TNO innovation for life

Beoordeling herstelscenario's zwembad Culemborg

TNO Intern › TNO 2024 R10787
19 april 2024

Mobility & Built Environment
www.tno.nl
+31 88 866 20 00

TNO 2024 R10787 – 19 april 2024

Beoordeling herstelscenario's zwembad Culemborg

Auteurs [redacted]

Rubricering rapport	TNO Intern
Titel	TNO Intern
Rapporttekst	TNO Intern
Aantal kopieën	TNO Intern
Aantal pagina's	22 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Gemeente Culemborg
Projectnummer	060.61001/01.02.01

Alle rechten voorbehouden
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 3
1 Inleiding 4
2 Algemene informatie over het project 5
2.1 Overzicht herstelscenario's 5
2.2 Beschikbaar gestelde documenten 6
2.3 Opbouw van het zwembad 6
3 Reeds uitgevoerde onderzoeken 10
3.1 Door Element uitgevoerde onderzoeken 10
3.2 Door WSP uitgevoerd onderzoek 11
3.3 Door Iv-Consult uitgevoerde onderzoeken 12
4 Gelijkwaardigheid herstelscenario's aan het Bouwbesluit 14
5 Herstelscenario's 15
5.1 Algemeen 15
5.2 Herstelscenario 1 15
5.3 Herstelscenario 2 16
5.4 Herstelscenario 3 16
5.5 Herstelscenario 2b 17
5.6 Alternatieve scenario's 17
5.6.1 Herstelscenario 2c 17
5.6.2 Herstelscenario 4 17
5.6.3 Herstelscenario 5 18
6 Conclusies 19
7 Ondertekening 20

Bijlage
Bijlage A: Omgevingscondities 21

1 Inleiding

Zwembad de Waterlinie in Culemborg heeft een zwembad van het "2521 gewoon zwemmen" concept met daarin RVS wanden. In opdracht van Stichting Zwembad Culemborg (SZC) heeft Iv-Consult onderzoek uitgevoerd naar het zwembad, waarbij is vastgesteld dat er niet-resistent RVS is gebruikt in alle bevestigingsmiddelen tussen de RVS wandpanelen van het zwembad én tussen de RVS onderdelen en het beton van de opstort en omloopvloer op de eerste verdieping.

Iv-Consult heeft in een brief d.d. 11 december 2023 vier hoofdscenario's beschreven waarmee tot een beheersbare situatie gekomen kan worden. In vervolg daarop is aan TNO gevraagd een onderzoek uit te voeren ter beantwoording van de volgende vragen:

1. Kan TNO de genoemde scenario's beoordelen én ziet zij in één van de scenario's een haalbare oplossing om daarmee tot een aannemelijk constructief veilige situatie te komen waarbij het zwembad voor langere tijd in gebruik kan blijven?
2. Is één van de scenario's in voldoende mate gelijkwaardig te krijgen aan het Bouwbesluit 2012 art 5:12, aangezien het Bouwbesluit niet voorziet in deze specifieke situatie?
3. Kan TNO aangeven of de bij de scenario's beschreven activiteiten toereikend zijn om een positief oordeel te kunnen vellen over de constructieve veiligheid (gelijkwaardig aan het Bouwbesluit)?
4. Indien TNO alternatieve oplossingen ziet, of de haalbaarheid van het minst ingrijpende Scenario 1 kan ondersteunen dan vernemen wij dat graag.

Ten behoeve van de beantwoording van deze vragen zijn de reeds beschikbare onderzoeksrapporten door TNO beoordeeld. Tevens hebben de heren Borsje en Schuring van TNO op 22 maart 2024 een bezoek brengen aan het zwembad. Tijdens dat bezoek is het zwembad visueel beoordeeld en is overleg gevoerd met de heren Van Laar (gemeente), De Gier (Bremen Adviseurs) en Visser (Iv-Consult).

De onderhavige rapportage geeft de resultaten van het uitgevoerde onderzoek.
Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de vier door Iv-Consult opgestelde herstelscenario's, een overzicht van de aan TNO beschikbaar gestelde documenten en informatie over de opbouw van het zwembad en de in dit rapport aangehouden terminologie.
Hoofdstuk 3 geeft een samenvattend overzicht van de reeds uitgevoerde onderzoeken opgesplitst per onderzoeksbureau.
Hoofdstuk 4 gaat in op de gelijkwaardigheid van de herstelscenario's aan het Bouwbesluit (de onderzoeksvragen 2 en 3).
Hoofdstuk 5 geeft een inhoudelijke beoordeling van de herstelscenario's (onderzoeksvraag 1) en mogelijke alternatieve herstelscenario's (onderzoeksvraag 4).
Hoofdstuk 6 geeft de conclusies van het uitgevoerde onderzoek.

2 Algemene informatie over het project

2.1 Overzicht herstelscenario's

De door Iv-Consult opgestelde herstelscenario's zijn beschreven in document [07] (zie paragraaf 2.2). Onderstaand zijn die beschrijvingen integraal overgenomen.

Herstelscenario 1:
- Periodiek monitoren en testen, en enkel als nodig blijkt bouten of ankers uitwisselen door chloride resistent materiaal.
- Verbeteren van ventilatie door een WTW installatie met een gereguleerd in- en uitblaas debiet.
- Voordeel is dat de kosten relatief laag zijn en het werk zich beperkt tot testen en beperkt uitwisselen met minimale hinder voor de bedrijfsvoering van het bad.
- Nadeel is dat er het niet-resistente materiaal aanwezig blijft en daarmee ook een mate van onzekerheid of op termijn ongezien schade en/of bezwijken optreedt.

Herstelscenario 2:
- Makkelijk uit te wisselen verbindingsmiddelen vervangen door chloride resistent materiaal.
- Niet uit te wisselen materiaal monitoren en waar mogelijk periodiek testen.
- Verbeteren van ventilatie door een WTW installatie met een gereguleerd in- en uitblaas debiet.
- Voordeel is dat de zwembadwand onderling een hogere zekerheid krijgt en dat deze niet langdurig uit bedrijf genomen hoeft te worden.
- Nadeel is dat er nog altijd niet-resistent materiaal aanwezig is in de meer kritische delen en monitoring nodig blijft.

Herstelscenario 3:
- Alle niet-resistente verbindingsmiddelen uitwisselen door chloride resistent materiaal.
- Verbeteren van ventilatie door een WTW installatie met een gereguleerd in- en uitblaas debiet.
- Nadeel hiervan is de relatief lange sluiting van het bad, nodig voor het uitboren van ankers en het opnieuw plaatsen hiervan. De kosten zijn relatief hoog en tijdens de uitvoering kunnen risico's optreden zoals zettingen, lekkage in de pvc bekleding en schades in het algemeen.
- Voordeel is dat het bad hierna in veel hogere mate resistent is voor chloride corrosie en dat de zorgen over plotseling bezwijken en constructieve veiligheid vrijwel volledig kunnen worden weggenomen.

Herstelscenario 2b:
- Enkel die verbindingsmiddelen worden uitgewisseld waarvoor geen langdurige sluiting van het bad nodig is. Het bad kan zo veel als mogelijk operationeel blijven.

- Bestaande verbindingsmiddelen die niet eenvoudig vervangen kunnen worden (zoals ankers) worden door voorzieningen van chloride resistent materiaal overbodig gemaakt. Dit kan door o.a. het bijplaatsen van hoekstalen, adapters, klemmen en dergelijke. De nieuwe onderdelen hebben voldoende sterkte om de functie volledig over te nemen, waardoor monitoring van de achtergebleven RVS onderdelen niet vereist meer is.
- Ter nadere bepaling van de te nemen maatregelen wordt – indien voor deze oplossing wordt gekozen - een redundantieberekening uitgevoerd. De inhoud en noodzaak van deze berekening hangt mede samen met de haalbaarheid/keuze voor dit scenario en/of aanwijzingen van TNO.
- Ook dit scenario kan situaties bevatten waarbij bijzondere handelingen nodig zijn, zoals het verleggen van leidingen om verbindingen bereikbaar te maken. Mogelijk zal in dit scenario alsnog een kortstondige buitendienststelling nodig zijn.
- Verbeteren van ventilatie door een WTW installatie met een gereguleerd in- en uitblaas debiet.
- Voordeel is dat de zwembadwand een hogere (en op onderdelen een bovengemiddelde) zekerheid krijgt en dat deze niet langdurig uit bedrijf genomen hoeft te worden.
- Nadeel is de kostenpost voor engineering, materiaal, voorbereiding en arbeid van de extra voorzieningen. Kostentechnisch zal deze nagenoeg gelijk zijn als Scenario 3, echter met minder hinder voor de gebruikers.

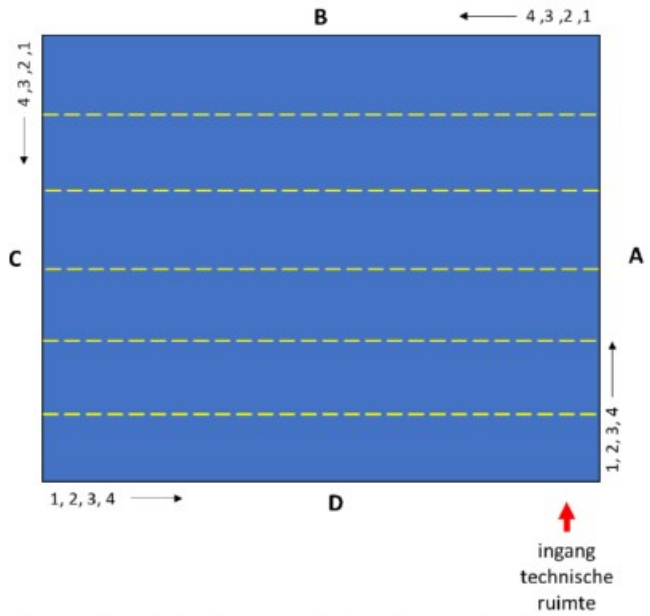
2.2 Beschikbaar gestelde documenten

Ten behoeve van het onderzoek zijn aan TNO de volgende documenten beschikbaar gesteld:

[01] Element; ERO039711P - IV Consult - CLSCC zwembad Culemborg SIGNED; 1 maart 2023
[02] Iv-Consult; COPA230203-M101 - Quick scan verbindingen bassinwand zwembad de Waterlinie; 25 augustus 2023
[03] Iv-Consult; COPA230212-00-RF2-RB RVS Culemborg fase 2; 25 augustus 2023
[04] WSP; Memo perronvloeren De Waterlinie 25-08-2023; 25 augustus 2023
[05] Element; ERO041135P - St. Zwembad Culemborg SIGNED; 1 november 2023
[06] Iv-Consult; COPA220313-00-R03.3-rapportage Culemborg versie 01-11-2023 signed; 1 november 2023
[07] Iv-Consult; COPA230203_TNO_verzoek offerte 11-12-23 wvi; 11 december 2023

2.3 Opbouw van het zwembad

Het zwembad de Waterlinie is gesitueerd aan de Multatulilaan 5 te Culemborg en is een zwembad van het “2521 gewoon zwemmen” concept. Het zwembad is in januari 2016 opgeleverd. Het betreft een bassin met een lengte van 25 m, een breedte van circa 22 m en een diepte van circa 3 m. Ten behoeve van de plaatsbepaling heeft Element [01] de wanden van het bassin gecodeerd met A – D; deze codering is in de onderhavige rapportage ook overgenomen (figuur 2.1).



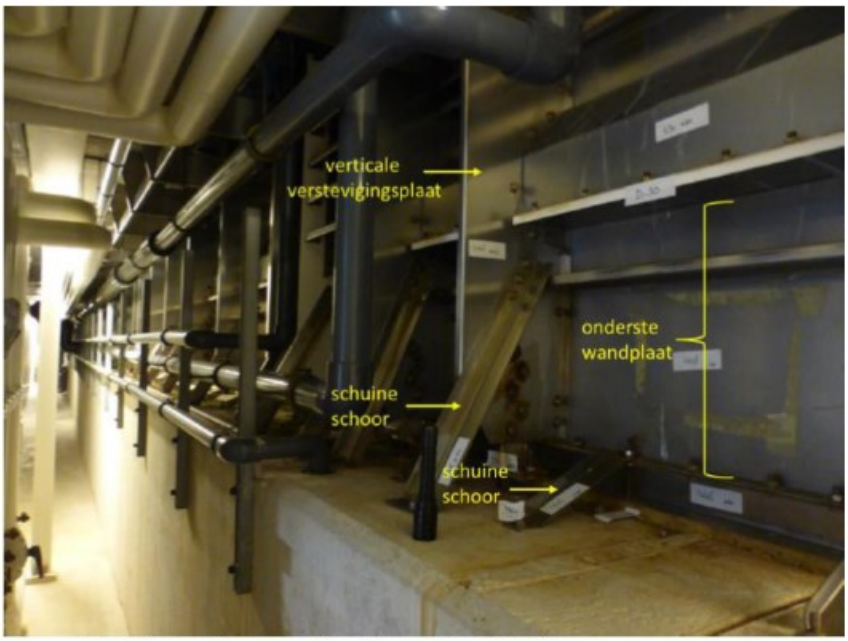
Figuur 2.1: Codering van de bassinwanden [01]

De vloer van het bassin is vervaardigd van gewapend beton. Dit geldt ook voor de onderste helft van de bassinwanden. Het bovenste deel van de bassinwanden is vervaardigd van ferritisch roestvast staal (RVS) en is op de betonnen bassinwand bevestigd middels chemische ankers. De waterzijde van de RVS-bassinwanden is bedekt met een waterdichte folie; de naar de technische ruimte gekeerde zijde is onbedekt.

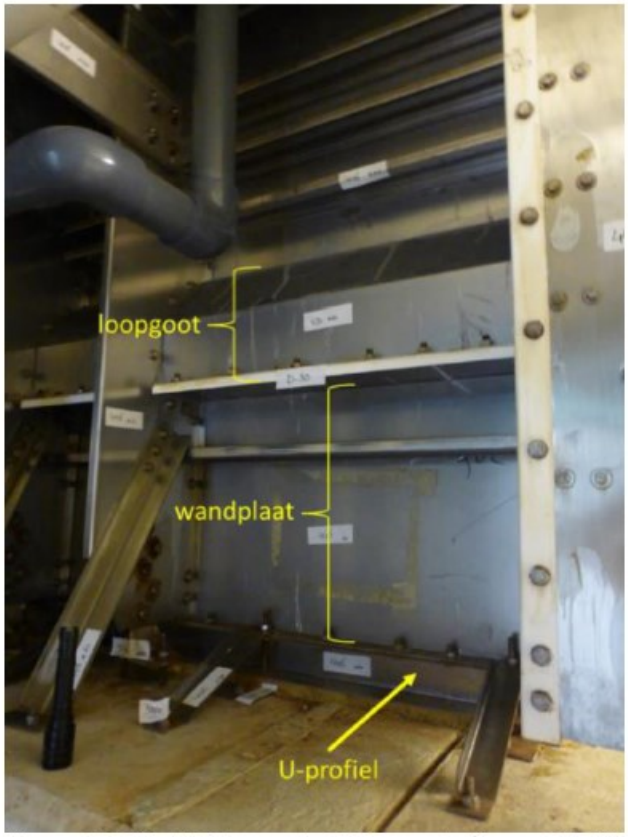
De ferritisch-RVS-wanden zijn opgebouwd uit aan elkaar geboute vakken. In document [01] is een overzicht gegeven van de verschillende RVS-onderdelen van deze RVS-wanden. De daarbij gebruikte terminologie voor de verschillende onderdelen is in de onderhavige rapportage ook aangehouden (figuur 2.2 – 2.5). De volgende onderdelen en onderlinge verbindingen zijn te onderscheiden:

- Wandplaat:
  - Aan kopse zijden bassin doorlopend over gehele hoogte.
  - Aan lange zijden bassin onderverdeeld in een onderste deel en een bovenste deel, ter plaatse van een loopgoot.
- Overloopgoot
- Verbindingsplaat met verdiepingsvloer
- U-profiel
- Horizontale ligger
- Verticale verstijvingsplaat
- Voetstuk
- Schuine schoor lang (van verticale verstijvingsplaat naar beton)
- Schuine schoor kort (van U-profiel naar beton).

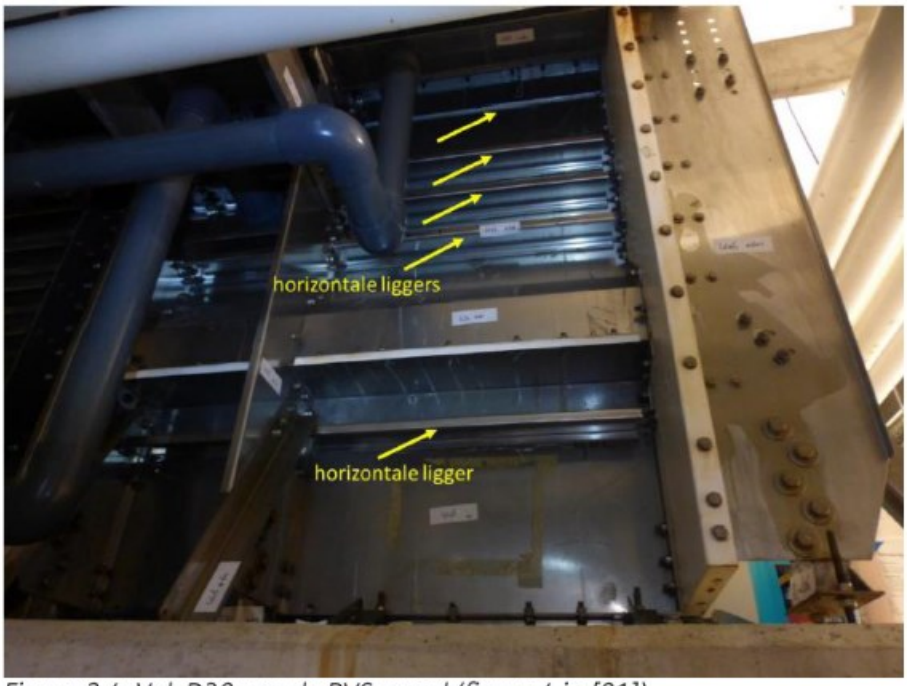
In document [07] is ten aanzien van het klimaat in de technische ruimten rond het zwembad het volgende aangegeven:
"*Bij de Waterlinie is een ringventilatie aangebracht én is er een uitblaasventilatie voorzien die lucht vanuit de technische ruimte naar buiten blaast. Dit zorgt ervoor dat er een zekere mate van onderdruk in de technische ruimte heerst en dat verse (zwembad)lucht wordt aangezogen door onder andere de openingen van de zwembadlijnen en een rooster in de gevel. De ringventilatie verdeeld deze lucht redelijk gelijkmatig over de technische ruimte.*"



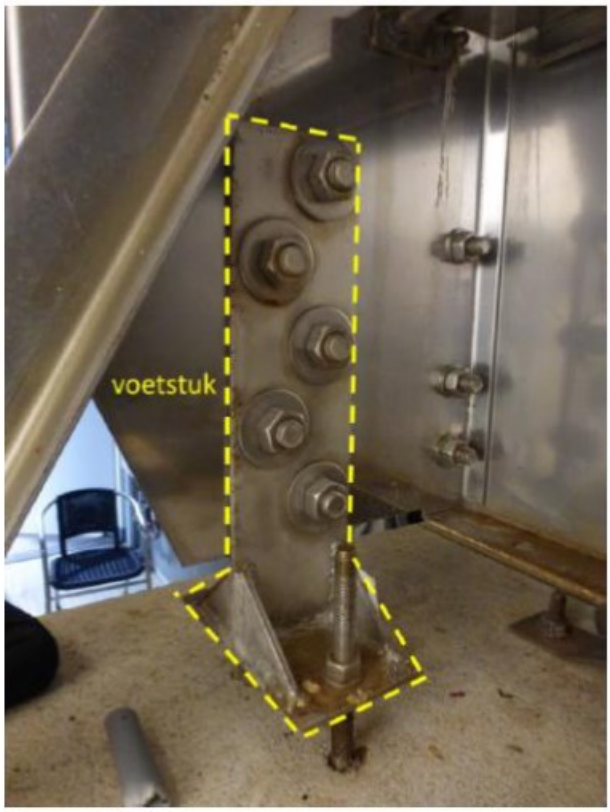
Figuur 2.2: Overzicht wand D (figuur 3 in [01])



Figuur 2.3: Vak D30 van de RVS-wand (figuur 2 in [01])



Figuur 2.4: Vak D30 van de RVS-wand (figuur 4 in [01])



Figuur 2.5: Voetstuk van verticale verstevigingsplaat (figuur 5 in [01])

3 Reeds uitgevoerde onderzoeken

3.1 Door Element uitgevoerde onderzoeken

Document [01] betreft een rapport van Element met de resultaten van een (korte) inspectie van de RVS bassinwanden, inclusief een (beperkt) destructief vervolgonderzoek. Het door Element uitgevoerd onderzoek bestond uit de volgende onderdelen:

- De bassinwand is op locatie visueel onderzocht.
- Positieve materiaal identificatie (PMI) van de verschillende gebruikte RVS wand-elementen van één enkel vak is uitgevoerd middels röntgenfluorescentieanalyse (XRF).
- Op verscheidene posities zijn door Element bouten gedemonteerd en meegenomen voor onderzoek in het laboratorium.
- In het laboratorium zijn de bemonsterde bouten visueel en stereomicroscopisch onderzocht. Van een 6-tal bouten zijn doorsneden gemaakt en geprepareerd voor macro- en microscopisch onderzoek

De positieve materiaal identificatie (PMI) is uitgevoerd in vak D-30 en heeft het volgende uitgewezen:

- Alle bouten, moeren en carrosserieringen, evenals de ankerbouten in het beton zijn van een austenitisch RVS-materiaal type 304(L) (matnr. 1.4301/1.4307).
- Ook de voetstukken onder de verticale verstevigingsribben zijn gemaakt van een austenitisch RVS-materiaal type 304(L).
- De bovenste wandplaat en de geprofileerde overloopgoot zijn van ferritisch RVS type 430 (matnr. 1.4016).
- Alle overige wandelementen (inclusief de schuine schoren) zijn van ferritisch RVS type 446. (matnr. 1.4762).

Samenvattend volgt uit de materiaal identificatie dat de bouten in de gehele bassinwand-constructie en de samengestelde voetstukken van een austenitisch roestvaststaal materiaaltype 304 zijn, een kwaliteit die gevoelig is voor chloride-spanningscorrosie (Cl-SCC). De overige elementen van de wanden van het bassin zijn van een ferritisch roestvaststaal en zijn niet gevoelig voor Cl-SCC.

Bij de visuele beoordeling van de wand is het volgende waargenomen:

- De wandplaten waren in de meest vakken aan de technische ruimte zijde bedekt met een dunne transparante plastic folie.
- Een beperkt deel van de wandelementen was bedekt met een dunne film van een of ander tectylachtig bruin-transparant product. Op eerder gecorrodeerde bouten toonden dit product enigszins zwart.
- Op de overlapnaad tussen het U-profiel en de wandplaat waren in verschillende vakken leksporen met zoutafzettingen zichtbaar. Op de korte zijde C rondom vak 15 lag zelfs een ruime waterfilm op het onderliggende beton, zeer waarschijnlijk - gezien de significante hoeveelheid zoutafzettingen en corrosieproduct rondom de overlapnaad - afkomstig uit deze naad.

- Op de lager gelegene delen van de RVS-wanden en met name op en rond het U-profiel toonden zich afzettingen van zouten vermengt met roestkleurig product.
- Ook op posities zonder zichtbare zoutafzettingen toonden zich duidelijk roestkleurige afzettingen. Dit gold voor de wandplaten alsook de puur constructieve wandelementen. Ieder vak toonde in meer of mindere mate afzettingen van roestproduct. Dit gold ook voor nagenoeg alle aanwezige bouten.

Zes visueel aangetaste bouten (RVS 304; matnr. 1.4301/1.4307) zijn uit de wandconstructie verwijderd en meegenomen naar het laboratorium voor verder onderzoek. Deze bouten waren alle in meer of mindere mate aangetast door corrosie. Het beeld van aantasting was tweeledig:

- Op verschillende posities van de tanden maar ook aan de kop van de bout toonde zich aan het oppervlak geïnitieerde scheurvorming met uitbreiding door de tand of kop. Op sommige posities waren delen van tanden geheel ondermijnd. De uitbreiding verliep deels transkristallijn en was (deels fijn) vertakt waarbij de vertakkingen veelal, maar niet alleen, de deformatiebanen in het materiaal volgden. De scheurvorming beperkte zich vooralsnog enkel in de tanden (en in de kop van de bout) en niet door de diameter van de bout zelf. Het beeld van scheurvorming duidt op spanningscorrosie.
- Veelal rondom de scheurvorming maar ook op andere geïsoleerde posities – waaronder de neus van de bout -, toonde het materiaal een op verschillende posities zeer dicht netwerk van selectieve aantasting van de microstructuur langs de deformatie- en sliplijnen waarbij het boutmateriaal totaal poreus en ondergraven was geworden.

De delen van de bouten onder de moer, onder de boutkop en in het gat van de te verbinden delen waren vrij van corrosie of scheurvorming. Waarschijnlijk waren de spleten voldoende aangedrukt en de vochtigheid laag genoeg om binnendringen van een corrosief medium tot op dat moment te voorkomen.

Document [05] betreft een rapport van Element met de resultaten van een vervolgonderzoek aan vijf andere bouten uit de bassinwand. Deze vijf bouten, alle A2 kwaliteit (304 austenitisch RVS), zijn steeds uitgehaald naast of nabij bouten welke reeds in februari 2023 waren gedemonteerd [01]. De bevindingen op de vijf onderzochte bouten komen grosso modo overeen met die verkregen op de bouten onderzocht in februari 2023 [01]. Er is over deze relatief korte periode geen significante toename van corrosieschade vastgesteld.

3.2 Door WSP uitgevoerd onderzoek

Document [04] betreft een memo van WSP met een beschouwing van de perronvloer rond het zwembad. In dat memo is het volgende aangegeven:

- Op verdiepingsniveau ligt rondom het bad een breedplaatvloer als perronvloer. Deze ligt op stalen liggers en kolommen en dragen niet af op de ferritisch-RVS-bassinwand.
- De RVS-bassinwanden steunen op perronniveau af op de breedplaatvloer. De horizontale belastingen worden dus door de vloer opgenomen.

Als conclusie is in dit memo aangegeven: "*Hoewel we niet alle originelen documenten meer terug kunnen vinden kunnen we wel concluderen dat de perronvloeren berekend zijn op de krachten vanuit de RVS wanden. De daarvoor benodigde wapening is in de perronvloeren meegenomen*".

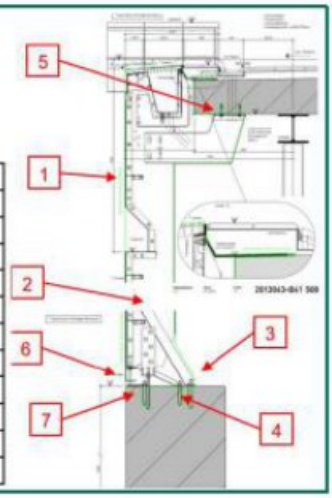
3.3 Door Iv-Consult uitgevoerde onderzoeken

Document [02] betreft een memo van Iv-Consult met de resultaten van een quick scan van de verbindingen in de bassinwand van het zwembad. Bij deze quick scan is gebruik gemaakt van de resultaten van een eerder door Iv-Consult uitgevoerd onderzoek aan zwembad “Blokweer” in Alblasserdam.

In dit memo is het volgende weergegeven:

- De wand van zwembad “De waterlinie” bestaat uit een betonnen wand met daarop een ferritisch-RVS bassinwand. Dit in tegenstelling tot de wand van zwembad “Blokweer” welke geheel bestaat uit een ferritisch-RVS bassinwand.
- De kerende hoogte van de betreffende RVS bassinwand is hierdoor lager (circa 1.9 m t.o.v. circa 2.6 m). Hierdoor is ook de waterbelasting per constructief onderdeel lager wat resulteert in meer overcapaciteit, wanneer wordt uitgegaan van vergelijkbare hart op hart afstanden van de onderdelen van de bassinwand bij zwembad “De waterlinie” ten opzichte van zwembad “Blokweer”.
- Vanwege het ontbreken van tekeningen van de RVS bassinwand onderdelen met materiaalgegevens, plaatdiktes, boutdiameters en hart op hart afstanden zijn de toetsingen gebaseerd op de toegepaste materialen, plaatdiktes, boutdiameters en hart op hart afstanden van de constructieve onderdelen welke zijn toegepast bij project zwembad “Blokweer” te Alblasserdam.
- Uit de toetsing blijkt dat de verbindingen voldoen voor de constructie in geval van nieuwstaat. De verbindingen hebben in nieuwstaat per type boutgroep een reservecapaciteit (zie figuur 3.1), zodat materiaalverlies en/of sterkteverlies van die onderdelen (als gevolg van algemene corrosie) niet direct tot bezwijken hoeft te leiden.
- Door de relatief grote hoeveelheid verbindingsmiddelen, dunne vervormbare plaat en relatief veel steunpunten naar fundering/betonwand en perronvloer werken alle onderdelen samen. Hierdoor ontstaat een zogenaamde "statisch onbepaald systeem" welke een relatief grote herverdelingscapaciteit heeft.

No.	Omschrijving	UC		UC*	
1.	Verbinding ligger met staander	0,36		-	
2.	Verbinding schoor met staander	0,17		0,25	
3.	a) Verbinding schoor met betonnen fundatie (anker)	0,39		0,58	
	b) Verbinding schoor met betonnen fundatie (beton)	0,67		1,01	**
	c) Verbinding schoor met betonnen fundatie (staal)	0,35		0,52	
4.	Verbinding stoppers met betonnen fundatie	0,39		-	
5.	a) Verbinding steun met verdiepingsvloer	0,67		-	
	b) Verbinding steun met staander	0,16		-	
6.	Verbinding wand met betonnen fundatie nabij staander	0,65		-	
7.	Verbinding staander met betonnen fundering	0,19		-	
8.	Verbinding staander met wandpanelen	-		-	



Figuur 3.1: Overzicht UC’s per verbinding (figuur 4 in [02])

Document [03] betreft een rapport van Iv-Consult met een scenarioaanpak voor de corrosiebeheersing. In dit rapport worden de volgende drie scenario’s geanalyseerd:

1. Behouden van de huidige situatie, het verbeteren van het klimaat en blijvende periodieke inspecties uitvoeren. Vervangen van niet-resistente RVS onderdelen pas indien dit nodig is op basis van de inspectieresultaten.
2. Niet-resistent RVS preventief vervangen, enkel op die locaties waar dit zonder grote ingrepen of het buiten bedrijf stellen van het zwembad kan. Niet te vervangen RVS onderdelen laten zitten en blijven monitoren met periodieke inspecties. Daarnaast verbeteren van het klimaat.
3. Alle niet-resistent RVS vervangen, het klimaat verbeteren en laagfrequente periodieke inspecties.

Bij alle drie de scenario's wordt het verbeteren van het klimaat nodig geacht, niet alleen voor de corrosievorming van de bassinwand, maar ook voor de aanwezige installaties.

In hoofdstuk 4 van het rapport zijn, op een arbitraire wijze, de verschillen tussen de scenario's weergegeven (figuur 3.2). Onderdelen zijn niet gewogen of apart beoordeeld naar importantie, maar het overzicht geeft op zijn minst een indicatie en op onderdelen een weging.

Scenario	Omschrijving	Veiligheid	Tijdsduur maatregel	Exploitatie	Kosten maatregel	Beheer en onderhoud	Imago omgeving	Uitvoeringsrisico maatregelen	Meelift kansen	*Score (aantal +)*
1	Behouden van de huidige situatie	0	++	++	++	0	++	++	0	*10*
2	Niet resistent RVS 70% preventief vervangen	+	+	+	+	+	+	+	+	*8*
3	Alle niet resistent RVS vervangen	++	0	0	0	++	0	0	++	*6*

++ = scoort het beste
+ = scoort gemiddeld
0 = scoort het minste

Figuur 3.2: Afweging van de scenario's 1 tot en met 3 (hoofdstuk 4 in [03])

Document [06] betreft een rapport van Iv-Consult met een analyse van de ventilatie van de technische ruimten rondom het zwembad. Dit rapport geeft geen nieuwe feiten over de toestand van de bassinwanden.

4 Gelijkwaardigheid herstelscenario's aan het Bouwbesluit

De constructieve veiligheid van de ferritisch-RVS wanden en de austenitisch RVS (materiaal type 304(L)) verbindingsmiddelen van het zwembad moet voldoen aan de eisen gesteld in het Bouwbesluit. Daarbij kan de discussie worden gevoerd of deze voor de huidige situatie moet voldoen aan de eisen voor nieuwbouw of die voor bestaande bouw. De veronderstelling is dat er van wordt uitgegaan dat bij de vier door Iv-Consult voorgestelde scenario's de veiligheid het veiligheidsniveau teruggebracht wordt op die voor nieuwbouw. In de artikelen 2.1 tot en met 2.4 van het Bouwbesluit wordt voor de belastingscombinaties en de bepalingsmethodes doorverwezen naar de NEN-EN 1990-reeks, ook bekend als de Eurocodes. Opgemerkt wordt dat vanaf 1 januari 2024 bij de invoering van de Omgevingswet, het Bouwbesluit is vervangen door het Besluit Bouwwerken Leefomgeving. Dit besluit wijst overigens ook dezelfde NEN-EN 1990-reeks aan.

Voor de situatie dat er geen sprake is van corrosie van de verbindingsmiddelen zijn de oorspronkelijk berekening van toepassingen. In voorliggend onderzoek is ervan uitgegaan dat deze aantonen dat voldaan is aan de eisen volgens het Bouwbesluit en de NEN-EN 1990-reeks. Indien echter gebruik is gemaakt van niet-resistent materiaal voor chloride-spanningscorrosie, zal de constructieve veiligheid op termijn niet gegarandeerd zijn.

In artikel 5.12 Zwembaden van de Regeling Bouwbesluit (waarnaar overigens ook wordt verwezen vanuit artikel 4.1.2 Zwembaden van de Invoeringsregeling Omgevingswet die die vanaf 1 januari 2024 van kracht is), worden geen nadere eisen gesteld aan niet-resistent roestvaststaal. Dit artikel is er alleen op gericht dat een eigenaar van een zwembad vanuit de zorgplicht een onderzoekverplichting heeft om na te gaan of er al dan niet sprake is van niet-resistent materiaal. Indien inderdaad sprake is van niet-resistent materiaal, zal de eigenaar passende maatregelen moeten nemen.

In hoeverre elk van de vier door Iv-Consult voorgestelde scenario's de negatieve effecten van niet-resistent materiaal in voldoende mate is gecompenseerd, is nader beschreven in het volgende hoofdstuk van dit rapport. Bezien vanuit het Bouwbesluit is dat ook acceptabel; de situatie wordt dusdanig aangepast dat aantoonbaar voldaan is aan de eisen voor de constructieve veiligheid, ook voor op de langere termijn.

5 Herstelscenario's

5.1 Algemeen

Deze paragraaf geeft een inhoudelijke beoordeling van de vier door Iv-Consult opgestelde herstelscenario's en geeft eventuele alternatieve scenario's.

De algemene uitgangspunten bij deze beoordeling zijn:

- TNO onderschrijft de conclusies van Element en Iv-Consult dat de bouten in de gehele bassinwandconstructie en de samengestelde voetstukken van een austenitisch roestvaststaal materiaaltype 1.4301/1.4307 (AISI 304) zijn, een voor chloride- spanningscorrosie (Cl-SCC) gevoelige kwaliteit. Dit betekent dat de eigenaar ten aanzien van deze onderdelen passende maatregelen moet nemen om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen (zie vorige hoofdstuk).
- TNO onderschrijft tevens de conclusies dat de overige elementen van de wanden van het bassin van een ferritisch roestvaststaal zijn en derhalve niet gevoelig zijn voor Cl-SCC. Dit betekent dat ten aanzien van deze elementen geen maatregelen noodzakelijk zijn.

Een onderdeel van alle herstelscenario's is "*Verbeteren van ventilatie door een WTW installatie met een gereguleerd in- en uitblaas debiet*". TNO onderschrijft dat dit zinvol is, ongeacht het te kiezen herstelscenario. In bijlage A wordt hier nader op ingegaan.

5.2 Herstelscenario 1

Herstelscenario 1 betreft:

- Periodiek monitoren en testen, en enkel als nodig blijkt bouten of ankers uitwisselen door chloride resistent materiaal.

Naar het oordeel van TNO is dit geen passende maatregel om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen. Dit is gebaseerd op het volgende:

- Er is vrijwel geen waarschuwend vermogen voor het optreden van Cl-SCC bij een bout en bij een anker. Dit betekent dat het visueel monitoren van de bouten en ankers niet mogelijk is om tijdig Cl-SCC waar te nemen.
- Ook zijn er geen niet-destructieve onderzoekstechnieken die (tijdig) Cl-SCC bij de bouten en ankers kunnen detecteren.
- Monitoren en testen van bouten en ankers is mogelijk door periodiek bouten en ankers te verwijderen en die destructief te onderzoeken op het optreden van Cl-SCC en op de ontwikkeling daarvan in de tijd. Het wel of niet optreden van Cl-SCC en de snelheid daarvan is echter zowel afhankelijk van de corrosiviteit van het milieu als van de aanwezige trekspanning (restspanning van fabricage én extern opgelegde belastingen) en de temperatuur. Dat betekent dat het periodiek monitoren en testen van bouten en ankers een onbetrouwbare voorspelling geeft ten aanzien van het voorspellen van het optreden van Cl-SCC.

- De ankers zijn alleen te verwijderen door deze uit te boren. Dit is voor de ankers in de wand van het bassin vrijwel niet uitvoerbaar. Daar komt bij dat in het geval van de ankers er een relatief grote spleet zit tussen de voetplaten en het beton, waardoor zich daar een erg corrosief milieu kan instellen dat niet te controleren is. De gerapporteerde aanwezigheid van een vloeistoffilm en zoutdeposities op het beton is hier een sterke aanwijzing voor.
- De samengestelde voetstukken zijn ook van een voor Cl-SCC gevoelige kwaliteit. Maatregelen ten aanzien van deze voetstukken ontbreken bij dit herstelscenario.

5.3 Herstelscenario 2

Herstelscenario 2 betreft:

- Makkelijk uit te wisselen verbindingsmiddelen vervangen door chloride resistent materiaal.
- Niet uit te wisselen materiaal monitoren en waar mogelijk periodiek testen.

Naar het oordeel van TNO is dit geen passende maatregel om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen. Dit is gebaseerd op het volgende:

- Er is niet gespecificeerd wat de “makkelijk uit te wisselen verbindingsmiddelen” zijn.
- De nadelen van het periodiek monitoren en testen zijn weergegeven bij herstelscenario 1. Vanwege deze nadelen zou niet de eenvoud van uitwisselen leidend moeten zijn, maar de mate waarin de bouten en de ankers mechanisch en corrosief belast worden.
- Maatregelen ten aanzien van de voetstukken ontbreken bij dit herstelscenario.

5.4 Herstelscenario 3

Herstelscenario 3 betreft:

- Alle niet-resistente verbindingsmiddelen uitwisselen door chloride resistent materiaal.

Naar het oordeel van TNO is dit een passende maatregel om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen, onder de voorwaarde dat ook de voetstukken onder de verticale verstevigingsribben, die gemaakt zijn van een austenitisch RVS-materiaal type 304(L), vervangen worden.
TNO heeft ten aanzien van dit herstelscenario de volgende opmerkingen:

- Onderzocht dient te worden welke bouten en/of ankers direct vervangen kunnen worden, zonder additionele maatregelen om de constructieve veiligheid van de bassinwand te waarborgen als die worden verwijderd.
- Voor de overige bouten en ankers moet een plan opgesteld worden ten aanzien van de tijdelijke maatregelen die noodzakelijk zijn om de constructieve veiligheid van de bassinwand te waarborgen als die worden verwijderd.
- Nagegaan dient te worden of het voor alle ankers mogelijk is om ze uit te wisselen. Met name voor de ankers in de bassinwand lijkt dat praktisch gezien moeilijk uitvoerbaar. Indien dat niet haalbaar is, moet daarvoor een alternatief gevonden worden.

5.5 Herstelscenario 2b

Herstelscenario 2b betreft:

- Enkel die verbindingsmiddelen worden uitgewisseld waarvoor geen langdurige sluiting van het bad nodig is. Het bad kan zo veel als mogelijk operationeel blijven.
- Bestaande verbindingsmiddelen die niet eenvoudig vervangen kunnen worden (zoals ankers) worden door voorzieningen van chloride resistent materiaal overbodig gemaakt. Dit kan door o.a. het bijplaatsen van hoekstalen, adapters, klemmen en dergelijke. De nieuwe onderdelen hebben voldoende sterkte om de functie volledig over te nemen, waardoor monitoring van de achtergebleven RVS onderdelen niet vereist meer is.
- Ter nadere bepaling van de te nemen maatregelen wordt – indien voor deze oplossing wordt gekozen - een redundantieberekening uitgevoerd. De inhoud en noodzaak van deze berekening hangt mede samen met de haalbaarheid/keuze voor dit scenario en/of aanwijzingen van TNO.

Naar het oordeel van TNO kan dit een passende maatregel zijn om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen.
TNO heeft ten aanzien van dit herstelscenario de volgende opmerkingen:

- De eerste twee bij herstelscenario 3 weergegeven opmerkingen gelden ook voor dit herstelscenario.
- De eerste bullet heeft betrekking op verbindingsmiddelen die uitgewisseld kunnen worden zonder dat een langdurige sluiting van het bad nodig is. De tweede bullet heeft betrekking op verbindingsmiddelen die niet eenvoudig zijn te vervangen, zoals ankers. Onduidelijk is of daarmee alle verbindingsmiddelen zijn ondervangen.
- Maatregelen ten aanzien van de voetstukken onder de verticale verstevigingsribben die gemaakt zijn van een austenitisch RVS-materiaal type 304(L), ontbreken bij dit herstelscenario. Hiervoor moet nog een passende oplossing voor herstel worden gevonden.
- Het oordeel of dit een passende maatregel is om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen kan nog niet worden gegeven. Dat is afhankelijk van de voorzieningen die ontworpen gaan worden.

5.6 Alternatieve scenario's

5.6.1 Herstelscenario 2c

Bij herstelscenario 2b is aangegeven dat nieuwe onderdelen van resistent materiaal worden bijgeplaatst. Daarbij wordt er van uitgegaan dat rondom het gehele bassin vergelijkbare maatregelen getroffen worden.
Een alternatief hierop is het kiezen van een hybride oplossing (herstelscenario 2c), waarbij voor het herstel van de kopse wanden van het bassin (de wanden A en C) andere onderdelen bijgeplaatst worden dan voor het herstel van de langswanden (de wanden B en D). De kopse wanden zijn namelijk anders opgebouwd dan de langswanden en ter plaatse van de kopse wanden bevinden zich beduidend minder leidingen.

5.6.2 Herstelscenario 4

Een alternatief zou kunnen zijn om tegen de bassinwand, tot een nader te bepalen hoogte, een betonwand aan te brengen. Als die betonwand volledig aansluit tegen de bassinwand

en als die betonwand voldoende is verankerd in het beton waarop de huidige bassinwand staat, dan kan die nieuwe betonwand de constructieve functie van de bassinwand overnemen. Daarbij moet er wel voor gezorgd worden dat er geen eventueel lekwater tussen het beton en de bassinwand kan worden, omdat er dan alsnog corrosie van de ferritische RVS bassinwand zou kunnen optreden.
Waarschijnlijk wordt de belasting op de nog resterende verbindingsmiddelen boven de betonwand dusdanig verlaagd, dat de spanning in die verbindingsmiddelen tot onder het kritische niveau voor Cl-SCC komt, waardoor voor die verbindingsmiddelen geen maatregelen meer nodig zijn.
De haalbaarheid van dit alternatief wordt in belangrijke mate bepaald door de mogelijkheid om een deel van de nu aanwezige leidingen te kunnen verleggen.

5.6.3 Herstelscenario 5

In het verlengde van herstelscenario 4 is het ook mogelijk om de volledige RVS-bassinwand te vervangen door een betonwand. Dat betekent dat het bassin geleegd moet worden en dat de RVS-wanden en de aansluitende leidingen verwijderd moeten worden. Vervolgens moet op de huidige betonwand een nieuwe betonwand gestort worden, tot aan de onderzijde van de omlopen, die voldoende verankerd is in de huidige wand. Tot slot moeten alle leidingen worden teruggeplaatst en moet een binnenbekleding op het beton worden aangebracht.

6 Conclusies

Onderstaand volgt de beantwoording van de aan TNO gestelde onderzoeksvragen:

1. *Kan TNO de genoemde scenario's beoordelen én ziet zij in één van de scenario's een haalbare oplossing om daarmee tot een aannemelijk constructief veilige situatie te komen waarbij het zwembad voor langere tijd in gebruik kan blijven?*

Bij de beoordeling van de genoemde herstelscenario's heeft TNO als criterium aangehouden dat de eigenaar passende maatregelen moet nemen om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen.
Naar het oordeel van TNO zijn de scenario's 1 en 2 geen passende maatregelen om de constructieve veiligheid van het zwembad voldoende te waarborgen. Scenario 3 is wel beoordeeld als passende maatregel. Scenario 2b kan ook een passende maatregel zijn, maar dat is afhankelijk van de voorzieningen die ontworpen gaan worden.

TNO adviseert om scenario 2b verder uit te werken, omdat verwacht wordt dat dit het meest gunstige scenario zal zijn.

2. *Is één van de scenario's in voldoende mate gelijkwaardig te krijgen aan het Bouwbesluit 2012 art 5:12, aangezien het Bouwbesluit niet voorziet in deze specifieke situatie?*
3. *Kan TNO aangeven of de bij de scenario's beschreven activiteiten toereikend zijn om een positief oordeel te kunnen vellen over de constructieve veiligheid (gelijkwaardig aan het Bouwbesluit)?*

Het Bouwbesluit is er op gericht dat een eigenaar van een zwembad vanuit de zorgplicht een onderzoekverplichting heeft om na te gaan of er al dan niet sprake is van niet-resistent materiaal. Indien inderdaad sprake is van niet-resistent materiaal, zal de eigenaar passende maatregelen moeten nemen.
Bij de beoordeling van de scenario's is specifiek nagegaan of de eigenaar daarmee passende maatregelen neemt. Het resultaat daarvan is weergegeven bij het antwoord op vraag 1.

4. *Indien TNO alternatieve oplossingen ziet, of de haalbaarheid van het minst ingrijpende Scenario 1 kan ondersteunen dan vernemen wij dat graag.*

Zoals reeds vermeld bij vraag 1 kan TNO scenario 1 niet ondersteunen.
Eventuele alternatieve oplossingen die TNO ziet zijn:

- Herstelscenario 2c: Een nadere invulling van scenario 2b, met hybride maatregelen. Dat betekent bij de kopse wanden van het bassin andere maatregelen dan bij de langswanden.
- Herstelscenario 4: Aanbrengen van een betonwand tegen de bassinwand, tot een nader te bepalen hoogte, die volledig aansluit tegen de bassinwand. De haalbaarheid van dit alternatief wordt in belangrijke mate bepaald door de mogelijkheid om een deel van de nu aanwezige leidingen te kunnen verleggen.
- Herstelscenario 5: Volledig vervangen van de huidige RVS-wand door een nieuwe betonwand.

7 Ondertekening

Delft, april 2024

[redacted]

op 2024-04-26 11:35:04

[redacted]

Auteur

[redacted]

op 2024-04-26 11:31:31

[redacted]

Research Manager
Building Materials & Structures

Bijlage A
Omgevingscondities

Vanuit zwembad De Waterlinie kwam, in verband met de luchtbehandeling in de ruimte rondom het bassin, de vraag wat kritische waarden zijn voor het optreden van pitting, spleetcorrosie en met name chloride-spanningscorrosie (Cl-SCC).

Wat betreft het gebruikte materiaal voor de verbindingsmiddelen, 1.4301/1.4307 (AISI304(L)), geeft de literatuur hiervoor enige richtlijnen.

Voor pitting corrosie kan onder andere gekeken worden naar de CPT (Critical Pitting Temperature) en voor spleetcorrosie naar de CCT (Critical Crevice corrosion Temperature). Daarbij is er een lineaire relatie tussen de PRE (Pitting Resistance Equivalent) en de CPT en CCT. Hoe hoger de CPT en CCT hoe beter bestand het materiaal is. Daarbij is er een zekere relatie met de gevoeligheid voor Cl-SCC, daar doorgaans CPT en CCT ook bepaald worden in Cl houdende milieus als FeCl en $MgCl_2$ en of NaCl. Ook bij CPT en CCT speelt het doorbreken van de beschermende Cr-oxidehuid namelijk een rol.

Wat betreft 1.4301/1.4307 heeft onder andere [Yeh, 2020] onderzoek gedaan naar CCT en Cl-SCC, in relatie tot zoutconcentraties, temperatuur (45°C) en luchtvochtigheid (RH 45%, 55% en 70%).
Voor de gevoeligheid tegen spleetcorrosie en Cl-SCC lijkt er een ondergrens te zijn van ongeveer 0,1 g/m^2 -1 g/m^2 tot RH 45%. Bij 45°C en 1 g/m^2 zoutconcentratie is bij 1.4307 transkristallijn Cl-SCC vastgesteld. Vanaf 1 g/m^2 zout ($MgCl_2$) werd bij elke RH na 10.000 uur Cl-SCC waargenomen (in 1.4301/1.4307).

Wat betreft het milieu is het advies daarom te streven naar:
- Maximaal 45°C
- Zoutconcentratie van maximaal 0,1 g/m^2
- RH: 55%

Voor de in de regeling Bouwbesluit genoemde resistente austenitische RVS soorten, 1.4529, 1.4547 en 1.4565, gelden waarschijnlijk ruimere grenzen. Dit op basis van de hoger CPT,CCT en PRE waarden voor deze legeringen. Voor een indicatie van deze temperaturen vergeleken met 1.4301/1.4307 zie onderstaande tabel.

Materiaal	PRE	CPT	CCT	Cl-SCC bestendigheid
1.4301/1.4307	18,3	4,6	(13)	-
Bestendige austenitische RVS legeringen volgens bouwbesluit				
1.4529	47,5	70-90	35	++
1.4547	47,7	87	35	++
1.4565	38,9	85	(27)	+
	Opmerking(en): waarden (x) geëxtrapoleerde waarden			

Naast de bovengenoemde factoren is er ook invloed van de trekspanning (mechanische belasting) in de materialen. Wat betreft de trekspanning is het zeer moeilijk aan te geven of en wat de kritische spanning is voor het optreden van Cl-SCC. Deze is namelijk mede afhankelijk van de corrosiviteit van het milieu, de temperatuur en de algemene gevoeligheid voor Cl-SCC, die onder andere beïnvloed wordt door de chemische samenstelling.

Voor standaard austenitische RVS soorten als 1.4301/1.4307 en 1.4401/1.4404 in een kokende 42% $MgCl_2$ oplossing is de statisch trekspanning ongeveer 150 MN/m^2 (150 MPa) [5.4.2.1 Fundamentals of Stress Corrosion Cracking [Aeroengine Safety] (tugraz.at)])

Onderzoek van [Mayuzumi, 2003] laat zien dat de grensspanning voor Cl-SCC voor oplosgegloeid 1.4307 rond 0,5$Rp_{0,2}$ (ca 100 MPa) ligt en voor 1.4301 op 0,25x$Rp_{0,2}$ (ca 60 MPa) in een $MgCl_2$ bij 80°C en RH 35% (geen Cl-SCC na 10.000 uur).

Het aangeven een ondergrens voor de toelaatbare trekspanning voor het optreden van Cl-SCC is zeer moeilijk daar deze van veel factoren afhangt: temperatuur, corrosiviteit, materiaalcondities en materiaaltype. In de literatuur worden grenswaarden tot 0,25x$Rp_{0,2}$ gerapporteerd voor bijvoorbeeld 1.4301 [Mayuzumi, 2003].

Mobility & Built Environment

Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft
www.tno.nl

TNO innovation for life