. Als over 10 mm vanaf een zijkant niet is verlijmd, is de reductie 22%. Volgens het praktische experiment is de reductie dan 18%.
- Het diagonaal aanbrengen van de trekkracht, bijvoorbeeld omdat het meetapparaat schuin boven de dolly is geplaatst, leidt tot spanningsconcentraties onderin de geboorde cilinder. Er is echter geen sprake van een significante reductie van de hechtsterkte die als resultaat bij een dergelijk uitgevoerde proef is verkregen. Desondanks is het proefresultaat niet altijd een juiste weergave van de sterkte die moet worden gemeten. Bij de proef voor de huidtreksterkte wordt in dit geval namelijk niet de sterkte aan het oppervlak, maar dieper in het beton gemeten. En bij de proef voor de hechtsterkte is de kans groot dat het afbreekvlak zich niet ter plaatse van de aanhechting tussen de deklaag en de constructievloer zal bevinden.
- Schuin ingeboorde cilinders zorgen, net als bij het diagonaal aanbrengen van de trekkracht, voor spanningsconcentraties onderin de geboorde cilinder. In deze situatie is wel sprake van een afwijking in de resultaten. Bij een ingeboorde cilinder met een helling van 10:1 ten opzichte van de lijn loodrecht op het betonoppervlak, is de afname van de sterkte 14% volgens de theoretische studie. In het praktische experiment is hiervoor een reductie van circa 10% gevonden.



7

In de praktijk is tevens gebleken dat bij de uitvoering van afbreekproeven voor de huidtreksterkte niet altijd eerst een holle cilinder wordt ingeboord. De invloed hiervan is in het experiment onderzocht en geconcludeerd is dat hierdoor geen juiste weergave van de werkelijke situatie wordt verkregen. Het betonoppervlak waarover de trekkracht vanuit de dolly wordt gespreid, is dan namelijk groter dan in het geval een holle cilinder is geboord (fig. 9 en 10). Ten opzichte van een resultaat voor een 15 mm diep geboorde cilinder vallen de resultaten dan ook aanzienlijk hoger uit. Volgens de theoretische studie is het verschil circa 16%. Het praktische experiment wijst uit dat het verschil zelfs meer dan 30% bedraagt (vergeleken met de situatie van een 15 mm diep ingeboorde holle cilinder).

Vergroten huid- en hechtteksterkte

Om de huidtreksterkte van een betonoppervlak en de hechting tussen twee lagen beton te verbeteren, kunnen bewerkingen aan het oppervlak worden uitgevoerd. De methoden die in dit onderzoek zijn bestudeerd, zijn schuren, frezen en gritstralen van het betonoppervlak (de constructievloer). De belangrijkste

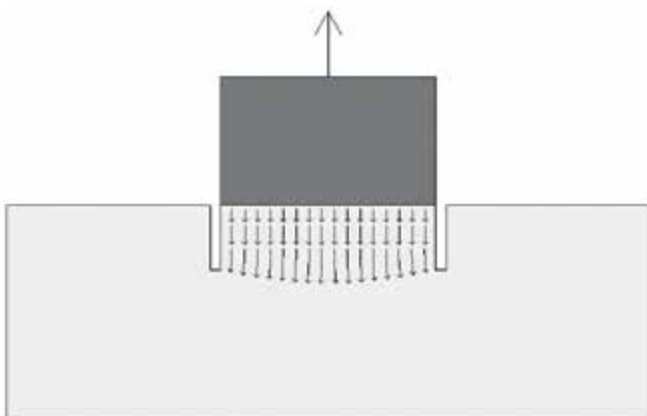
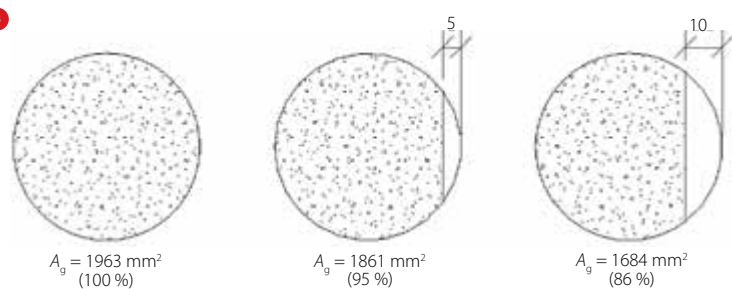
doelen van deze oppervlaktebewerkingen zijn enerzijds het verwijderen van zwakke onderdelen aan het betonoppervlak (zoals cementslib of losliggende deeltjes) en anderzijds het opruwen van het oppervlak.

Onderzoek invloed bewerkingen

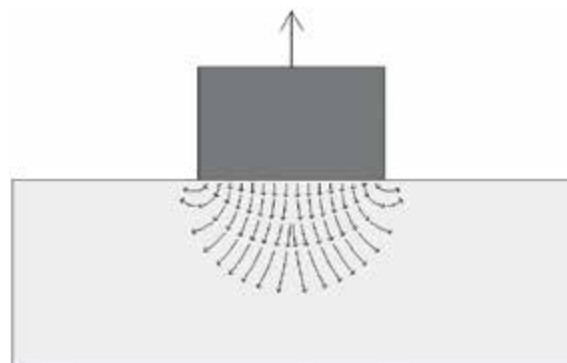
Proeven zijn uitgevoerd zodat inzichtelijk kon worden gemaakt wat de invloed van de verschillende bewerkingen op de huid- en hechtteksterkte is. Hiertoe zijn proefstukken vervaardigd

- 5 Schuin gepositioneerd trekapparaat
- 6 Schuin geplaatst meetapparaat
- 7 Vervaardiging proefstukken
- 8 Deels verlijmd dolly
- 9 Krachtafdracht exclusief geboorde holle cilinder
- 10 Krachtafdracht inclusief geboorde holle cilinder

8



9



10

11 Geschuurd betonoppervlak

12 Betonoppervlak na frezen

13 Gegritystraald oppervlak

14 Referentie: geen oppervlaktebewerking



11



12



13



14

van beton met afmetingen $l \times b \times h = 300 \times 300 \times 100 \text{ mm}^3$. Na 14 dagen uitharden zijn de oppervlaktebewerkingen op de proefstukken uitgevoerd, waarna de helft van de proefstukken is gebruikt voor het uitvoeren van huidtreksterktemetingen. De andere helft van de proefstukken is gebruikt voor het uitvoeren van proeven ten behoeve van hechtsterktemetingen. Hiertoe is, na het uitvoeren van de oppervlaktebewerkingen, een laag vloeibaar cementgebonden mortel over de proefstukken aangebracht. Na minimaal 14 dagen uitharding zijn vervolgens de hechtsterktemetingen uitgevoerd.

De betonoppervlakken na uitvoering van de oppervlaktebewerkingen zijn getoond in foto 11, 12 en 13 (respectievelijk schuren, gritstralen en frezen). De referentie is: geen oppervlaktebewerking (foto 14).

De resultaten van de proeven zijn weergegeven in figuur 15 en 16. De resultaten zijn weergegeven met een gemiddelde waarde met daarbij de bandbreedte waartussen de meetwaarden fluctueren.

Huidtreksterkte

In figuur 15 is af te lezen dat de huidtreksterkte na uitvoering van alle oppervlaktebewerkingen toeneemt. In oplopende volgorde: geen bewerking ($0,68 \text{ N/mm}^2$) – frezen ($0,98 \text{ N/mm}^2$) – schuren ($1,30 \text{ N/mm}^2$) – gritstralen ($1,57 \text{ N/mm}^2$). Opvallend is hierbij dat het geschuurde, zeer vlakke oppervlak een hogere huidtreksterkte geeft dan het ruwe, gefreesde oppervlak. Waar men er veelal vanuit gaat dat ruwheid de belangrijkste factor is om een goede hechting te verkrijgen, is hiermee aangetoond dat dit niet altijd het geval is.

Zowel bij schuren als frezen wordt het cementslib van het oppervlak verwijderd. Echter, bij frezen wordt het betonoppervlak zeer gewelddadig bewerkt, doordat lamellen met grote kracht tegen het oppervlak aan slaan om het beton op te ruwen. Hierdoor kunnen microscheuren in het betonoppervlak ontstaan, waardoor een zwakke toplaag wordt gecreëerd.

Het gritstralen resulteert in de grootste huidtreksterkte. Dit is de enige methode waarbij een huidtreksterkte wordt bereikt die gemiddeld hoger is dan $1,5 \text{ N/mm}^2$. Echter, ook bij deze methode worden resultaten verkregen die lager zijn dan $1,5 \text{ N/mm}^2$.

Hieruit wordt geconcludeerd dat, met alleen de toepassing van de huidige praktische oppervlaktebewerkingsmethoden, het zeer lastig zo niet onmogelijk is, te garanderen dat aan de eis van $1,5 \text{ N/mm}^2$ die in de norm aan de huidtreksterkte van het betonoppervlak wordt gesteld, wordt voldaan.

Hechttreksterkte

In figuur 16 zijn de resultaten van de hechttreksterktemetingen weergegeven. Ook hier is af te lezen dat het uitvoeren van de oppervlaktebewerkingen van positieve invloed is op de sterkte van de hechting: geen bewerking ($0,94 \text{ N/mm}^2$) – schuren ($1,14 \text{ N/mm}^2$) – frezen ($1,29 \text{ N/mm}^2$).

Voor de hechttreksterkte van de gegritystraalde oppervlakken

zijn geen waarden verkregen aangezien het afbreekvlak bij de afbreekproeven zich hierbij in alle gevallen direct onder de dolly bevond en niet ter plaatse van het contactvlak tussen beide lagen.

Ook bij de hechtteksterktemetingen is in geen geval altijd de minimale waarde van 1,5 N/mm² voor de sterkte bereikt.

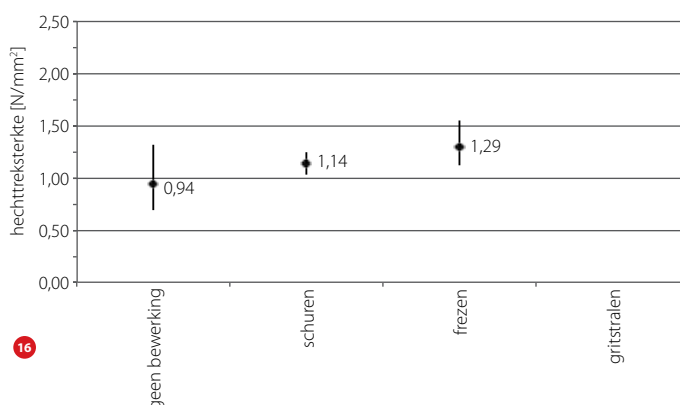
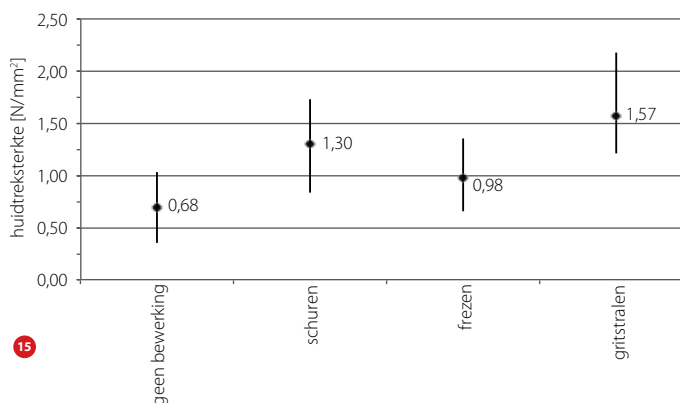
Conclusies experiment

Door de resultaten van de proeven met elkaar te vergelijken, is de conclusie getrokken dat er vele factoren zijn die van invloed zijn op de hechting tussen twee lagen beton. Een goede huidtreksterkte indiceert niet direct een sterke hechting. Evenzo is een ruw betonoppervlak geen garantie voor een goede hechtteksterkte. In figuur 4 is de invloed van verschillende factoren op de hechting gegeven uit een eerder onderzoek. Onderstaand wordt per oppervlaktebewerking toegelicht hoe deze factoren van invloed zijn geweest op de resultaten van de proeven.

- Geen oppervlaktebewerking: Er is veel cementslib op het betonoppervlak aanwezig; het oppervlak is niet ruw en tevens kan afval tijdens het bouwen ervoor gezorgd hebben dat het oppervlak niet schoon is, resulterend in een lage huid- en hechtteksterkte.
- Schuren: De cementslib wordt verwijderd, resulterend in een betere huidtreksterkte. Echter, het oppervlak is hierdoor zeer vlak gemaakt, wat ten nadele is van de grootte van het contactoppervlak, resulterend in een minder hoge hechtteksterkte.
- Frezen: door het betonoppervlak te frezen, wordt de cementslib goed verwijderd en het oppervlak flink ruw gemaakt. Echter, de impact van de lamellen leidt tot microscheuren, resulterend in een lage huidtreksterkte. Verder zorgt het frezen voor het vrijkomen van veel fijne deeltjes die zich kunnen nestelen in de poriën van het beton, wat ten nadele gaat van de reinheid van het oppervlak. Hierdoor kan een nieuwe laag beton zich minder goed hechten aan het oppervlak.
- Gritstralen: door gritstralen worden de zwakke delen (cement-slib en losse deeltjes) aan het oppervlak van het beton het beste verwijderd. Tevens wordt hierdoor een ruw oppervlak gecreëerd en omdat in de gritstraalmachine automatische afzuiging is opgenomen, wordt het oppervlak schoon aangeleverd. Dit resulteert in een hoge huidtreksterkte en daarmee hoogstwaarschijnlijk ook een goede hechting.

Conclusie

In de huidige normering voor dekvloeren wordt voorgeschreven dat de huidtreksterkte van het constructieve betonoppervlak, en daarmee de hechtteksterkte van de hechting tussen dek- en constructievloer, minimaal 1,5 N/mm² moet bedragen. Door middel van praktijkproeven is aangetoond dat deze waarden in de praktijk nauwelijks haalbaar zijn. Met gritstralen kan een



gemiddelde huidtreksterkte > 1,5 N/mm² worden behaald. Echter, er kan dan geen garantie worden gegeven dat dit voor het gehele betonoppervlak geldt. Hieruit is geconcludeerd dat er in de huidige praktijk een gat aanwezig is tussen enerzijds de eisen die worden gesteld in de norm en anderzijds de waarden die worden behaald met de hedendaagse methoden voor de vervaardiging van dekvloeren.

Daarnaast is in dit onderzoek aangetoond dat de huidige methode die wordt toegepast om de huid-/hechtteksterkte van betonconstructies te meten (de afbreekproef) erg gevoelig is voor excentriciteiten tijdens de uitvoering. Het is van belang dat men erg nauwkeurig te werk gaat bij de uitvoering van deze proeven, zodat de resultaten die worden verkregen ook daadwerkelijk de waarden representeren die bedoeld zijn te worden gemeten. ☒

LITERATUUR

- 1 Silfwerbrand, J. Bonded concrete overlays - bond strength issues. Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting. London: ICCRRR, 2006, pp. 19-21.
- 2 NEN 2741/A1: In het werk vervaardigde vloeren - Kwaliteit en uitvoering van cementgebonden dekvloeren, 2008.
- 3 Hordijk, D. A., Local approach to fatigue of concrete. Delft, 1991.