

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Mobility & Infrastructure

Aan: Projectteam Groene rivier Well
Van: Bram van Oirsouw
Datum: 05 juli 2024
Kopie: Martin de Kant
Ons kenmerk: 20240705_BJ1000_W3420-3.8_Kasteel piping analyse_C01
Classificatie: -
Gecontroleerd door: Albert Wiggers

Onderwerp: Kasteel Well – Analyse en ontwerp t.a.v. piping

1 Inleiding

Deze notitie maakt onderdeel uit van het voorontwerp Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, en is een bijlage bij het technisch ontwerp waterkering kasteel (VO) **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**].

Binnen het project Gebiedsontwikkeling Well ligt het Kasteel Well. Dit Kasteel komt bij de realisatie van de groene rivier en de nieuwe dijkversterking buitendijks te liggen.

In de voorliggende notitie is het mechanisme piping beschouwd. Piping bestaat uit een aantal deelmechanismen, waarvan in deze notitie alleen het deelmechanisme “terugschrijdende erosie” kwantitatief is beschouwd. De analyse voor “opbarsten” en “heave” is in deze notitie alleen tekstueel onderbouwd.

Ook is in deze notitie een toelichting gegeven op een maatregel om piping te voorkomen. Voor de algemene beschrijving van deze maatregel en de afweging ten opzichte van andere anti-pipingmaatregel wordt verwezen naar het Technisch Ontwerp [1]. Naast een anti-pipingmaatregel is de gepresenteerde oplossing ook een beheersmaatregel ten aanzien andere faalmechanismen: microinstabiliteit, hydraulische heave en macrostabiliteit. In bijlage 7 bij het Technisch Ontwerp [1] is beschreven hoe deze andere mechanismen met de voorgestelde maatregel kunnen worden gemitigeerd.

2 Uitgangspunten

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de analyse van terugschrijdende erosie zoals omschreven volgens het aangepaste Sellmeijer model in “Schematiseringshandleiding piping” [ref 2] en het WBI2017 [ref 3]. Hieronder uitgeschreven waarin r_c de deklaag reductie factor die veelal de waarde 0,3 krijgt ook wel bekend als de 0,3d-regel, ΔH_c het kritieke verval waarbij verwacht piping optreedt.

$$F_p = \frac{\Delta H_c}{(h - h_{exit} - r_c D_{deklaag})}$$

$$\frac{\Delta H_c}{L} = F_{resistance} F_{scale} F_{geometry}$$

Met:

$$F_{resistance} = \eta \frac{\gamma_{sub.particles}}{\gamma_{water}} \tan \theta$$

$$F_{scale} = \frac{d_{70,m}}{\sqrt[3]{\kappa L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70,m}} \right)^{0,4}, \kappa = \frac{v_{water}}{g} k$$

$$F_{geometry} = 0,91 \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{0,28}{2,8} + 0,04} - 1$$

Waarin:

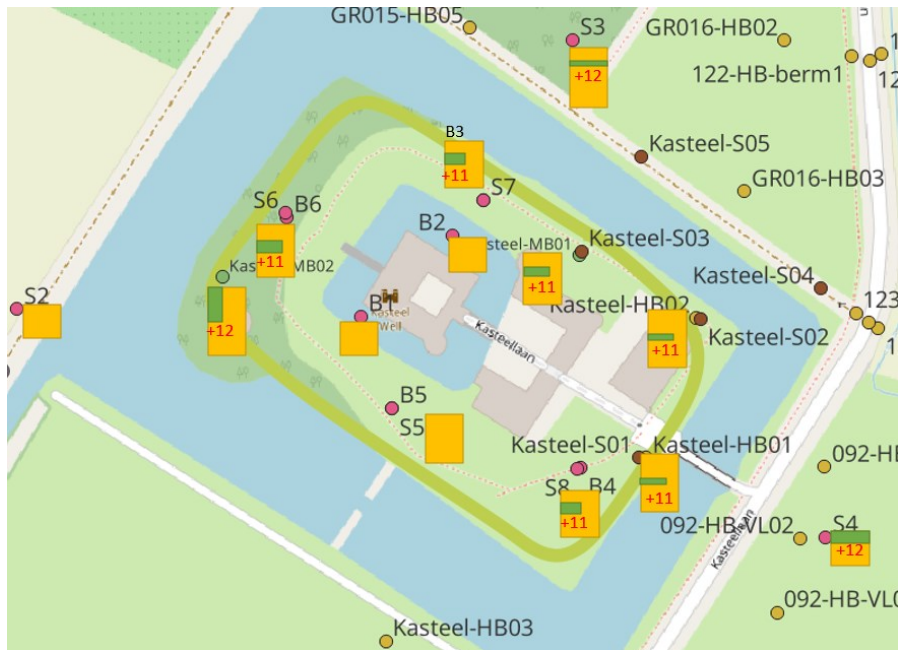
L	Kwelweglengte van in- tot uitredepunt: $L = x_{exit} - x_{entry}$ [m].
$\gamma_{sub.particles}$	Volumegewicht van zandkorrels onder water (= 16,5) [kN/m ³].
η	Coëfficiënt van White (sleepkrachtfactor) (= 0,25) [-].
d_{70}	70-percentielwaarde van de korrelverdeling van de piping-gevoelige laag [m].
κ	Intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag [m ²].
k	Darcy doorlatendheid [m/s].
ν	Kinematische viscositeit van water (voor grondwater van 10° Celsius: 1,33·10) [m ² /s].
g	Zwaartekrachtversnelling (= 9,81) [m/s ²].
D	Dikte van de zandlaag [m].
$d_{70,m}$	Referentie d_{70} -waarde (= 2,08·10 ⁻⁴) [m].
θ	Rolweerstandshoek van zandkorrels van de aangepaste Sellmeijer-regel (= 37) [°].

Uitgangspunten zoals de dikte van de zandlaag in het watervoerende pakket, de toegepaste d_{70} waarde worden verder toegelicht in “Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen” [ref 4].

Hieronder zal er verder worden ingegaan op de locatie specifieke uitgangspunten op basis van geometrie en uitgangspunten tijdens maatgevende omstandigheden.

Grondonderzoek

Rond het Kasteel is vrij veel grondonderzoek beschikbaar. Uit dit grondonderzoek blijkt dat de omgeving zeer zandig is. Wel is er een duidelijke zandige kleilaag aanwezig in en om het Kasteel met een dikte ca. 0,5 meter, waarbij de onderkant varieert van NAP +11 m direct bij het Kasteel tot ca +12 m NAP in de omliggende grondonderzoekspunten. Een weergave van boringen en hun locaties zijn weergegeven in figuur hieronder. In de visualisatie van de boringen zijn tevens de niveaus van de onderkant deklaag weergegeven, mits aanwezig.



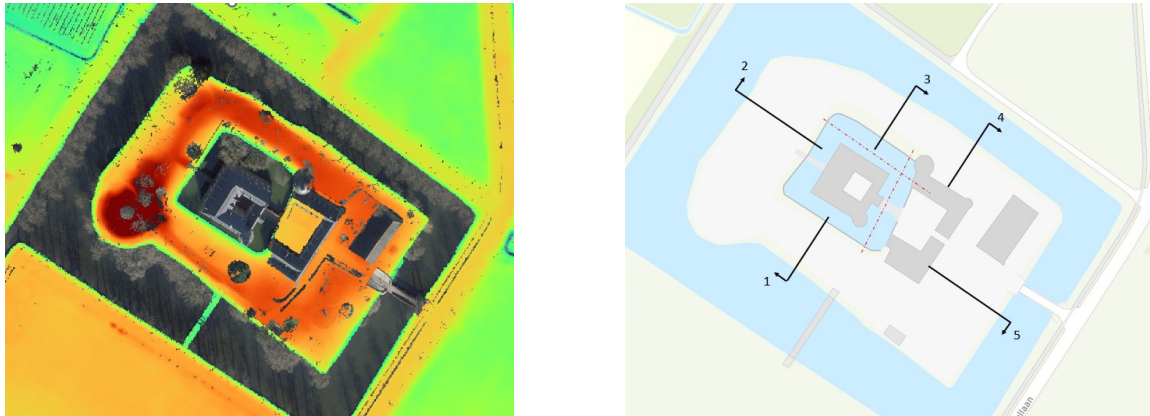
Figuur 1 Overzichtskaart met benaderde boringen.

Wanneer een boring in Figuur 1 een groene balk laat zien betekent dit dat er een (zandige) kleilaag aanwezig is in de boring. De aanwezigheid van deze laag op relatief dezelfde hoogte impliceert dat hier een dunne kleilaag aanwezig is onder een groot deel van het Kasteel. Voor de berekening van terugschrijdende erosie is daarom aangenomen dat er rondom het Kasteel een afsluitende kleilaag aanwezig is waaronder zich een pipe kan vormen.

Aan de zuidzijde van het Kasteel, in Figuur 1 rond boring "B5", lijkt deze kleilaag niet aanwezig te zijn. Toch wordt voor deze analyse aangenomen dat zich hier pipe kan vormen en er dus een kleilaag aanwezig is rond NAP +11 m en zal deze zijde van het Kasteel niet buiten beschouwing worden gelaten in deze notitie.

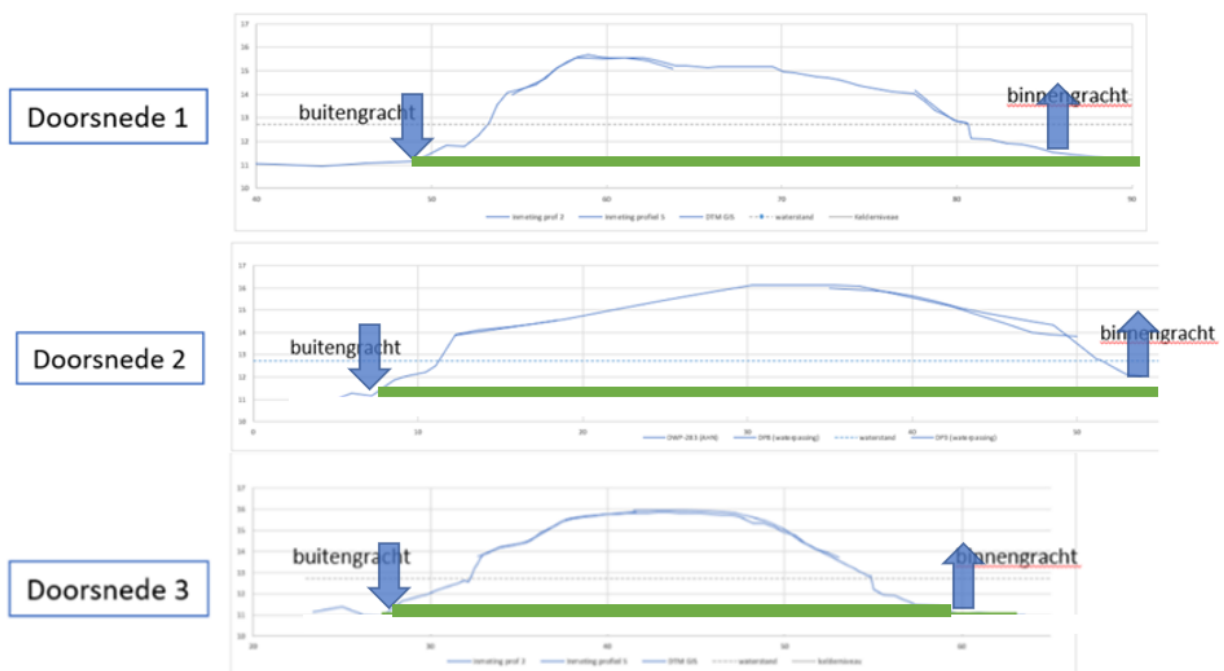
Doorsneden

Ten behoeve van de pipingscope voor het Kasteel worden de meest waarschijnlijke kwelwegen geanalyseerd op terugschrijdende erosie. De doorsneden die in dit rapport worden geanalyseerd en worden gezien als de meest waarschijnlijke kwelwegen waarover piping zal gaan optreden tijdens hoogwater, zijn doorsnede 1, doorsnede 2 en doorsnede 3 zoals aangegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Overzicht van het Kasteel als hoogtekaart (links), met genummerde doorsneden (rechts).

De doorsneden uit Figuur 2 zijn hieronder weergegeven. Aangeven in de figuren zijn de logische intredepunten (buitengracht) en uittredepunten (binnengracht).

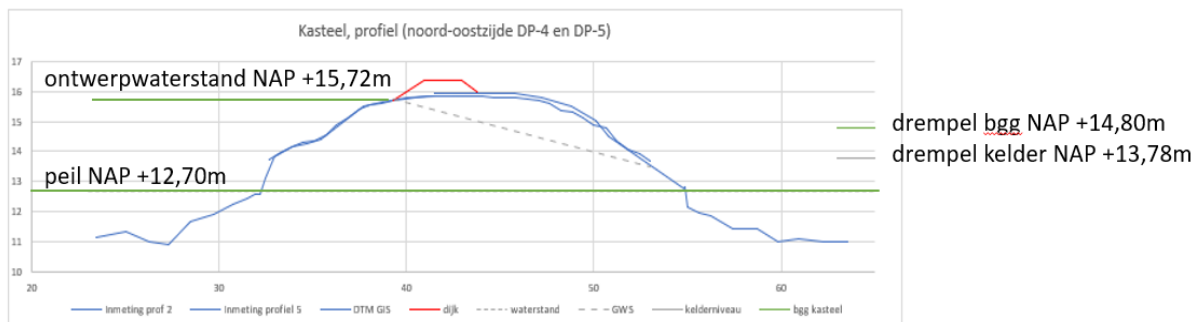


Figuur 3 Doorsnede 1, doorsnede 2 en doorsnede 3 uit figuur 3.

Het logische uittredepunt is de laagste locatie in het getoetste profiel, hier zal als eerste opbarsten plaats vinden. Het logische intredepunt wordt in deze analyse conservatief gekozen als zijnde het laagste punt aan de hoogwaterzijde (buitengracht).

Waterhoogten en bodemhoogte

Ten behoeve van het bepalen van het optredende verval zijn de ontwerpwaterstand en het polderpeil nodig. Het polderpeil, in deze situatie gedefinieerd als het peilniveau van de binnengracht tijdens hoog water, hangt in deze situatie sterk samen met de eis om de kelder van het Kasteel droog te houden.



Figuur 4 Doorsnede 3 met daarin de ontwerpwaterstand, standaard grachtpeil en drempel niveaus van het Kasteel.

Bij het bepalen van het peil van de binnengracht onder maatgevende omstandigheden dient opgemerkt te worden dat tijdens hoogwater de binnengracht actief bemalen zal worden om dit peil te handhaven. Het letterlijke drempelniveau van het Kasteel NAP + 13,78 m. Om overstroming van deze drempel te voorkomen en rekening te houden met enige over bemaling is de keuze gemaakt om het te toetsen peil in de binnengracht te nemen om NAP + 13,50 m. Excessief bemalen tijdens hoogwater kan het piping risico verhogen.

Er zijn 3 berekeningen gemaakt om de pipingscope rondom het Kasteel vast te stellen. Hieronder zijn de uitgangspunten vastgelegd zoals in dit hoofdstuk genoemd.

Tabel 1 Samenvattende tabel voor de analyse van terugschrijdende erosie.

Doorsnede	Dijkzate lengte [m]	Waterhoogte buitengracht [m NAP]	Waterhoogte binnengracht [m NAP]	Bodemhoogte [m NAP]
1	35	15,72	13,50	11,5
2	45	15,72	13,50	11,5
3	32	15,72	13,50	11,5

3 Resultaten pipinganalyse

In tabel 2 zijn de resultaten weergegeven van de pipinganalyse. In geen van de gevallen wordt voldaan aan de schadefactor voor terugschrijdende erosie van 1,47 [ref 4]. De uitgevoerde berekeningen en tussenresultaten van de berekening zijn terug te vinden in bijlage A.

Tabel 2 Samenvattende tabel voor de resultaten van terugschrijdende erosie volgens de aangepaste Sellmeijer methode.

Berekening	ΔH_c	$\Delta H_{optredend}$	SF	Oordeel
Doorsnede 1, 35 m	1,79	2,07	0,86	Voldoet niet
Doorsnede 2, 45 m	2,23	2,07	1,08	Voldoet niet
Doorsnede 3, 32 m	1,65	2,07	0,80	Voldoet niet

4 Principe-oplossing anti-pipingmaatregelen

4.1 Integraal ontwerp

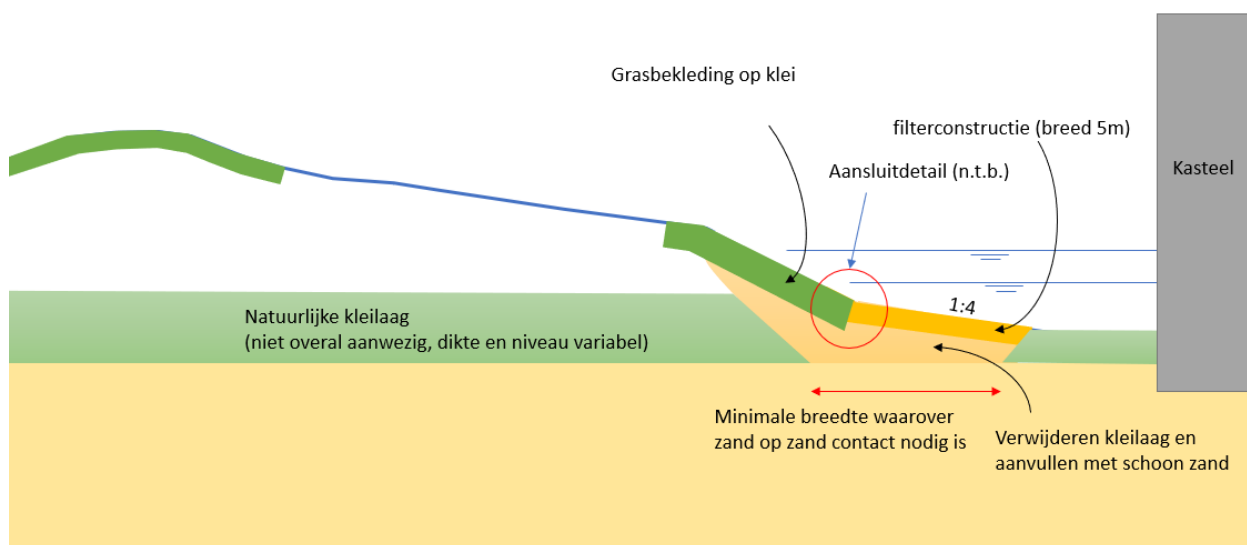
Voor het integraal ontwerp van de hier verder uitgewerkte maatregel wordt verwezen naar het hoofddocument Technisch Ontwerp [1]. Hierin is aangegeven dat deze maatregel ook andere faalmechanismen mitigeert. Verder is in [1] ingegaan op de afweging tussen deze en andere mogelijke anti-pipingmaatregelen.

4.2 Werkend principe voorgestelde maatregel

Hieronder is een prinsipschets (Figuur 5) en een beschrijving gegeven van een inpasbare filteroplossing om piping tegen te gaan. De werking van deze specifieke anti-pipingmaatregel berust op de volgende principes:

- Het filter op het 1:4 onderwatertalud verlaagt de freatische lijn in de dijk en voorkomt dat er opbarsten optreedt van de bekleding op het binnentalud.
- Het filter is voldoende zwaar om lokale hoge gradiënten te kunnen opvangen zonder dat daardoor hydraulic heave of opbarsten in de teenzone optreedt.
- Het filter is zanddicht en voorkomt daarmee zandmeevoering via kwelstromen die door het filter lopen.
- Het onderbreken van een eventuele natuurlijke kleilaag over een lengte van minimaal 5m voorkomt dat er doorgaande horizontale pijpvorming kan optreden vanuit een zandmeevoerende wel in de grachtbodem. Een erosiepijp zal namelijk alleen in stand blijven onder een cohesieve laag. Het wordt onwaarschijnlijk geacht dat er zich een erosiepijp kan vormen in schoonzand over een afstand van 5m.

In Figuur 5 is aangegeven dat de aansluiting tussen het filter en de kleibekleding een belangrijk detail is. Deze aansluiting dient zanddicht te worden uitgevoerd. Ook dient de stabiliteit en de werking van het filter niet door de kleibekleding te worden aangetast. Dit detail is in deze fase niet uitgewerkt.



Figuur 5 Principe-ontwerp filteroplossing als antipipingmaatregel bij Kasteelgracht Well

4.3 Aandachtspunten vervolg ontwerpfase

De wijze van uitvoering en beheer kunnen impact hebben op het functioneren van deze oplossing. Het verdient in het algemeen sterke aanbeveling om de waterveiligheid van dergelijke samengestelde ontwerpen te toetsen op defecten die worden veroorzaakt in de realisatie- en beheerfase. Een praktische manier om dergelijke risico's te inventariseren en daarbij passende beheersmaatregelen vast te stellen is een Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA). Deze aanpak is beschreven in diverse publicaties van de DIV werkgroep piping, zoals: de DIV publicatie filtertechnieken [6], DIV publicatie heaveschermen [7].

5 Conclusie

Uit de analyse uitgevoerd in dit rapport volgt dat geen van de doorsneden voldoet op terugschrijdende erosie volgens de aangepaste Sellmeijer methode op de plekken waar er een natuurlijke kleilaag in de ondergrond aanwezig is. Op basis van het uitgevoerde grondonderzoek kan gesteld worden dat deze kleilaag op verschillende plekken is aangetroffen en moeilijk kan worden uitgesloten dat deze kleilaag op grotere strekkingen afwezig is. Daarom moet rekening worden gehouden met een pipingopgave ter plaatse van de dijkkring rond het Kasteel Well.

Een mogelijke maatregel tegen piping is het aanbrengen van een horizontale filtermaatregel in combinatie met het lokaal verwijderen van de kleilaag. Deze maatregel kan ook worden toegepast om de mechanismen micro-instabiliteit en hydraulische heave tegen te gaan. De maatregel is dus een integrale oplossing voor meerdere fenomenen.

Het ontwerp is op schetsniveau uitgewerkt. In een vervolgfase dient risico-gestuurd te worden gekeken naar mogelijke afwijkingen in de realisatie- en beheerfase en het effect daarvan op het functioneren van de constructie. Op deze wijze kunnen vervolgens passende beheersmaatregelen (uitvoering en beheer) worden geformuleerd.

Referenties

- 1 Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technisch Ontwerp Kasteel Well, Royal HaskoningDHV BJ1000_W3420-3_Technisch ontwerp waterkering kasteel VO
- 2 Schematiseringshandleiding Piping, WBI2017, 2 januari 2017.
- 3 WBI2017 - Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017.
- 4 Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technisch Ontwerp Waterkeringen, Royal HaskoningDHV BJ1000_W3210-2_TUN Waterkeringen
- 5 Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technisch Ontwerp Waterkeringen, Royal HaskoningDHV BJ1000_W3420_5.5-Pipinganalyse,
- 6 Publicatie Filtertechnieken HWBP-De Innovatieversneller | Piping, juni 2023
- 7 Publicatie Heaveschermen HWBP-De Innovatieversneller | Piping, jan. 2024 (versie V0.31)