

1 INLEIDING, ONTVANGEN INFORMATIE

1.1 OMSCHRIJVING SITUATIE

Het stamriool van Waterschap Aa en Maas te Oss vertoont schade in de vorm van betonaantasting. Als gevolg daarvan is de dekking gereduceerd en is wapening deels in het zicht gekomen. Een en ander vormt aanleiding voor een renovatie traject. In het verleden is al een deel gerenoveerd waarbij kunststof bekleding is aangebracht aan de binnenzijde van het kokervormig riool, zowel op de bodem, wanden en tegen het plafond.

Bij de thans voorgenomen renovatie is wederom een bekleding voorzien, nu enkel tegen de wanden en het plafond omdat daar de aantasting wordt waargenomen. Deze bekleding wordt opgebouwd uit kunststof platen die in elkaar grijpen.

Op dit moment ligt de vraag voor of en hoe sanering van het beton moet plaatsvinden. TechnoConsult-Infra is gevraagd mee te denken en een oordeel te geven over de voorgenomen wijze van uitvoering.

1.2 ONTVANGEN INFORMATIE

De volgende informatie is ontvangen voorafgaand aan het onderzoek:

Ten behoeve van deze analyse is onder meer de volgende documenten c.q. info beschikbaar gesteld:

- [1] Filmbeelden van de schade (deels ingezien).
- [2] Presentaties duikinspectie, zoals presentatie “stamriool fase 3 – duikinspectie put 18 t/m put 32” en “stamriool Oss fase 4 & 5 – duikinspectie put 1 t/m 13”.
- [3] Een advies van Nebest 23667 rev. 1 van 4 november 2013 betreffende hechting schuimbeton
- [4] Een memo van Nebest 41079 d.d. 20 november 2020 betreffende voorlopig advies herstel
- [5] Filmbeelden van proeven met reinigen onder verschillende drukken.
- [6] Bouwtekeningen, waaronder 4903.02-03, 1967 en tekening met verloop leiding 4903.02.
- [7] Inspectieverslag B&L Duikbedrijf Zuid, d.. 7 september 2020.
- [8] Rapport Solid Services 10RA0137, 10 juni 2011.

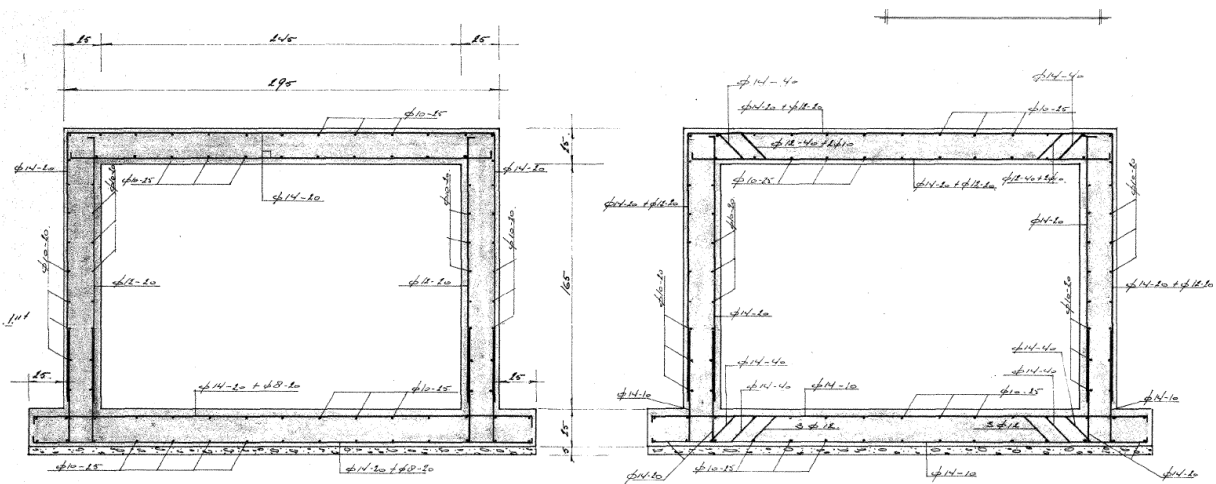
Later is nog beschikbaar gekomen:

- [9] Verificatieberekening opgesteld door Nebest, rapport 41079-BER-01 d.d. 15 januari 2021.
- [10] Notitie Nebest d.d. 5 februari 2021

1.3 INFORMATIE UIT STUKKEN DAN WEL OVERLEG

Uit de stukken dan wel het overleg is af te leiden:

- a) In de in bouwtekening [6] opgenomen dwarsdoorsnede is te zien dat het gaat om een betonnen koker met uitwendige maat van ongeveer 2,95 m breed en 2,15 m hoog. De dikte van de wanden, bodem en dek is ongeveer 25 cm. De koker is voorzien van betonstaal waarbij steeds een dubbel net aanwezig is met staven met een kenmiddelijn van 10, 12 en 14 mm (zie afb. 1). Er zijn twee profielen te onderscheiden, waarbij een opvallend verschil is de dwarskrachtwapening in de doorsnede die onder de provinciale weg doorgaat. Daar is ook extra wapening aanwezig in het dek.



afb. 1: Doorsnede van de koker

- b) De verslagen en beelden van de binnenzijde laten zien dat met name aan de bovenzijde (het dek) en op een deel van de wanden aantasting van het beton plaatsvindt. Dit betreft deels erosie, waarbij materiaal verdwijnt, en deels een omzetting van de cementsteen in gips. De diepte waarop dit proces is opgetreden is te herkennen aan een witte verkleuring van het oorspronkelijke beton. Het blijkt uit proeven met waterstalen in verschillende drukken dat deze "gipskorst" zich lastig laat verwijderen en dus een redelijke samenhang heeft.
- c) In de inspectieverslagen is te lezen dat daar waar betonstaal in het zicht is gekomen (dus de dekking op het betonstaal is verdwenen), de resterende doorsnede nog ten minste 12 mm is dan wel de oorspronkelijke doorsnede nog in takt is (14 mm). De mate waarin betonstaal zichtbaar is, varieert van vrijwel niet tot relatief veel.



De eerste locatie.

Na onze indruk is het verschil minimaal te noemen.

De kleinst gemeten maat is $\pm \phi 12\text{mm}$.

Afbeelding 15-05



Afbeelding 07-09

Geen verschil in diameter geconstateerd

afb. 2: Deel uit inspectieverslag [7]

- d) In de rapporten [3] en [8] wordt melding gemaakt van de (druk)sterkte van het beton. De gerapporteerde druksterkte in [8] varieert daarbij van 48 N/mm² tot 58,9 N/mm². De beschreven aantasting in [8], spreekt van een aantasting van circa 2 mm, waarbij deze niet tot de wapening reikt. Aangezien de lengte van de kernen niet is beschreven en niet is af te lezen uit de beelden, is niet te zien hoeveel materiaal al is verdwenen. Verder valt op dat ook staven met een kenmiddellijn van 16 mm worden beschreven.

In [3] worden resultaten besproken van “full -scale” buigproeven. De betondikte varieerde daarbij van 230 mm tot 250 mm (dus deels aangetast, deels niet). De bezwijklasten van 60 tot 113 kN.

- e) De ontwikkeling van de schade is af te leiden uit opnamen in de tijd. Het ontbreekt TechnoConsult-Infra nog over beelden van eerdere opnamen. De indruk en te verwachten is dat de schade zich blijft ontwikkelen.
- f) In het advies [4] wordt voorgesteld deze laag te verwijderen om een goede hechting mogelijk te maken van de reparatiemortel. Gesproken wordt daarbij over een potentiële hechtsterkte van 0,6 N/mm². Dit kan inhouden dat betonstaal vrij komt te liggen waar dit nu nog niet het geval is.
- g) Eerder onderzoek heeft aangetoond [3] dat de hechting van het schuimbeton dat in het verleden is toegepast beperkt is, dan wel dat het schuimbeton de zwakke schakel vormt. Indien hechting tot stand moet worden gebracht betekent dit dus intensief saneren.
- h) De thans voorgenomen renovatie bestaat uit het aanbrengen van een kunststof bekleding tegen de wanden en het plafond. Deze wordt vastgezet op ribben die tegen/aan het beton worden vastgemaakt. De bekleding heeft ribben om deze stijfheid te geven. De ruimte tussen het beton en de kunststof bekleding wordt daarna gevuld met schuimbeton, waarbij voorzien is in een wat zwaarder type dan eerder gebruikt, mede om water te kunnen verdrijven. Dit betekent een volumieke massa van ten minste 1000 kg/m³.
- i) In [9] wordt ingegaan op berekeningen van de koker, waaruit volgt dat het ontbreken van de dekking niet leidt tot een constructief probleem mits de wapening in takt is. Bij enige reductie van het betonstaal kan dat wel het geval zijn.
- j) Uit een nadere verkenning van de video beelden blijkt dat er bij een traject van naar schatting 40 m sprake zou kunnen zijn van een situatie met een sterke aantasting van het betonstaal [10]. Hier is constructief herstel mogelijk noodzakelijk kan zijn. Dit vanwege vermeende reductie van diameter. Bij nog eens een ongeveer gelijke hoeveelheid is sprake van een gemiddelde aantasting. Of dit daadwerkelijk het geval is, moet in het werk worden bepaald door de werkelijke afname en reductie na het saneren te beoordelen.

In dit hoofdstuk zal op een aantal aspecten worden ingegaan die relevant zijn voor de wijze van herstel c.q. het voorgenomen herstel.

2.1 ONTWIKKELING SCHADE, NOODZAAK HERSTEL VANUIT DUURZAAMHEID

Hoe de schade/aantasting zich in de tijd heeft ontwikkeld is niet bekend bij TechnoConsult-Infra. Wel is vernomen dat het gebruik enigszins is gewijzigd en dat de schade zich sterker lijkt te ontwikkelen. Dit komt TechnoConsult-Infra niet vreemd voor. Immers, de aantasting is het gevolg van zuren die cementsteen oplossen en verbindingen die zorgen voor omzetting van cementsteen in gips. Aantasting vindt daarbij primair plaats boven de waterlijn, wat in de beelden ook goed te zien is. De ontstaat door zuren en sulfaten in of ontstaan vanwege het afvalwater. Turbulente en stromingen kunnen deze processen versnellen.

Feit is dat in een aantal gevallen het betonstaal in meer of mindere mate vrij is komen te liggen en door de omzetting ook ligt in een niet-alkalisch of niet voldoende alkalisch milieu. Dit zal steeds meer het geval zijn bij een doorgaande aantasting. Voor corrosie is naast de aanwezigheid van het staal nodig vocht en zuurstof. Nu is vocht altijd in voldoende mate aanwezig. De aanvoer van zuurstof naar het betonstaal is evenwel belemmert door een vochtige betondekking, zodat de kans op corrosie klein is. Echter, als deze betondekking verdwijnt komt het staal bloot te liggen. De corrosie kan dan makkelijker doorgang vinden, het betonstaal is niet meer beschermd. Dit kan een enigszins progressief karakter krijgen, zodat tijdig ingrijpen zinvol is.

2.2 CONSTRUCTIEF DRAAGVERMOGEN - SANEREN

Corrosie zal leiden tot een reductie in staafdoorsnede, al zal dit beperkt zijn. Tot op heden zijn waarnemingen gedaan waarbij van staven die volgens tekening een diameter hebben van 14 mm nog 12 mm over is. Belangrijk is echter dat het ontbreken van een dekking aan een zijde ook zorgt voor een mindere aanhechting. Tegenwoordig wordt in rekenregels ook gekeken naar de mate van aanhechting als onderdeel van het draagvermogen. Dit is te verklaren omdat het betonstaal bij buiging als het ware opgespannen wordt en de krachten moet overbrengen op het beton. Dit is beter mogelijk indien beton rondom aanwezig is. Het ontbreken van dekking heeft dus effect.

Wat naar het oordeel van TechnoConsult-Infra van groter belang is, is er voor te zorgen dat het betonstaal niet geheel vrij komt te liggen. Dit zal het geval zijn indien intensief wordt gesaneerd. De in de huidige toestand nog opgespannen staven, worden dan min of meer spanningsloos omdat ze kunnen vervormen. Dit betekent dat eerst bij een toenemende vervorming de staaf na herstel weer een bijdrage gaat leveren aan het draagvermogen.

Overigens geldt zolang het beton niet gescheurd is, de wapening nog niet veel effect zal hebben. Immers de meeste trekkracht zit dan, vanwege het oppervlak en sterkte, nog in het beton. In die zin zou vrijmaken geen probleem hoeven te zijn omdat de wapening nog geen wezenlijke rol vervult in het draagvermogen. Basis van het ontwerpen in beton is dat niet gerekend mag worden op treksterkte en dat trekspanningen weggewapend moeten worden. Beton kan echter wel degelijk trekkrachten opnemen. Zolang het beton niet is gescheurd, worden nagenoeg alle krachten nog door het beton opgenomen.

Echter, door het dieper saneren reduceert de doorsnede, ontstaan spanningen/trillingen en is onduidelijk wat er gebeurt. Ook om die reden is het naar het oordeel van TechnoConsult-Infra niet wenselijk en praktisch het betonstaal rondom vrij te maken.

2.3 NASTREVEN HECHTING REPARATIELAAG

Indien een goede hechting van een reparatielaag, bijvoorbeeld spuitbeton, nodig is, zal het beton zeer waarschijnlijk diep gesaneerd moeten worden, zie ook [3]. Gebleken is dat daarbij de kans groot is dat wapening vrij komt te liggen. Ook uit oogpunt van Arbo omstandigheden en milieu is ingrijpend saneren minder wenselijk. Daarnaast zal dat ook kosten met zich meebrengen. Het ingrijpend saneren in een koker van beperkte afmetingen vergt fysieke arbeid en laat zich minder goed controleren. Het is dus van belang na te gaan of een reparatielaag nodig is en zo ja of dit dan met spuitbeton moet gebeuren of langs andere wegen, zie ook extra draagweg-versterking.

De laag waarmee wordt gerepareerd is van invloed op de vereiste hechting. Enerzijds doordat dit materiaal bepaald hoeveel krimp zal ontstaan, maar anderzijds dat elk materiaal een inwendige samenhang heeft. Het materiaal zelf kan dan wel eens een lagere sterkte hebben dan een voorgeschreven hechtsterkte. Hiermee zal bij het saneren rekening gehouden moeten worden. Het geeft geen zin meer hechting na te streven dan het materiaal zelf aan trek kan opnemen.

Kortom, er is geen noodzaak het beton grondig te reinigen en al het biogeen aangetast beton te verwijderen. Enkel daar waar een constructief herstel nodig is, moet worden nagedacht over de mate van hechting en de wijze waarop dit wordt bereikt. In [10] is daarvoor een aanzet gegeven.

2.4 EXTRA DRAAGWEG-VERSTERKING

Van belang zijn de volgende vragen:

- a) Voldoet het riool constructief nog ondanks de schade.
- b) Wat kan gedaan worden deze te versterken.

Voldoen aan draagkracht

De indruk bij TechnoConsult-Infra is dat de schade nog niet zodanig is dat er op dit moment sprake is van een constructief onveilige situatie. Wel is het voor de toekomst van belang de ontwikkeling van schade c.q. corrosie en aantasting van het beton te stoppen. Daarbij wordt overigens uitgegaan van een reductie ten opzichte van het oorspronkelijk ontwerp. Toenemende verkeersbelastingen ten opzichte van de ontwerpregels in 1967 kunnen zorgen voor het niet meer voldoen aan de draagkracht (dit is nog niet nader bekeken).

Zeer globaal en oriënterend is een berekening gemaakt waarbij is uitgegaan van een reductie van het betonstaal van 14 mm tot 8 mm aan de onderzijde (bovenin wordt nog uitgegaan van de oorspronkelijke 14 mm). Het opneembaar moment is dan 21,8 kNm (in richting belasting) en 57 kNm naar buiten toe. De werkelijk opneembare momenten naar beneden blijkt volgens de testen van Nebest ten minste circa 20 kNm ($\frac{1}{4} \cdot 60 \cdot 1,25$) tot 31 kNm ($\frac{1}{4} \cdot 113 \cdot 1,1$).

Beschouwd is ter oriëntatie een gronddekking van 2 m en een lijnvorming puntlast in het midden van 5 kN. De situatie is beschouwd van een dek, scharnierend opgelegd en een dek volledig ingeklemd (de werkelijkheid ligt er tussen in). De betonsterkte is laag aangehouden. In het geval van een scharnier wordt de draagkracht overschreden, in het geval van een inklemming is er voldoende marge. De conclusie die daaruit werd getrokken is dat het zichtbaar zijn van betonstaal niet per definitie inhoudt dat de kokers niet meer voldoende constructief veilig zijn. Dit betekent dat stoppen van het proces van aantasting voldoende kan zijn om de kokers nog langdurig in stand te houden.

Een verificatieberekening [9] heeft bovenstaande hypothese bevestigd. Zolang de wapening in takt is, is er geen risico op constructief bezwijken. Pas indien de doorsnede enkele mm reduceert, ontstaat een situatie waar constructief herstel nodig is.

Mogelijkheden versterken

Een optie kan zijn daar waar er te weinig draagkracht kan zijn, als dit al het geval is, beton te saneren door de slechte c.q. omgezette lagen te verwijderen. Daarna kan wapening worden bijgeplaatst en zal er een constructieve laag aangebracht moeten worden, bijvoorbeeld via spuitbeton. Om meer dan één reden is dit een oplossing die veel kosten

met zich meer brengt, risico's met zich meebrengt in de uitvoering en ook arbeidstechnisch minder wenselijk is. Bovendien er dan weer een cementgebonden materiaal dat weerstand moet bieden aan de aantastende processen, wat in beginsel tegenstrijdig is. Uiteraard zou gewerkt kunnen worden met een opofferingslaag.

De voorgenomen werkwijze met het aanbrengen van kunststof beplating biedt perspectief. Het hoeft niet alleen een maatregel te zijn uit oogpunt van duurzaamheid. Het kan ook heel goed worden aangewend als versterkend element, voor zover al nodig. In dit verband wordt gewezen op de in 2020 verschenen CROW-CUR Aanbeveling 96:2019 "*Vezelversterkte kunststoffen in bouwconstructies en civiel-technische draagconstructies*". Hierin zijn randvoorwaarden en rekenregels opgenomen voor het toepassen van vezelversterkte kunststoffen als constructief element. Deze ontwikkeling draagt eraan bij dat ook deze materialen als constructief element gezien worden.

Het komt TechnoConsult-Infra dan ook voor dat gebruik gemaakt moet worden van deze combinatie van bescherming en versterking (waar nodig). Daarbij kan worden gedacht aan het volgende op hoofdlijnen:

- 1) Reinigen van het beton waarbij de losse delen worden verwijderd. De druk zodanig dat niet onnodig wapening vrij komt te liggen. De korst die achterblijft zal enkel samenhang moeten hebben.
- 2) De wapening die in het zicht komt kan voor extra bescherming worden voorzien van een anti-corrosieve primer alvorens de platen aan te brengen. Of dat nodig is hangt af van de alkaliteit van de mortel die als vulling wordt gebruikt. Indien een schuimbeton met hoge volumieke massa wordt gebruikt mag op voldoende bescherming worden gerekend. Temeer omdat van carbonatatatie geen sprake zal zijn na herstel.
- 3) Indien de kunststofplaat opgespannen kan worden (vastgezet) zal deze hoge trekkrachten kunnen opnemen en als uitwendige wapening een rol kunnen krijgen. Opspannen kan plaatsvinden via de strips, waarbij aan het uiteinden mogelijk wat zwaardere bouten gebruikt gaan worden.
- 4) Mogelijk dat de kunststof plaat met de ribben ook zelf al in staat zal zijn de optredende belastingen te dragen. Dit zal moeten worden bepaald (via berekening of experimenteel).
- 5) De constructie kan dienen als tweede draagweg in het geval het beton zou bezwijken (extra borging). Daarbij geldt dat de aantasting van het beton wordt gestopt. Immers de kunststoflaag sluit de toevoer van agressieve stoffen af en voorkomt ook zuurstoftoetreding. Voorwaarde is wel dat de ruimte tussen plaat en beton is gevuld. Daarbij speelt het vloeigedrag een rol.
- 6) De draagkracht van het geheel kan eventueel worden vergroot door additioneel nog wapeningsstaven aan te brengen tussen de ribben van het element, opgenomen in een cementgebonden laag.
- 7) Om constructief samen te werken is het van belang een zo hoog mogelijke volumieke massa na te streven omdat dit direct effect heeft op de volumieke massa. Echter, een goed vloeigedrag is daarbij dominant boven een sterkte.

Het voorstel advies is dan ook de draagkracht van de versterkte elementen (kunststof plaat met mortellaag, al dan niet met extra staven) te laten berekenen of te testen. Dit laatste zal het meest praktisch zijn.

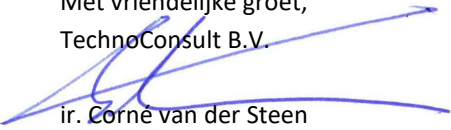
Inmiddels is bekend dat het constructief versterken maar beperkt nodig is, waarbij het traditioneel herstel wordt overwogen in deze fase van het proces. Wel blijft TechnoConsult-Infra voorstander van het doen van het benodigd onderzoek naar het ook als dragende constructie/ samenwerkende constructie laten meewerken van een voorziening die in beginsel wordt toegepast als bescherming van het beton. Namelijk het bekleden. Met de nieuwe rekenregels biedt dit mogelijkheden en zal het ook voor komende renovaties veel voordeel, technisch en financieel kunnen opleveren. Dit vanwege de kortere tijd die nodig is voor de uitvoering als ook de arbo- en milieubelasting.

Op basis van de ontvangen informatie, mondeling en schriftelijk en analyse van de situatie concludeert TechnoConsult-Infra het volgende:

- a) Uit de beelden volgt dat de betondekking aan de onderzijde van het dek voor een belangrijk deel is verdwenen. Dit geldt in zekere mate ook voor de bovenzijde van de wanden. Wapening wordt daarmee steeds makkelijk blootgesteld aan zuurstof, waardoor het corrosieproces zich zal versnellen ten opzichte van de situatie ervoor.
- b) De snelheid waarmee het beton wordt aangetast is niet te herleiden. Er zal sprake zijn van een voortschrijden van het proces, waardoor steeds meer wapening bloot komt te liggen. Herstel wordt dan steeds gecompliceerder dan wel heeft meer constructieve impact. Het advies is dan ook niet te lang te wachten met maatregelen gelet op de huidige staat.
- c) Er is nu nog geen directe aanleiding te veronderstellen dat de draagkracht structureel in belangrijke mate is afgenomen ten opzichte van het ontwerp, behoudens dan daar waar een sterke reductie is opgetreden. De reductie in diameter van betonstaal is algemeen nog beperkt en ook plaatselijk. Het ontbreken van een dekking zorgt voor minder aanhechting wat een negatief effect is. Uiteraard kunnen toegenomen belastingen (verkeer) ten opzichte van het ontwerp in 1967 wel leiden tot het niet meer voldoende draagkrachtig zijn, ook zonder schade. Met name boven wegen verdient dit aandacht.
- d) Het is ongewenst en ook niet noodzakelijk corroderende wapening die in het zicht is gekomen rondom vrij te maken. Dit omdat dit constructieve consequenties kan hebben en daarmee ook constructief herstel nodig kan zijn dan wel worden. Bovendien wordt de uitvoering onnodig complex en kostbaar gemaakt. Veder geldt dat de reparatie dan moet samenwerken, waardoor de voorwaarden aan de hechting hoog zijn. Dit betekent meer inspanning/belasting van de mens. Bovendien zijn de uitvoeringsomstandigheden niet ideaal zodat de kans op fouten/gebreken groot is.
- e) Veel meer ziet TechnoConsult-Infra de oplossing in een milde reiniging van het oppervlak, waarna de bekleding wordt aangebracht en de ruimte tussen deze kunststof bekleding en het beton wordt gevuld met een cementgebonden mortel. Dit brengt een alkalisch milieu terug en zorgt voor gebrek aan zuurstof waardoor corrosie effectief wordt gestopt. De sanering kan dan relatief beperkt zijn. Met mild wordt bedoeld dat alleen die delen worden verwijderd die los zitten of weinig samenhang hebben, niet de samenhangende witte korst.
- f) De gekozen techniek met kunststof elementen met verstijvingsribben maakt het mogelijk deze ook als dragend element te gaan beschouwen. Het draagvlak daarvoor is vergroot door het verschijnen van de nieuwe CROW-CUR-aanbeveling 97. In welke mate dit mogelijk is hangt van het ontwerp en de vulling tussen de ribben/over de ribben. Het meest praktisch om dit te bepalen is het doen van experimenteel onderzoek. Dit omdat, ook al is het hier nog niet inzetbaar, dit in de toekomst veel voordeel zal opleveren op vele fronten, technisch, arbotechnisch, milieu als ook financieel.

Wij vertrouwen erop u hiermee voor dit moment voldoende te hebben geïnformeerd. Mocht u desondanks nog vragen hebben over het bovengenoemde, dan horen wij dat graag.

Met vriendelijke groet,
TechnoConsult B.V.


ir. Corné van der Steen
Betononderhoudskundige