

RAPPORT

Hoofdrapport PipingTool

Klant: Waterschap Rivierenland

Referentie: T&P-BH2549-R001-F1.1

Status: Definitief/1.1

Datum: 19 februari 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Hoofdrapport PipingTool

Ondertitel: Oplevering PipingTool versie 1.0
Referentie: T&P-BH2549-R001-F1.1
Status: 1.1/Definitief
Datum: 19 februari 2021
Projectnaam: Ontwikkeling PipingTool
Projectnummer: BH2549-100-100
Auteur(s): Tom de Wit (RHDHV)

Opgesteld door: Tom de Wit (RHDHV)

Gecontroleerd door: Sander Kapinga (WSRL) en Willem
Leeuwdront (WSRL)

Datum: 19-2-2021

Goedgekeurd door: Andries Nederpel (WSRL)
Vrijgegeven door: Monique Sanders (RHDHV)

Datum: 19-2-2021 

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	PipingTool versie 1.0	1
2	Wat is de PipingTool?	2
3	Ondersteuning	3
4	Mogelijke ontwikkelingen	4

Bijlagen

A1	Referenties
A2	Achtergrondrapport PipingTool
A3	Gebruikershandleiding PipingTool
A4	Validatierapport PipingTool
A5	Review Adviesteam Dijkontwerp

1 PipingTool versie 1.0

Voor u ligt de rapportage behorende bij de oplevering van de PipingTool versie 1.0. De PipingTool is ontwikkeld in samenwerking tussen Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV. De tool is in verschillende projecten succesvol toegepast en is vrij te gebruiken voor de gehele markt.

Op 24-12-2021 is door het Adviesteam Dijkontwerp een review uitgevoerd op voorliggende documentatie bij de PipingTool. Het Adviesteam onderschrijft de meerwaarde van de tool en geeft aan dat de opzet van de tool geschikt is voor landelijke toepassing. De volledige review is opgenomen in bijlage A5. De genoemde aanbevelingen en opmerkingen zijn overgenomen.

In de bijlage van deze hoofdrapportage PipingTool zijn de volgende rapporten opgenomen:

- Achtergrondrapport [ref. 1]: beschrijving van de methode, veiligheidsbenadering en schematiseringskeuzes.
- Gebruikershandleiding [ref. 2]: handleiding bij het gebruik van de PipingTool, van installatie van de Tool tot het verwerken van resultaten.
- Validatierapport [ref. 3]: validatie van de belangrijkste onderdelen van de PipingTool op basis van testdata.

2 Wat is de PipingTool?

De PipingTool is een tool in ArcMap waarmee op basis van een alternatieve, aangescherpte methode het risico op het faalmechanisme piping bepaald kan worden. De tool volgt dezelfde veiligheidsbenadering als het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) [ref.4] en het OntwerpInstrumentarium OI2014v4 [ref. 5] maar biedt aanscherpingen op verschillende onderdelen. De tool is alleen toepasbaar binnen het geldigheidsbereik van de rekenregel van Sellmeijer zoals beschreven in onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen [ref. 6].

Zo worden geen dijkvakken in een 2D dwarsdoorsnede getoetst maar potentiële uittredepunten. Het uittredepunt is te beschouwen als een mogelijke locatie voor een (zandmeevoerende) wel. Voor ieder uittredepunt wordt door de PipingTool automatisch de kortste afstand naar bijvoorbeeld de intredelijn bepaald. Met de tool kunnen vrij gemakkelijk veel uittredepunten doorgerekend worden. Door de veelvoud aan berekende uittredepunten ontstaat een gebiedsdekkend beeld van het risico op piping.

Vanwege de opzet is deze methode zeer geschikt om vanuit een basisschematisatie in verschillende rekenlagen naar een uiteindelijke schematisatie te komen. De methode is zo ontworpen dat het mogelijk is om zowel op vakniveau als lokaal niveau te schematiseren. Door lokaal te schematiseren kunnen lokale verschillen in geometrie, bodemopbouw (aanwezigheid van sloten, Holocene tussenzandlagen, kleine gefundeerde Holocene zandbanen) en belasting meegenomen worden.

Een belangrijke schematiseringskeuze die is geïntegreerd in de PipingTool is het rekenen met een zogenaamde 'gelumpte' weerstand in het voorland. Met deze methode wordt in de spreidingslengte de heterogeniteit van het voorland verdisconteerd. Dit kan gedaan worden op basis van peilbuismetingen of een veilige inschatting van de weerstand. De effectieve voorlandlengte wordt bepaald door een combinatie van geometrische factoren (fysieke aanwezige lengte) en de mate van weerstand (spreidingslengte) van het voorland.

De aangescherpte methode houdt meer rekening met correlaties tussen stochasten en hanteert kleinere variaties van de stochasten waardoor het gebruik van de standaard WBI-kalibratieformules kunnen leiden tot een overschatting van de faalkans per uittredepunt. Daarmee biedt de methode een veilige faalkansschatting.

Het "op maat" vaststellen van lengte-effecten bij lokaal schematiseren op puntniveau en opnieuw vaststellen van kalibratieformules voor deze aangescherpte methode vergt meer ontwikkeltijd. Mogelijk wordt hierdoor nog enige optimalisatiemogelijkheid onbenut gelaten. Daarnaast wordt momenteel een volledige probabilistische berekening onderzocht.

3 Ondersteuning

Ondersteuning bij het gebruik van de PipingTool kan momenteel alleen worden verleend op projectbasis.

Voor ondersteuning kan contact opgenomen worden met:

- Sander Kapinga van Waterschap Rivierenland (s.kapinga@wsrl.nl)
- Tom de Wit van Royal HaskoningDHV (tom.de.wit@rhdhv.com)

Naast ondersteuning kan ook een demonstratie worden gegeven van de PipingTool. Daarnaast behoort ook verdere doorontwikkeling van de PipingTool tot de mogelijkheden. Er kan gedacht worden aan het automatisch verwerken van resultaten tot een rapportage of het slimmer vaststellen van uitgangspunten door bijvoorbeeld geautomatiseerd in grondonderzoek op zoek te gaan naar de bovenkant van de holocene of pleistocene zandlaag. Andere potentiële ontwikkelingen zijn opgenomen in onderstaand hoofdstuk.

4 Mogelijke ontwikkelingen

Tijdens de ontwikkeling van de PipingTool is de volgende lijst opgesteld met mogelijke uitbreidingen die in de toekomst toegevoegd kunnen worden aan de PipingTool:

- Mogelijkheid tot het uitvoeren van een volledig probabilistische berekening;
- Validatie uitvoeren met Riskeer;
- Het “op maat” vaststellen van lengte-effecten bij lokaal schematiseren op puntniveau en het opnieuw vaststellen van kalibratieformules;
- De bovenkant van de pipinggevoelige zandlaag (top zand) geautomatiseerd gebiedsdekkend bepalen op basis van grondonderzoek. Hiervoor dient per onderzoekspunt top zand te worden bepaald. Vervolgens kan doormiddel van interpolatiemethodes met behulp van ArcMap een gebiedsdekkende kaart worden gemaakt;
- Het mogelijk maken om de berekende faalkans van de verschillende uittredepunten samen te voegen tot één faalkans per dijkvak;
- Het mogelijk maken om de kwelweglengte te beperken tot een opgegeven pipegroei criterium (bij voorbeeld 2x dijkbasis);
- Een mogelijkheid tot het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse implementeren in de PipingTool;
- Een inhoudelijke controle toevoegen die uitgevoerd kan worden na het uitvoeren van de PipingTool. In deze controle kunnen inhoudelijke checks worden uitgevoerd zoals: zijn combinaties van resultaten logisch, op welke locaties zijn mogelijk onrealistische resultaten aanwezig?
- De rekensnelheid verbeteren;
- Het automatisch toekennen van labels en symbology aan de PipingTool output in ArcMap;
- De uitkomsten uit de PipingTool automatisch verwerken tot overzichtelijke tabellen die gebruikt kunnen worden in rapportage;
- Er is veel handwerk nodig om de uitgangspunten bodemhoogte en polderpeil te bepalen ter plaatse van watergangen. Dit proces kan makkelijk gemaakt worden door onder andere op basis van de breedte van de watergang en het maaiveldniveau naast de watergang een geautomatiseerde inschatting te doen van het bodemhoogte en de polderpeil in de watergang. Hiervoor is voorbereidend werk uitgevoerd door waterschap Rivierenland.
- Als de analytische methode is gekozen om waterspanningen af te leiden kan de spreidingslengte die is gehanteerd in de berekening gepresenteerd worden als lijn in GIS. Hierdoor kan dit uitgangspunt eenvoudiger getoetst worden;
- De in rekening gebrachte kwelweglengte, minimaal benodigde kwelweglengte en kritieke pipelengte worden door de PipingTool gepresenteerd als buffers rondom de uittredepunten. Als mogelijk ontwikkeling kunnen deze buffers automatisch worden verwerkt tot een lijn of buffer alleen in het voorland.

A1 Referenties

1. Achtergrondrapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R002-F1.0., Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
2. Gebruikershandleiding PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R004-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
3. Validatierapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R003-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
4. WBI2017 - Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017
5. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, OI2014v4, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017
6. Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, ORZW2012, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2012

A2 Achtergrondrapport PipingTool

RAPPORT

Achtergrondrapport PipingTool

Klant: Waterschap Rivierenland

Referentie: T&P-BH2549-R002-F1.1

Status: Definitief/1.1

Datum: 19 februari 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Achtergrondrapport PipingTool

Ondertitel: Oplevering PipingTool versie 1.0
Referentie: T&P-BH2549-R002-F1.1
Status: 1.1/Definitief
Datum: 19 februari 2021
Projectnaam: Ontwikkeling PipingTool
Projectnummer: BH2549
Auteur(s): Sander Kapinga (WSRL) en Tom de Wit (RHDHV)

Opgesteld door: Sander Kapinga (WSRL) en Tom de Wit (RHDHV)

Gecontroleerd door: Willem Leeuwddrent (WSRL)

Datum: 19-2-2021

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Doel	1
1.2	Leeswijzer	1
2	Methode beschrijving	2
2.1	Uittredepunten	2
2.2	Lokaal en inzichtelijk	3
2.3	Geohydrologische schematisering	3
2.4	Veiligheidsbenadering	3
2.5	Verschillen in schematiseringsaanpak	4
3	Toelichting op schematisatiekeuzes	6
3.1	Ligging uittredepunten	6
3.2	Dikte deklaag	6
3.3	Volumiek gewicht deklaag	6
3.4	Ondergrondscenario's	6
3.5	Effectieve voorlandlengte en bepaling aanwezige kwelweglengte	7
3.6	d ₇₀ -waarde	8
3.7	Stijghoogtebepaling en kD	8
4	Eindoordeel	9
4.1	Assemblage en categorie indeling WBI	9
4.2	Controle aan pipegroei criterium	9

Bijlagen

A1	Referenties
----	-------------

1 Inleiding

Het achtergrondrapport is onderdeel van de oplevering van de PipingTool versie 1.0. Het achtergrondrapport is een bijlage van de hoofdrapportage PipingTool:

- Hoofdrapportage PipingTool
 - **Achtergrondrapport**
 - Gebruikershandleiding
 - Validatierapport

1.1 Doel

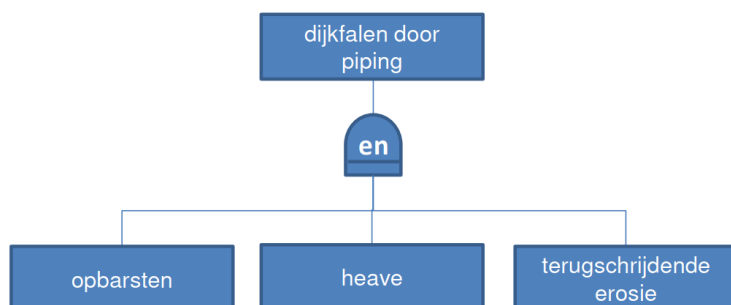
Het doel van dit rapport is inhoudelijke achtergrond te bieden bij de PipingTool. In dit achtergrondrapport wordt de methode, veiligheidsbenadering en schematiseringskeuzes uiteengezet. Na het lezen van dit rapport moet duidelijk zijn wat de PipingTool is en hoe deze werkt. In de gebruikershandleiding [ref. 3] is omschreven hoe de tool gebruikt moet worden.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de methode van de PipingTool beschreven. Hier worden de belangrijkste karakteristieken van de PipingTool toegelicht. In dit hoofdstuk is tevens de veiligheidsbenadering gerapporteerd. Hoe verhoudt de tool zich ten opzichte van het vigerende OI2014v4 [ref. 7] en het WBI2017 [ref. 4] en waar zijn afwijkingen of aanvullingen aanwezig? Deze onderlinge verschillen zijn hier ook in tabelvorm opgenomen. Vervolgens wordt ingezoomd op de schematiseringskeuzes. In hoofdstuk 3 is namelijk toegelicht hoe in de PipingTool wordt omgegaan met het vaststellen van verschillende uitgangspunten. In het laatste hoofdstuk is beschreven hoe tot een eindoordeel wordt gekomen na assemblage en een controle aan het pipegroei criterium.

2 Methode beschrijving

Falen als gevolg van piping kan worden uitgesloten wanneer één van deze deelmechanismen niet kan optreden.



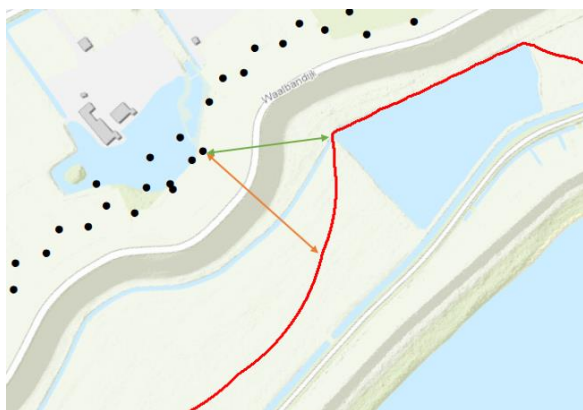
Figuur 1: Foutenboom voor bepalen kans op piping – WBI [ref. 4]

Voor de veiligheidsanalyse ten aanzien van piping wordt per deelmechanisme de faalkansbijdrage bepaald. Uiteindelijk wordt getoetst op de toelaatbare faalkans voor het mechanisme piping als geheel. De kans op piping wordt in dat geval gedomineerd door het deelmechanisme met de laagste faalkans.

De PipingTool volgt deze zelfde veiligheidsbenadering echter met een alternatieve, aangescherpte methode. In de basis sluit de tool dus direct aan op het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) [ref. 4] en het OntwerpInstrumentarium OI2014v4 [ref. 7]. In deze rapportage wordt de methode en de belangrijkste keuzes die hierbij gemaakt zijn toegelicht. Binnen het WBI is dit een mogelijke uitwerking van een Toets op Maat (TOM).

2.1 Uittredepunten

Met deze methode worden geen dijkvakken getoetst aan piping, maar wordt uitgegaan van uittredepunten, met ieder een kortste afstand tot de gedefinieerde intredelijn. De berekende kwelwegen hoeven niet loodrecht op de kering te lopen, maar kiezen het kortste pad van het uittredepunt naar de intredelijn. Deze afstand is dus onafhankelijk van een dwarsprofiel over de kering. In onderstaande figuur is dit principe weergegeven.



Figuur 2: Uittredepuntenmethode. Afstand van het uittredepunt (zwart) naar de intredelijn (rood) wordt ruimtelijk beschouwd. De korte afstand is dus niet loodrecht op de dijk (oranje) maar schuin (groen).

Het uittredepunt is te beschouwen als een mogelijke locatie voor een (zandmeevoerende) wel. Elk uittredepunt is te beschouwen als een doorsnede waarbij een voor die locatie realistische combinatie van parameters wordt geschematiseerd.

Door de veelvoud aan berekende kwelwegscenario's ontstaat een gebiedsdekkend beeld van het risico op piping. Maaiveldniveau en gebiedskenmerken zijn sturende aspecten voor de locaties van uittredepunten. Geometrische kenmerken zoals maaiveldniveau, kwelweglengte en afstand tot waterkering worden per uittredepunt vastgelegd, waardoor mogelijke combinaties van deze stochasten expliciet wordt meegenomen. Onrealistische combinaties worden hiermee uitgesloten.

2.2 Lokaal en inzichtelijk

Vanwege de opzet is deze methode zeer geschikt om vanuit een basisschematisatie in verschillende rekenslagen naar een uiteindelijke schematisatie te komen. De methode is zo ontworpen dat het mogelijk is om zowel op vakniveau als lokaal niveau te schematiseren. Naast de belasting geven ook lokale verschillen in geometrie en bodemopbouw (aanwezigheid van sloten, Holocene tussenzandlagen, kleine gefundeerde Holocene zandbanen) aanleiding om scherper te willen schematiseren. De top van het zand alsmede de scenariokansverdeling kan lokaal (per uittredepunt) worden aangepast.

Door deze methode is het beter inzichtelijk wat de faalkans bepalende parameters zijn en kunnen kwalitatieve bronnen, zoals de zandbanenkaart expliciet worden meegenomen in de schematisatie. Door deze ruimtelijke schematisatie en doordat meerdere punten berekend worden, is beter inzichtelijk wat de maatgevende schematisatie is.

2.3 Geohydrologische schematisering

Een belangrijke schematiseringskeuze die is geïntegreerd in de PipingTool is het rekenen met een zogenaamde 'gelumpte' weerstand in het voorland. Met deze methode wordt in de spreidingslengte de heterogeniteit van het voorland verdisconteerd. Dit kan gedaan worden op basis van peilbuismetingen of een veilige inschatting van de weerstand. De effectieve voorlandlengte wordt bepaald door een combinatie van geometrische factoren (fysieke aanwezige lengte) en de mate van weerstand (spreidingslengte) van het voorland. Een toelichting op de bepaling van de weerstand is opgenomen in paragraaf 3.5.

Modelmatig wordt een expliciet verband gelegd tussen de geohydrologische schematisering (het potentiaalverloop) en de schematisering voor de pipingberekening. Het theoretische potentiaalverloop onder de dijk wordt per uittredepunt bepaald en kan indien mogelijk geïjkt worden aan de beschikbare metingen. Uit deze schematisering van de geohydrologische potentiaalverlopen volgt de stijghoogte per uittredepunt.

2.4 Veiligheidsbenadering

De aangescherpte methode, zoals hierboven beschreven, hanteert dezelfde veiligheidsbenadering als het OI2014 en het WBI. De methode gaat, gelijk aan de methode van het WBI, uit van een semi-probabilistische berekening met karakteristieke waarden die door extrapolatie een benaderde faalkans per scenario levert. Deze benaderde faalkansen worden vervolgens gecombineerd met de kans op optreden van het scenario. De gecombineerde faalkans wordt getoetst aan de faalkans-eis per doorsnede voor het mechanisme piping.

In het kader van de ontwikkeling van het WBI is een kalibratie uitgevoerd die de relatie beschrijft tussen de veiligheidsfactor uit de semi-probabilistische analyse en een benaderde faalkans. In deze uitgevoerde

kalibratie zijn uitgangspunten voor de (ruimtelijke) variaties zo gekozen dat ze voor de Nederlandse situatie generiek toepasbaar zijn. Ten opzichte van de uitgangspunten van de uitgevoerde kalibratie houdt de aangescherpte methode rekening met realistische combinaties van de volgende parameters:

- kwelweglengte, lokale dikte van de deklaag en (gereduceerd) verval;
- dempingsfactor (responsfactor) en geohydrologische eigenschappen.

De realistische combinatie tussen lokale parameters ontstaat omdat de parameters per punt worden vastgesteld op basis van lokaal grondonderzoek en andere lokale of gebiedsdekkende gegevensbronnen zoals zandbanenkaarten en wellenkaarten. Het gebruik van deze lokale gegevensbronnen maakt het ook mogelijk om variatiecoëfficiënten per parameter aan te scherpen en scenario's lokaal te maken.

De aangescherpte methode houdt dus meer rekening met realistische combinaties tussen stochasten en hanteert kleinere variaties van de stochasten waardoor het gebruik van de standaard WBI-kalibratieformules kunnen leiden tot een overschatting van de faalkans per uittredepunt. Daarmee biedt de methode een veilige faalkansschatting.

Bij de vertaling van de benaderde faalkans per uittredepunt naar de faalkans op trajectniveau moet rekening worden gehouden met lengte-effecten. In de aangescherpte methode dient een gelijk lengte-effect te worden gebruikt als het lengte effect dat wordt gebruikt bij het vertalen van kans op vak niveau naar kans op trajectniveau wanneer de gebruikelijke WBI-aanpak wordt gevolgd.

Het op-maat vaststellen van lengte-effecten bij lokaal schematiseren op puntniveau en opnieuw vaststellen van kalibratieformules voor deze aangescherpte methode vergt meer ontwikkeltijd. Mogelijk wordt hierdoor nog enige optimalisatiemogelijkheid onbenut gelaten. Daarnaast wordt momenteel een volledige probabilistische berekening onderzocht.

2.5 Schematiseringsaanpak

De PipingTool volgt dezelfde veiligheidsbenadering als het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) [ref. 4] en het OntwerpInstrumentarium OI2014v4 [ref. 7] maar biedt aanscherpingen in de schematiseringsaanpak. De hier voorstelde schematiseringskeuzes mogen volgens de gebruikelijke werkwijze worden toegepast en zijn impliciet verwerkt in de PipingTool.

In onderstaande tabel zijn de verschillen tussen de gebruikelijke schematiseringsaanpak volgens het WBI/OI en de aangescherpte methode volgens de PipingTool weergegeven.

Tabel 1: Verschillen aangescherpte methode PipingTool en standaard werkwijze gedetailleerde toets

Onderdeel	Gebruikelijke werkwijze SHP op vakniveau	Aangescherpte methode – PipingTool
Detailniveau en combinaties parameters	Parameters worden op dijkvakniveau beschouwd. Variatiecoëfficiënten van deze parameters worden op vakniveau ingeschat. Er is niet altijd sprake van realistische combinaties tussen variabelen.	Deze methode gaat uit van een groot aantal potentiële uittredepunten binnen een dijkvak. Variabelen zoals maaiveldniveau, kwelweglengte, afstand tot waterkering, deklaagdikte en stijghoogte worden per punt vastgelegd, waardoor onrealistische combinaties van die waarden worden voorkomen.
Oriëntatie dwarsprofiel	Gebruikelijk is het om analyses uit te voeren in dwarsprofielen loodrecht op de dijk.	De berekende kwelwegen hoeven niet loodrecht op de kering te lopen, maar kiezen automatisch het kortste pad naar het uittredepunt

Definiëren van scenario's	Scenario's worden per vak bepaald.	De scenario's en bijbehorende kansinschattingen worden in eerste instantie op vakniveau vastgesteld. Wanneer een scenario, dat lokaal niet/nauwelijks voorkomt, dominant wordt in de veiligheidsanalyse kan dit scenario opnieuw beschouwd worden op basis van lokale bronnen zoals grondonderzoek en zandbanenkaart. De scenario's kunnen per uittredepunt lokaal worden gemaakt.
Voorland-weerstand	Het is gebruikelijk om stijghoogteverloop (voor toets op opbartsen en heave) en effectieve voorlandlengte (voor terugschrijdende erosie) te bepalen op basis van veilig gekozen voorlandweerstand. Deze weerstanden worden dan bepaald op basis van deklaagdiktes waarbij aangetoond moet worden dat de gekozen deklaagdiktes minimaal in het gehele voorland aanwezig moeten zijn. Aan de deklaagdikte worden eisen gesteld in termen van minimale deklaagdikte (1m + leeflaag) en eigenschappen (lutum- en zandgehalte). Daar waar de deklaag niet aan deze criteria voldoet, wordt deze niet bij het bepalen van de effectieve kwelweglengte meegenomen. Er wordt dan voorbijgegaan aan het punt dat lokale afwijkingen geen noemenswaardig effect hoeven te hebben op de gelumpte weerstand van het geohydrologische systeem.	In de aangescherpte methode is het principe van "gelumpte voorlandweerstand" (zie PipingPortaal [ref. 5]) toegepast om de effectieve voorland lengte te bepalen. Voor het bepalen van de effectieve voorlandlengte kunnen verschillende bronnen gebruikt worden: peilbuismetingen bij hoogwaterpassage; regionaal geohydrologisch model; ervaring met minimale weerstanden gegeven ondergrondtypen.
Kwelweg-lengte	In de schematiseringshandleiding wordt aangegeven dat de karakteristieke kwelweglengte bepaald dient te worden op basis van een variatiecoëfficiënt van 0,1, die op de te totale kwelweglengte dient te worden toegepast.	De totale kwelweglengte wordt bepaald door de effectieve kwelweglengte van het voorland op te tellen bij de aanwezige kwelweglengte tussen de buitenteen en het uittredepunt, zie par. 3.5. De variatiecoëfficiënt op de kwelweg wordt alleen toegepast op het onzekere deel van de kwelweg, namelijk de voorlandlengte. Het overige deel (tussen buitenteen en uittredepunt) is namelijk zeker aanwezig.

3 Toelichting op schematisatiekeuzes

In de gebruikershandleiding [ref. 3] is voor alle schematisatiekeuzes aangegeven hoe deze vastgesteld kunnen worden. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan over hoe in de PipingTool methode wordt omgegaan met deze schematiseringskeuzes.

3.1 Ligging uittredepunten

Het voordeel van de methode is dat geen profielen, maar uittredepunten worden berekend. Door de uittredepunten op een aantal logische locaties en een bepaalde onderlinge afstand te plaatsen ontstaat een dijktraject-breed beeld.

Het bepalen van de locaties is afhankelijk van de afstand tot de binnenteen in relatie het maaiveldniveau of de aanwezigheid van kop- of teensloten. Een meer uitgebreidere beschrijving van de locatie keuze voor uittredepunten is gegeven in de gebruikershandleiding.

3.2 Dikte deklaag

De deklaagdikte wordt per uittredepunt en per scenario bepaald door het verschil tussen het lokale bodemniveau en de top van het zand.

$$D_{cover} = \text{Bodemniveau uittredepunt} - \text{Top Zandscenario}$$

De top van het zand dient per scenario te worden afgeleid (bijvoorbeeld uit geotechnische lengteprofielen).

In de ondergrondscenario's wordt daarnaast een globalere dikte van de deklaag per vak bepaald omdat deze deklaagdikte op vakniveau een schatter is van de spreidingslengte van het achterland.

3.3 Volumiek gewicht deklaag

Het gemiddelde volumieke gewicht kan per vak worden ingevoerd. Het WBI hanteert een karakteristieke ondergrenswaarde voor dit gewicht. Het gemiddelde volumieke gewicht van deklaag is mede bepalend voor de deelfaalmechanismen opbarsten en heave. Omdat in veel situaties de faalkans per uittredepunt bepaald wordt door het mechanisme piping, is het handig om een eerste conservatieve schatting te gebruiken en achteraf na te gaan welke deelfaalmechanismen bepalen zijn voor de faalkans van het uittredepunt.

3.4 Ondergrondscenario's

In de PipingTool kunnen de volgende drie hoofdscenario's worden vastgesteld:

1. Scenario met een deklaag op Pleistoceen zand: opbarsten en piping vanuit het pleistocene watervoerende pakket (diepe zandlaag). In de holocene deklaag zijn geen watervoerende lagen aanwezig.
2. Scenario met een gefundeerde Holocene zandlaag: in de Holocene deklaag zijn watervoerende zandlagen die in direct contact staan met het pleistocene watervoerende pakket. De Holocene zandlaag en het daarondergelegen Pleistocene zand vormen één watervoerende laag in de pipinganalyse met equivalente parameter k .
3. Scenario's met een tussenzandlaag. Tussen de Holocene tussenzandlaag en de Pleistocene zandlaag is een scheidende laag aanwezig zodat beide zandlagen als afzonderlijk systemen kunnen worden beschouwd. In dit geval wordt de pipinganalyse uitgevoerd op de bovenste Holocene tussenzandlaag. Opbarsten vanuit de daaronder liggende Pleistocene zandlaag wordt

niet beschouwd omdat opbarsten vanuit deze laag minder waarschijnlijk is en omdat eventuele interactie tussen de pleistocene zandlaag en de holocene geul in het scenario met de gefundeerde zandlaag al wordt beschouwd.

In totaal kunnen er maximaal 6 scenario's per dijkvak worden toegekend. In de gebruikershandleiding [ref. 3] is omschreven hoe deze vastgesteld kunnen worden.

De veranderlijke opeenvolging van laagscheidingen in de Holocene ondoorlatende deklaag is niet als scenario meegenomen. Deze variaties zijn opgenomen in de keuze van het gemiddeld volumegewicht van de deklaag per vak, dat per scenario en per vak bepaald kan worden. De opbouw van de deklaag (met name veel of weinig veen) is een criterium voor de geotechnische vakindeling.

3.5 Effectieve voorlandlengte en bepaling aanwezige kwelweglengte

De aanwezige kwelweglengte wordt per uittredepunt, per scenario bepaald. De aanwezige kwelweglengte wordt bepaald door de aspecten: geometrische eigenschappen, voorlandlengte, mate van weerstand in het voorland en afstand tot de waterkering (volgens formule 5.18 uit Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen [ref. 8]).

$$L_{\text{kwelweg, aanwezig}} = L_{\text{eff., voorland}} + L_{\text{BUT t.o.v. uittredepunt}}$$

waarbij:

$$L_{\text{eff., voorland}} = \lambda_1 \tanh(L_1, \text{geom} \lambda_1)$$

per uittredepunt worden de volgende geometrische afstanden bepaald:

- kortste afstand van het uittredepunt naar de geometrische intredelijn. De geometrische intredelijn is geografisch vastgelegd door middel van een lijn. Deze lijn stelt de locatie voor waar met grote zekerheid contact is met het watervoerende zandpakket;
- kortste afstand van het uittredepunt naar de waterkering (referentielijn). De waterkering is in het geval van tijdsafhankelijke stroming geschematiseerd als een lijn. Hiervoor is de referentielijn gebruikt. In dit geval is er geen dijkzate gemodelleerd.

De geometrische voorlandlengte L_1 wordt bepaald door:

$$L_1 = L_{\text{geometrische intredelijn}} - L_{\text{BUT}}$$

Opgemerkt wordt dat de richting van beide vectoren (kortste afstand tot respectievelijk de geometrische intredelijn en de waterkering) niet wordt meegenomen in de bepaling van de geometrische voorlandlengte, waardoor de geometrische voorlandlengte in bepaalde gevallen wordt onderschat.

De spreidingslengte van het voorland λ_1 is afhankelijk van de mate van aanwezige weerstand in het voorland en de transmissiviteit van het watervoerende pakket. De spreidingslengte wordt per scenario afgeleid. In formulevorm:

$$\lambda_1 = \sqrt{kDc_1}$$

De weerstand van het voorland c_1 kan per scenario conservatief worden geschat (absolute ondergrens) of gekalibreerd aan beschikbare peilbuiswaarnemingen.

Opgemerkt wordt dat de mate van weerstand in het voorland invloed heeft op zowel de aanwezige kwelweglengte als de theoretische potentiaal in het uittredepunt indien gebruik wordt gemaakt van de analytische formules. Opgemerkt wordt dat bij gebruik van de analytische formules vaak een karakteristiek hoge kD waarde gehanteerd wordt. Deze karakteristieke kD wordt vervolgens ook gehanteerd in de

bepaling van de effectieve voorlandlengte. Hiermee moet rekening gehouden worden in de keuze voor de weerstand van het voorland.

3.6 d₇₀-waarde

De D70 kan per scenario afgeleid worden op basis van de karakteristieken van het bovenste zandpakket. Hierdoor is het bijvoorbeeld ook mogelijk om een andere D70 te hanteren voor het holocene als het pleistocene zandpakket.

3.7 Stijghoogtebepaling en kD

In de PipingTool kunnen de waterspanningen op twee manieren worden bepaald:

Geohydrologisch model

Met deze methode kan de stijghoogte ter plaatse van het uittredepunt direct worden uitgelezen uit een stijghoogte raster. Dit raster kan afgeleid worden met een geohydrologisch grondwaterstromingsmodel zoals Moria.

Analytisch

De stijghoogte wordt in deze methode berekend op basis van “Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken” [ref. 6]. In de PipingTool zijn de uitgangspunten voor de kD-waarde vast te stellen voor de Sellmeijer formule en de stijghoogte bepaling. Deze uitgangspunten zijn losgekoppeld om het mogelijk te maken om te kiezen voor een andere karakteristieke waarde bepaling voor beide kD uitgangspunten.

4 Eindoordeel

Net zoals in het WBI wordt in de PipingTool op basis van semi-probabilistische berekening de maatgevende faalkans per scenario berekend. De maatgevende faalkans volgt uit het resultaat van de opbarst, heave en piping berekening. Het uiteindelijke oordeel bestaat uit twee oordelen:

1. Assemblage van ondergrondscenario's tot categorie indeling WBI;
2. Controle aan pipegroei criterium.

4.1 Assemblage per uittredepunt en categorie indeling WBI

Per berekend uittredepunt kunnen meerdere ondergrondscenario's worden vastgesteld. Per ondergrondscenario wordt de dominante faalkans bepaald uit de deelfaalmechanismes opbarsten, heave of piping.

Net zoals beschreven staat in het WBI worden deze verschillende ondergrondscenario geassembleerd tot een faalkans per uittredepunt. Deze faalkans wordt vervolgens getoetst aan de signalerings- en ondergrenswaarde en ingedeeld volgens de categorie indeling van het WBI (zie Tabel 2).

In de PipingTool wordt de berekende faalkans per uittredepunt vervolgens direct getoetst aan de faalkans op doorsnedeniveau. Dit betekent dat als de faalkans uitkomt in categorie I t/m III wordt voldaan aan het oordeel en niet wordt voldaan als de faalkans valt in categorie IV t/m VII (bij toetsing aan de ondergrens).

Tabel 2: Categorieën voor het toetsoordeel per vak per toetsspoor – WBI [ref.4]

Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie
		$P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis,sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis,sig,dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar]
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn}$
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,sig,dsn}$
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis,sig,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond,dsn}$
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens of aan de signaleringswaarde	$P_{eis,ond,dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis,ond}$
V _v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis,ond} < P_{f,dsn} < 30P_{eis,ond}$
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f,dsn} > 30P_{eis,ond}$
VII _v	nog geen oordeel	

4.2 Controle aan pipegroei criterium

Naast het piping oordeel wat volgt uit de categorie indeling van het WBI wordt tevens een controle uitgevoerd op de het pipegroei criterium. In de tool wordt gecontroleerd of de kritieke pipe niet voorbij de ingestelde grens kritieke pipelengte groeit (vaak de buitenteen).

De kritieke pipelengte is de lengte van de pipe die ontstaat in de evenwichtssituatie onder WBN belasting. De rekenregel van Sellmeijer gaat uit van een pipe die groeit, niet van een pipe die net geïnitieerd wordt.

Het kritiek verval is het maximale verval waarbij een aanwezige pipe nog in evenwicht kan komen. Deze lengte van de pipe wordt de kritieke pipelengte genoemd.

Wanneer de pipe tot onder het voorland groeit alvorens in een evenwichtstoestand te komen, zijn er twee risico's aanwezig:

1. De pipe maakt kortsluiting naar het maaiveld door een (lokale) onderbreking in de deklaag;
2. Via het voorland stroomt extra water naar de pipe. In de kalibratie van de formule van Sellmeijer is geen rekening gehouden met deze aanvullende toestroom van water waardoor het risico op piping mogelijk wordt onderschat.

In het WBI wordt ervan uitgegaan dat de pipe op een afstand van de helft van de minimaal benodigde kwelweglengte vanuit het uittredepunt evenwicht vindt. De kritieke pipelengte is daarmee gelijk aan:

Kritieke pipelengte = Benodigde kwelweglengte x MaxRatioPipeLengteKwelweglengte

In de rekeninstellingen is het mogelijk om de waarde voor MaxRatioPipeLengteKwelweglengte in te stellen. Zie hiervoor de gebruikershandleiding [ref. 3]. De grens van de kritieke pipelengte is in het WBI vastgesteld op de buitenteen (de dijkbasis). Hier mag rekening houdend met de genoemde risico's onderbouwd van afgeweken worden.

4.3 Assemblage op vak- en trajectniveau

In een ontwerp kan direct gebruik gemaakt worden van het geassembleerde oordeel per uittredepunt. In een WBI beoordeling wordt gevraagd om een oordeel per vak te presenteren. Het oordeel per vak kan vervolgens geassembleerd worden tot een oordeel op trajectniveau.

Voor een dergelijke assemblage is het mogelijk om de resultaten uit de PipingTool te verwerken in het programma Riskeer. Op deze manier wordt direct aangesloten het WBI. De assemblage kan worden uitgevoerd door per vak de grootste faalkans als maatgevende doorsnede te veronderstellen. Via het lengte effect kan deze faalkans vertaald worden naar een faalkans op vakniveau. Hierbij moet de gebruiker wel controleren of er in zekere zin sprake is van een homogeen vak. In Riskeer kan vervolgens een oordeel trajectniveau worden afgeleid. Riskeer gaat er in deze assemblage vanuit dat de vakken onafhankelijk van elkaar zijn.

A1 Referenties

1. Hoofdrapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R001-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
2. Validatierapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R003-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
3. Gebruikershandleiding PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R004-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
4. WBI2017 - Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017
5. POV PipingPortaal, POV Piping, Royal HaskoningDHV, 2019
6. TR_26, Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken 2004. TAW
7. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, OI2014v4, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017
8. Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, ORZW2012, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2012

A3 Gebruikershandleiding PipingTool

RAPPORT

Validatierapport PipingTool

Klant: Waterschap Rivierenland

Referentie: T&P-BH2549-R003-F1.1

Status: Definitief/1.0

Datum: 19 februari 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Validatierapport PipingTool

Ondertitel: Oplevering PipingTool versie 1.0
Referentie: T&P-BH2549-R003-F1.1
Status: 1.0/Definitief
Datum: 19 februari 2021
Projectnaam: Ontwikkeling PipingTool
Projectnummer: BH2549
Auteur(s): Tom de Wit (RHDHV)

Opgesteld door: Tom de Wit (RHDHV)

Gecontroleerd door: Sander Kapinga (WSRL) en Willem
Leeuwdront (WSRL)

Datum: 19-2-2021

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Doel	1
1.2	Leeswijzer	1
2	Testdata	2
3	Rekeninstellingen	3
4	Validatie rekenresultaten	5
4.1	Opbarsten	5
4.2	Heave	5
4.3	Berekening aanwezig verval – $0,3 \times d$	6
4.4	Horizontale doorlatendheid watervoerend pakket	6
4.5	Effectieve voorlandlengte	7
4.6	Piping	7
4.7	Aggregatie resultaten	9
4.8	Analytische stijghoogte berekening	10
5	Conclusie	11

Tabellen

<i>Tabel 1: Rekeninstellingen voor het de faalkansbepaling van dijktraject</i>	3
<i>Tabel 2: Rekeninstellingen voor het rekenmodel opbarsten, heave en piping</i>	3
<i>Tabel 3: Rekeninstellingen te bepaling van de geohydrologische uitgangspunten.</i>	4
<i>Tabel 4: Validatie van stabiliteitsfactor opbarsten</i>	5
<i>Tabel 5: Validatie van scenariofaalkans en betrouwbaarheidsindex opbarsten</i>	5
<i>Tabel 6: Validatie van stabiliteitsfactor heave</i>	6
<i>Tabel 7: Validatie van scenariofaalkans en betrouwbaarheidsindex heave</i>	6
<i>Tabel 8: Validatie van het aanwezig verval - $0,3 d$</i>	6
<i>Tabel 9: Validatie van de toegepaste horizontale doorlatendheid van het watervoerenpakket</i>	7
<i>Tabel 10: Validatie van de geometrische voorlandlengte, spreidingslengte en effectieve voorlandlengte</i>	7
<i>Tabel 11: Validatie van het kritiek verval en stabiliteitsfactor piping</i>	8
<i>Tabel 12: Validatie van de scenariofaalkans en de betrouwbaarheidsindex piping</i>	8
<i>Tabel 13: Validatie van de scenariofaalkans x de scenariokans</i>	8
<i>Tabel 14: Validatie van de minimaal benodigde kwelweglengte, het kwelweglengte tekort en de kritieke pipelengte.</i>	9
<i>Tabel 15: Validatie van de som product faalkans scenariokans (met bijbehorende unity check) en de beta som product faalkans scenariokans (met bijbehorende unity check).</i>	9
<i>Tabel 16: Validatie van de maximaal toegepaste effectieve kwelweglengte, maximale benodigde kwelweglengte, maximaal kwelweglengte tekort, maximale kritieke pipelengte en het maximaal kritieke pipelengte tekort.</i>	10
<i>Tabel 17: Validatie van de berekende stijghoogte.</i>	10

Bijlagen

A1 Referenties

1 Inleiding

Dit validatierapport is onderdeel van de oplevering van de PipingTool versie 1.0. Het validatierapport is een bijlage van de hoofdrapportage PipingTool:

- Hoofdrapportage PipingTool
 - Achtergrondrapport
 - Gebruikershandleiding
 - **Validatierapport**

De validatie is uitgevoerd door de uitkomsten uit de PipingTool van drie rekenlocaties (uittredepunten) te controleren met rekensheets van Royal HaskoningDHV.

1.1 Doel

Het doel van de validatie is om de belangrijkste onderdelen van de PipingTool te controleren en deze controle vast te leggen. De gepresenteerde resultaten kunnen eventueel later ook gebruikt worden om nieuwe controle berekeningen op uit te voeren.

1.2 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk is een toelichting gegeven op de gebruikte testdata voor de validatie. In hoofdstuk 3 zijn de rekeninstellingen weergegeven waarmee de resultaten van de PipingTool zijn geproduceerd. In het volgende hoofdstuk zijn de volgende onderdelen gevalideerd:

- Opbarsten;
- Heave;
- Aanwezig verval;
- Horizontale doorlatendheid watervoerend pakket;
- Effectieve voorlandlengte;
- Piping;
- Aggregatie resultaten;
- Analytische stijghoogte berekening.

In het laatste hoofdstuk zijn de conclusies van de validatie gerapporteerd.

2 Testdata

Als testdata zijn de volgende uittredepunten van dijkversterkingsproject Gorinchem – Waardenburg gebruikt:

- Uittredepunt nummer 2:
 - Ondergrondscenariokans gelijk aan scenariokans van het dijkvak (globale scenariokans);
 - Er zijn twee ondergrondscenario's aanwezig. Eén holocene en één pleistoceen ondergrondscenario.
 - De berekende faalkans voldoet net aan de faalkanseis op doorsnedeniveau (categorie III).
- Uittredepunt nummer 56:
 - Ondergrondscenariokans lokaal gemaakt en dus afwijkend van de globale scenariokans;
 - Er zijn twee ondergrondscenario's aanwezig. Eén holocene en één pleistoceen ondergrondscenario.
 - De berekende faalkans voldoet net niet aan de faalkanseis op doorsnedeniveau (categorie IV).
- Uittredepunt nummer 1431:
 - Ondergrondscenariokans lokaal gemaakt en dus afwijkend van de globale scenariokans;
 - Er zijn twee ondergrondscenario's aanwezig. Eén holocene en één pleistoceen ondergrondscenario.
 - De berekende faalkans voldoet net niet aan de faalkanseis op doorsnedeniveau (categorie III).

Omdat er voor elk uittredepunt 2 ondergrondscenario's aanwezig zijn, zijn in totaal 6 berekeningen gecontroleerd.

3 Rekeninstellingen

In dit hoofdstuk zijn de instellingen weergegeven waarmee de testdata is doorgerekend. Voor een verklaring van de rekeninstellingen zie de gebruikershandleiding [ref. 2]. De rekeninstellingen zijn weergegeven in onderstaande tabellen.

Tabel 1: Rekeninstellingen voor het de faalkansbepaling van dijktraject

Parameter	Symbool	Toegepaste waarde	Eenheid
Faalkansruimte	ω	0.24	-
Trajectlengte	L	46859.32	m
Mechanismegevoelige fractie	$a; l$	0.9	-
Lengte effect	$b; l$	300	m
Signaleringswaarde	Pf_eis_sign	1/30,000	jaar
Ondergrenswaarde	Pf_eis_ond	1/10,000	jaar
Keuze overstromingskans	Pf_eis_selectie	Ondergrenswaarde	-

Tabel 2: Rekeninstellingen voor het rekenmodel opbarsten, heave en piping

Parameter	Symbool	Toegepaste waarde	Eenheid
Modelfactor piping	m_p	1.0	-
Kinematische viscositeit	ν	0.00000133	m ² /s
Rolweerstandshoek	θ	37,0	°
Coëfficiënt White	η	0.25	-
d70_gemiddeld	d70m	0.000208	m
gamma_p	γ'_p	26,0	kN/m ³
gamma_w	γ_w	9.81	kN/m ³
0.3d_regel	r_c	0.3	-
MaxRatioPipeLengteKwelweglengte	-	1/3	-
Modelfactor uplift	m_u	1.0	-
Modelfactor heave	m_he	1.0	-
Kritieke heave gradient	i;c;h	0.3	-

Tabel 3: Rekeninstellingen te bepaling van de geohydrologische uitgangspunten.

Parameter	Symbool	Toegepaste waarde	Eenheid
rekenmethodiekLeklengte (rekenmethode grondwaterstroming)	-	Geohydrologisch model*	-
Stijghoogtebepaling	-	Geohydrologisch model*	-
Spreidingslengte voorland	-	GIS-lijn	-
Karakteristieke spreidingslengte voorland	-	Ja	-
Variatiecoëfficiënt spreidingslengte voorland	VC	0.1	-
Percentiel spreidingslengte voorland	-	0.05	%
Spreidingslengte achterland	-	n.v.t.	-
doorlatendheidDunneDeklaag	kv_dun	0.1	m/dag
doorlatendheidDikkeDeklaag	kv_dik	0.01	m/dag
grensDikte	-	1.5	m

*Ten behoeve van de validatie van de stijghoogte berekening is de testdata ook doorgerekend met het analytische model. Hierbij wordt de stijghoogte berekend volgens Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [ref. 7].

4 Validatie rekenresultaten

In dit hoofdstuk zijn de uitkomsten uit de PipingTool gecontroleerd aan de hand van handberekeningen en externe tools. Het gevalideerde resultaat is achter de rekenuitkomst toegevoegd in onderstaande tabellen (met een wit kolomhoofd). In iedere tabel zijn tevens de uitgangspunten gegeven waarmee de validatie is uitgevoerd. Zo kan altijd achteraf de controle opnieuw uitgevoerd worden.

4.1 Opbarsten

In onderstaande tabellen is het resultaat van de validatie van de opbarstberekening weergegeven. De validatie van de stabiliteitsfactor opbarsten is uitgevoerd met een beschikbare spreadsheet van Royal Haskoning DHV. De validatie van de faalkans en betrouwbaarheidsindex is uitgevoerd door gebruik te maken van de formules uit het ontwerpinstrumentarium [ref. 5].

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 4: Validatie van stabiliteitsfactor opbarsten

ID	Top zand [m NAP]	Bodemhoogte [m NAP]	Dikte delaaag [m]	Freatische waterstand [m+NAP]	Stijghoogte [m NAP]	Volumegegewicht delaaag [kN/m3]	Stabiliteitsfactor opbarsten zonder veiligheidsfactoren [-]	Stabiliteitsfactor opbarsten zonder veiligheidsfactoren [-]
2	-7.00	-0.50	6.50	0.28	5.68	18	1.0056	1.0056
2	-1.00	-0.50	0.50	0.28	5.68	18	0.0773	0.0773
56	-6.50	1.25	7.75	1.25	6.45	18	1.2469	1.2469
56	-0.50	1.25	1.75	1.25	6.45	18	0.2821	0.2821
1431	-8.00	1.87	9.87	1.87	6.85	18	1.6529	1.6529
1431	-4.80	1.87	6.67	1.87	6.85	18	1.1168	1.1168

Tabel 5: Validatie van scenariofaalkans en betrouwbaarheidsindex opbarsten

ID	Stabiliteitsfactor opbarsten zonder veiligheidsfactoren [-]	Scenariofaalkans opbarsten [1/jaar]	Scenariofaalkans opbarsten [1/jaar]	Betrouwbaarheidsindex opbarsten [-]	Betrouwbaarheidsindex opbarsten [-]
2	1.0056	7.5074E-05	7.5074E-05	3.7908	3.7908
2	0.0773	0.9628	0.9628	-1.7854	-1.7851
56	1.2469	1.0299E-05	1.0299E-05	4.2582	4.2582
56	0.2821	0.1520	0.1520	1.0276	1.0276
1431	1.6529	5.5503E-07	5.5502E-07	4.8710	4.8710
1431	1.1168	2.9251E-05	2.9252E-05	4.0187	4.0187

4.2 Heave

In onderstaande tabellen is het resultaat van de validatie van de heaveberekening weergegeven. De validatie van de stabiliteitsfactor heave is uitgevoerd met een beschikbare spreadsheet van Royal Haskoning DHV. De validatie van de faalkans en betrouwbaarheidsindex is uitgevoerd door gebruik te maken van de formules uit het ontwerpinstrumentarium [ref. 5].

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 6: Validatie van stabiliteitsfactor heave

ID	Top zand [m NAP]	Bodemhoogte [m NAP]	Dikte deklaag [m]	Freatische waterstand [m+NAP]	Stijghoogte [m NAP]	Stabiliteitsfactor heave zonder veiligheidsfactoren [-]	Stabiliteitsfactor heave zonder veiligheidsfactoren [-]
2	-7	-0.50	6.50	0.28	5.68	0.361386	0.361386
2	-1	-0.50	0.50	0.28	5.68	0.027799	0.027799
56	-6.5	1.25	7.75	1.25	6.45	0.448084	0.448084
56	-0.5	1.25	1.75	1.25	6.45	0.101379	0.101379
1431	-8	1.87	9.87	1.87	6.85	0.593983	0.593983
1431	-4.8	1.87	6.67	1.87	6.85	0.401336	0.401336

Tabel 7: Validatie van scenariofaalkans en betrouwbaarheidsindex heave

ID	Stabiliteitsfactor heave zonder veiligheidsfactoren [-]	Scenariofaalkans heave [1/jaar]	Scenariofaalkans heave [1/jaar]	Betrouwbaarheids- index heave [-]	Betrouwbaarheids- index heave [-]
2	0.361386	0.011444	0.011444	2.275308	2.275308
2	0.027799	0.998924	0.998924	-3.068337	-3.068337
56	0.448084	0.003232	0.003232	2.723297	2.723297
56	0.101379	0.645343	0.645343	-0.372778	-0.372778
1431	0.593983	0.000466	0.000466	3.310527	3.310527
1431	0.401336	0.006320	0.006320	2.493753	2.493753

4.3 Berekening aanwezig verval – 0,3 x d

In onderstaande tabel is het resultaat weergegeven van de validatie van het aanwezig verval rekening houdend met de 0,3 d reductie. De validatie is uitgevoerd door gebruik te maken van de formules uit het ontwerpinstrumentarium [ref. 5].

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 8: Validatie van het aanwezig verval - 0,3 d

ID	Dikte deklaag [m]	Polderpeil [m NAP]	Freatische waterstand [m+NAP]	WBN [m NAP]	Verval [m]	Verval - 0.3d [m]	Verval - 0.3d [m]
2	6.5	0.280388	0.280388	7.3555	7.075112	5.125112	5.125112
2	0.5	0.280388	0.280388	7.3555	7.075112	6.925112	6.925112
56	7.75444	-0.5	1.25444	7.514	6.25956	3.933228	3.933228
56	1.75444	-0.5	1.25444	7.514	6.25956	5.733228	5.733228
1431	9.866474	0.3	1.866474	8.058	6.191526	3.231584	3.231584
1431	6.666474	0.3	1.866474	8.058	6.191526	4.191584	4.191584

4.4 Horizontale doorlatendheid watervoerend pakket

In onderstaande tabel is het resultaat weergegeven van de validatie van de horizontale doorlatendheid van het watervoerend pakket. De horizontale doorlatendheid is afgeleid op basis van een gewogen gemiddelde. Zie hiervoor ook de gebruikershandleiding [ref. 2].

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 9: Validatie van de toegepaste horizontale doorlatendheid van het watervoerenpakket

ID	Dikte holocene zandlaag [m]	kh holocene zandlaag [m/dag]	Dikte pleistocene zandlaag [m]	kh pleistocene zandlaag [m/dag]	Dikte watervoerend-pakket [m]	kh watervoerend-pakket [m/dag]	kh watervoerend-pakket [m/dag]
2	0	15	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
2	6	15	37.5	37.5	43.5	34.396552	34.396552
56	0	15	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
56	6	15	37.5	37.5	43.5	34.396552	34.396552
1431	0	15	43	35.174419	43	35.174419	35.174419
1431	2.5	15	43	35.174419	45.5	34.065934	34.065934

4.5 Effectieve voorlandlengte

In onderstaande tabel is het resultaat weergegeven van de validatie van de effectieve voorlandlengte. De effectieve voorlandlengte is bepaald met formule 5.18 uit Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen [ref. 6].

De effectieve voorlandlengte wordt berekend op basis van de geometrische voorlandlengte en de spreidingslengte. Van de spreidingslengte wordt een karakteristieke waarde bepaald (zie ook paragraaf 3.1.3 uit de gebruikershandleiding [ref. 2]). Deze rekenwaarde is opgenomen in de tabel.

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 10: Validatie van de geometrische voorlandlengte, spreidingslengte en effectieve voorlandlengte

ID	Afstand tot buitenteen [m]	Afstand tot geometrische intredelijijn [m]	Geometrische voorlandlengte [m]	Geometrische voorlandlengte [m]	Rekenwaarde spreidingslengte [m]	Rekenwaarde spreidingslengte [m]	Effectieve voorlandlengte [m]	Effectieve voorlandlengte [m]
2	100.434105	261.060832	160.626728	160.626727	155.105589	155.105589	120.384118	120.384118
2	100.434105	261.060832	160.626728	160.626727	155.105589	155.105589	120.384118	120.384118
56	78.297509	230.086478	151.788969	151.788969	61.44616	61.44616	60.573639	60.573639
56	78.297509	230.086478	151.788969	151.788969	61.44616	61.44616	60.573639	60.573639
1431	83.262646	270.319867	187.057221	187.057221	52.198491	52.198491	52.118009	52.118009
1431	83.262646	270.319867	187.057221	187.057221	52.198491	52.198491	52.118009	52.118009

4.6 Piping

In onderstaande tabel is het resultaat van de validatie van de pipingberekening weergegeven. De validatie van de stabiliteitsfactor piping en het kritiek verval is uitgevoerd met een spreadsheet van Royal Haskoning DHV.

Zoals in onderstaande tabel is te zien komen de resultaten van de controle berekeningen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 11: Validatie van het kritiek verval en stabiliteitsfactor piping

ID	Effectieve voorlandlengte [m]	Korrelgrootte d70 [m]	Effectieve kwelweglengte [m]	Kritiek verval piping [m]	Kritiek verval piping [m]	Verval - 0.3d [m]	Stabiliteitsfactor piping [-]	Stabiliteitsfactor piping [-]
2	120.384118	0.00035	220.818222	10.453111	10.453111	5.125112	2.039587	2.039587
2	120.384118	0.00026	220.818222	9.230807	9.230807	6.925112	1.332947	1.332947
56	60.573639	0.00035	138.871147	6.906949	6.906949	3.933228	1.756051	1.756051
56	60.573639	0.00026	138.871147	6.112187	6.112187	5.733228	1.066099	1.066099
1431	52.118009	0.00035	135.380654	6.697966	6.697966	3.231584	2.072657	2.072657
1431	52.118009	0.00026	135.380654	5.939689	5.939689	4.191584	1.417051	1.417051

De validatie van de faalkans en betrouwbaarheidsindex is uitgevoerd door gebruik te maken van de formules uit het ontwerpinstrumentarium [ref. 5].

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 12: Validatie van de scenariofaalkans en de betrouwbaarheidsindex piping

ID	Stabiliteitsfactor piping zonder veiligheidsfactoren [-]	Scenariofaalkans piping [1/jaar]	Scenariofaalkans piping [1/jaar]	Betrouwbaarheidsindex x piping [-]	Betrouwbaarheidsindex x piping [-]
2	2.039587	4.06311E-10	4.06311E-10	6.142442	6.142442
2	1.332947	2.97498E-07	2.97498E-07	4.992834	4.992834
56	1.756051	4.79281E-09	4.79281E-09	5.737902	5.737902
56	1.066099	5.69137E-06	5.69135E-06	4.389087	4.389088
1431	2.072657	3.0872E-10	3.08721E-10	6.185913	6.185913
1431	1.417051	1.24667E-07	1.24667E-07	5.158201	5.158201

Tabel 13: Validatie van de scenariofaalkans x de scenariokans

ID	Scenariokans	Scenariofaalkans piping [1/jaar]	Beta scenariofaalkans x scenariokans	Scenariofaalkans x scenariokans
2	0.5	4.06311E-10	2.03156E-10	2.03156E-10
2	0.5	2.97498E-07	1.48749E-07	1.48749E-07
56	0.9	4.79281E-09	4.31353E-09	4.31353E-09
56	0.1	5.69137E-06	5.69137E-07	5.69137E-07
1431	0.3	3.0872E-10	9.26159E-11	9.26159E-11
1431	0.7	1.24667E-07	8.72668E-08	8.72668E-08

In onderstaande tabel is het resultaat van de validatie van de minimaal benodigde kwelweglengte, het kwelweglengte tekort en de kritieke pipelengte weergegeven. De validatie is uitgevoerd met een beschikbare spreadsheet van Royal Haskoning DHV.

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 14: Validatie van de minimaal benodigde kwelweglengte, het kwelweglengte tekort en de kritieke pipelengte.

ID	Minimaal benodigde kwelweglengte [m]	Minimaal benodigde kwelweglengte [m]	Kwelweglengte tekort [m]	Kwelweglengte tekort [m]	Factor kritieke pipelengte [-]	Kritieke pipelengte	Kritieke pipelengte	Afstand tot grens kritieke pipelengte [m]	Kritieke pipelengte tekort [m]
2	143.45	143.45	-77.36	-77.36	0.333	47.81	47.81	100.43	-52.61
2	230.83	230.83	10.01	10.01	0.333	76.94	76.94	100.43	-23.48
56	106.22	106.22	-32.64	-32.64	0.333	35.40	35.40	78.29	-42.88
56	186.89	186.89	48.02	48.02	0.333	62.29	62.29	78.29	-16.00
1431	85.058	85.058	-50.32	-50.32	0.333	28.35	28.35	83.26	-54.90
1431	132.11	132.11	-3.27	-3.27	0.333	44.03	44.03	83.26	-39.22

4.7 Aggregatie resultaten

In onderstaande tabel is het resultaat van de validatie van de aggregatie weergegeven. De verschillende ondergrondscenario's zijn per uittredepunt bij elkaar opgeteld en de unitychecks zijn uitgevoerd op de Beta-eis en faalkanseis

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 15: Validatie van de som product faalkans scenariokans (met bijbehorende unity check) en de beta som product faalkans scenariokans (met bijbehorende unity check).

ID	Scenariofaalkans x scenariokans	Som Product Faalkans Scenariokans [-]	Som Product Faalkans Scenariokans [-]	UnityCheck Faalkans [-]	UnityCheck Faalkans [-]	Beta Som Product Faalkans Scenariokans [-]	Beta Som Product Faalkans Scenariokans [-]	Unity Check Beta [-]	Unity Check Beta [-]
2	2.03155E-10	1.4895E-07	1.4895E-07	0.8786	0.8786	5.1247	5.1247	0.9952	0.9952
2	1.48749E-07								
56	4.31353E-09	5.7345E-07	5.7345E-07	3.3828	3.3828	4.8645	4.8645	1.0484	1.0484
56	5.69137E-07								
1431	9.26159E-11	8.7359E-08	8.7359E-08	0.5153	0.5153	5.2244	5.2244	0.9762	0.9762
1431	8.72668E-08								

In onderstaande tabel is de validatie weergegeven van de laatste resultaten van de aggregatie, namelijk de maximale:

- Effectieve kwelweglengte;
- Benodigde kwelweglengte;
- Kwelweglengte gekort
- Kritieke pipelengte;
- Kritieke pipelengte tekort.

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 16: Validatie van de maximaal toegepaste effectieve kwelweglengte, maximale benodigde kwelweglengte, maximaal kwelweglengte tekort, maximale kritieke pipelengte en het maximaal kritieke pipelengte tekort.

ID	Maximale Effectieve Kwelweglengte	Maximale Effectieve Kwelweglengte	Maximale benodigde kwelweglengte [m]	Maximale benodigde kwelweglengte [m]	Maximaal kwelweglengte tekort [m]	Maximaal kwelweglengte tekort [m]	Maximale kritieke pipelengte [m]	Maximale kritieke pipelengte [m]	Maximale kritieke pipelengte tekort [m]	Maximale kritieke pipelengte tekort [m]
2	220.81	220.81	230.83	230.83	10.01	10.01	76.94	76.94	-23.48	-23.48
56	138.87	138.87	186.89	186.89	48.02	48.02	62.29	62.29	-16.00	-16.00
1431	135.38	135.38	132.11	132.11	-3.27	-3.27	44.03	44.03	-39.22	-39.22

4.8 Analytische stijghoogte berekening

In onderstaande tabel is het resultaat van de validatie van de stijghoogte berekening weergegeven. De validatie is uitgevoerd met een beschikbare spreadsheet van Royal Haskoning DHV. Zoals ook is toegelicht in de gebruikershandleiding [ref. 2] is de stijghoogte berekening uitgevoerd volgens technisch rapport waterspanningen bij dijken [ref. 7].

De resultaten van de controle berekeningen komen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

Tabel 17: Validatie van de berekende stijghoogte.

ID	Polderpeil [m NAP]	WBN [m NAP]	kD-waarde [m ² /dag]	Afstand tot binnen-teen [m]	Afstand tot buiten-teen [m]	Voorland lengte [m]	Achterland lengte [m]	Spreidingslengte voorland [m]	Effectieve voorlandlengte [m]	Spreidingslengte Achterland [m]	Stijghoogte [m NAP]	Stijghoogte [m NAP]
2	0.28	7.35	1406.25	42.45	100.43	160.63	2500	118.59	103.78	992.56	6.10	6.10
2	0.28	7.35	1496.25	42.45	100.43	160.63	2500	122.32	105.82	387.92	4.74	4.74
56	-0.5	7.51	1406.25	32.69	78.30	151.79	2500	118.59	101.57	941.59	6.18	6.18
56	-0.5	7.51	1496.25	32.69	78.30	151.79	2500	122.32	103.45	213.49	3.55	3.55
1431	0.3	8.06	1512.50	18.29	83.26	187.06	2500	122.98	111.78	1069.67	6.83	6.83
1431	0.3	8.06	1550.00	18.29	83.26	187.06	2500	124.50	112.75	969.57	6.72	6.72

5 Conclusie

De belangrijkste onderdelen van de PipingTool zijn in deze rapportage gevalideerd aan de hand van testdata. In de alle gevallen komen de resultaten van de controle berekeningen precies overeen met de uitkomsten van de PipingTool.

A1 Referenties

1. Hoofdrapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R001-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
2. Gebruikershandleiding PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R004-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
3. Achtergrondrapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R002-F1.0., Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
4. WBI2017 - Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017
5. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, OI2014v4, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad, 2017
6. Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, ORZW2012, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2012
7. TR_26, Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken 2004. TAW

A4 Validatierapport PipingTool

RAPPORT

Gebruikershandleiding PipingTool

Klant: Waterschap Rivierenland

Referentie: T&P-BH2549-R004-F1.1

Status: Definitief/1.1

Datum: 19 februari 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Gebruikershandleiding PipingTool

Ondertitel: Oplevering PipingTool versie 1.0
Referentie: T&P-BH2549-R004-F1.1
Status: 1.1/Definitief
Datum: 19 februari 2021
Projectnaam: Ontwikkeling PipingTool
Projectnummer: BH2549-100-100
Auteur(s): Dirk Voesenek (RHDHV) en Tom de Wit (RHDHV)

Opgesteld door: Dirk Voesenek (RHDHV) en Tom de Wit (RHDHV)

Gecontroleerd door: Sander Kapinga (WSRL) en Willem Leeuwdront (WSRL)

Datum: 19-2-2021

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Doel	1
1.2	Algemene aandachtspunten	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Installatie van de GIS-Tool box	3
3	Configuratietabel Excel-bestand	5
3.1	Rekeninstellingen	5
3.1.1	Faalkansbepaling dijktraject	5
3.1.2	Rekenmodel opbarsten, heave en piping	5
3.1.3	Geohydrologische uitgangspunten	6
3.2	Data Dijkvakken	7
3.3	Genereren Scenario's	7
3.4	Vaststellen ondergrondscenario's	8
3.5	Koppeling GIS data uitgangspunten	9
3.5.1	Uittredepunten feature class	9
3.5.2	Lokaal maken ondergrondscenario's	12
4	Runnen van tools in de Piping Tool box	13
4.1	Uitvoeren testrun	13
4.2	Maken template voor uittredepunten	14
4.3	Vullen uittredepunten	15
4.4	Uitvoeren piping berekening	15
5	Visualisatie resultaten	17
Bijlagen		
A1	Referenties	

1 Inleiding

Deze gebruikershandleiding is onderdeel van de oplevering van de PipingTool versie 1.0. De gebruikershandleiding is een bijlage van de hoofdrapportage PipingTool:

- Hoofdrapportage PipingTool
 - Achtergrondrapport
 - **Gebruikershandleiding**
 - Validatierapport

1.1 Doel

Het doel van deze gebruikershandleiding is de gebruiker te helpen bij het gebruik van de PipingTool. In het document worden tip en aandachtspunten gegeven. Daarnaast wordt uitleg gegeven over de verschillende invoervelden.

In het rapport is niet de achtergrond van de PipingTool beschreven. Dit is opgenomen in het achtergrondrapport [ref. 5].

1.2 Algemene aandachtspunten

De gebruiker is zelf verantwoordelijk voor de invoer. Voornamelijk de keuze of karakteristieke of gemiddelde waardes worden toegepast is aan het project/de gebruiker.

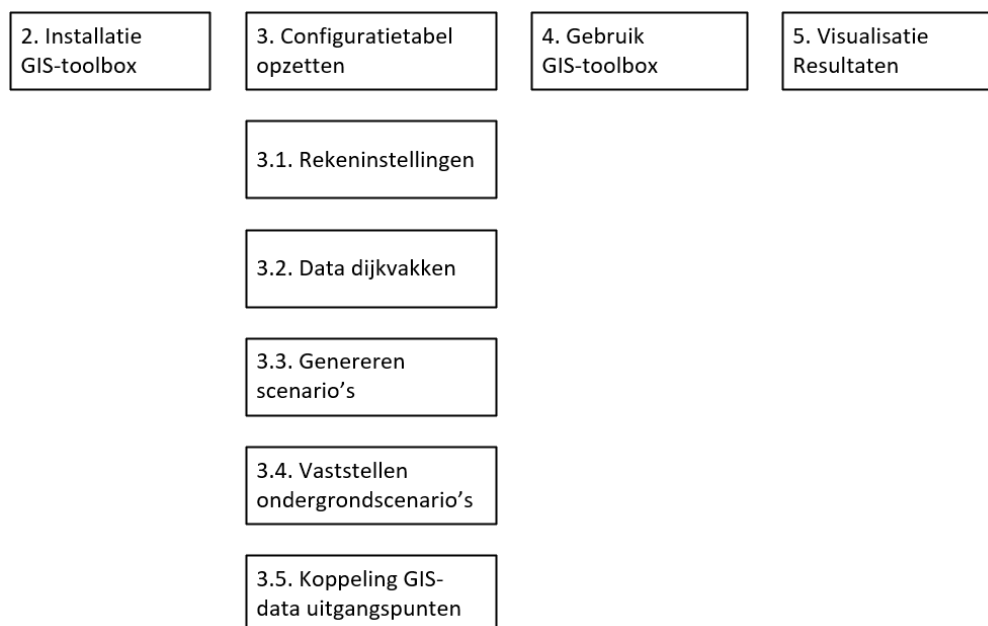
De tool is alleen toepasbaar binnen het geldigheidsbereik van de rekenregel van Sellmeijer zoals beschreven in paragraaf 5.3.5 van onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen [ref. 6].

Ondanks dat de in- en uitvoer van de PipingTool wordt weggeschreven kunnen bij geautomatiseerd rekenen onopgemerkt fouten ontstaan. Om deze reden wordt geadviseerd om tijdens het rekenproces steekproefsgewijs controle berekeningen uit te voeren.

1.3 Leeswijzer

In Figuur 1 is de hoofdstuk indeling van de gebruikershandleiding weergegeven. Het rapport wordt in dezelfde volgorde doorlopen als bij het gebruik van de PipingTool noodzakelijk is.

In het rapport zijn belangrijke aandachtspunten weergegeven met de melding: “**Let op!**”.



Figuur 1: Flowchart hoofdstukindeling gebruikershandleiding

2 Installatie van de GIS-Tool box

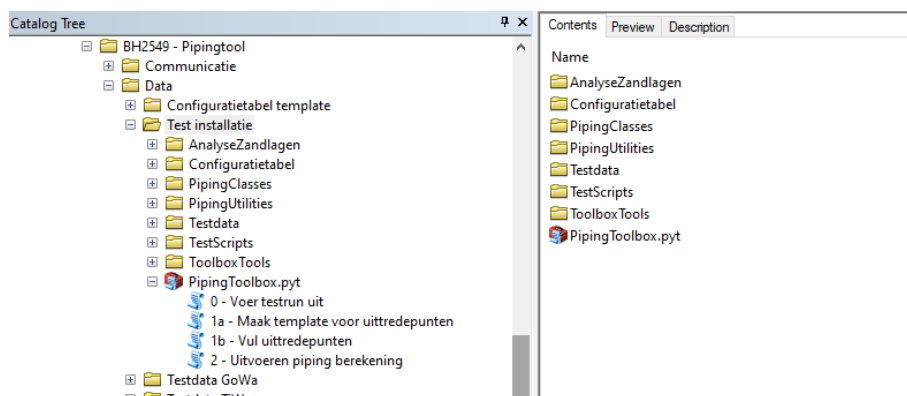
De logica en user interface van de PipingTool zijn ondergebracht in een Python Tool box voor ArcGIS. Om deze Tool box te kunnen gebruiken, moet de zipfile waar deze in verpakt is, in een lokale map uitgepakt worden. De structuur van de bestanden ziet er dan als volgt uit:

BH2549 - Pipingtool > Data > Test installatie				
Name	Date modified	Type	Size	
AnalyseZandlagen	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
ConfiguratieLabel	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
PipingClasses	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
PipingUtilities	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
Testdata	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
TestScripts	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
ToolboxTools	8/20/2020 11:27 AM	File folder		
__init__.py	5/7/2019 3:49 PM	Python File	0 KB	
InputConfig.py	8/20/2020 10:08 AM	Python File	3 KB	
PipingCalculationConfig.py	8/19/2020 2:21 PM	Python File	3 KB	
PipingToolbox.MaakTemplateTool.pyt.xml	8/20/2020 10:47 AM	XML Document	1 KB	
PipingToolbox.PipingBerekeningTool.pyt.xml	8/20/2020 10:47 AM	XML Document	1 KB	
PipingToolbox.pyt	8/20/2020 10:47 AM	ArcGIS Python To...	2 KB	
PipingToolbox.pyt.xml	8/20/2020 10:47 AM	XML Document	1 KB	
PipingToolbox.TestRunTool.pyt.xml	8/20/2020 10:47 AM	XML Document	1 KB	
PipingToolbox.TestTool.pyt.xml	2/17/2020 5:33 PM	XML Document	1 KB	
PipingToolbox.Tool.pyt.xml	2/20/2020 10:20 AM	XML Document	1 KB	
PipingToolbox.UittredepuntenTool.pyt.xml	8/20/2020 10:47 AM	XML Document	1 KB	
TestTool.py	2/17/2020 5:30 PM	Python File	2 KB	

Figuur 2: Structuur van de bestanden na het uitpakken van de PipingTool folder.

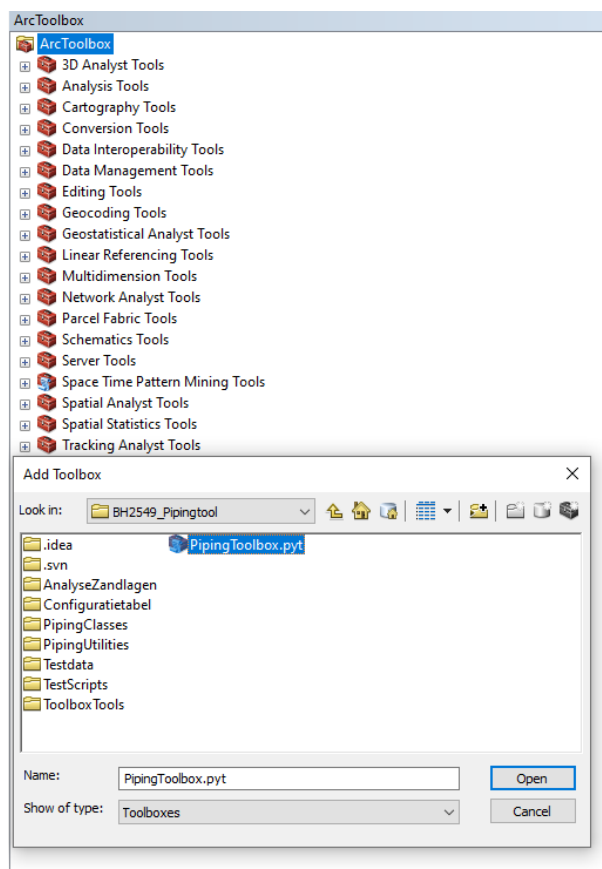
Er zijn twee mogelijkheden om deze set bestanden vanuit ArcGIS als Tool box te openen:

1. Door vanuit ArcCatalog te bladeren naar de lokale map en te klikken op het bestand met de extensie *.pyt








Figuur 3: Installatie via ArcCatalog.

2. Door vanuit ArcMap het ArcToolbox venster te openen en te bladeren naar de *.pyt file:



Figuur 4: Installatie via de Tool box in ArcMap.

In beide gevallen is de installatie succesvol als er de volgende 4 tools verschijnen bij het openen van de *.pyt-file:

-  **PipingToolbox.pyt**
-  0 - Voer testrun uit
-  1a - Maak template voor uittredepunten
-  1b - Vul uittredepunten
-  2 - Uitvoeren piping berekening

Figuur 5: Bij een succesvolle installatie verschijnen de volgende tools.

3 Configuratie tabel Excel-bestand

In dit hoofdstuk worden het Excel-bestand “PipingTool_Configuratie tabel” besproken. In dit bestand zijn alle uitgangspunten opgenomen die de PipingTool nodig heeft om het script uit te kunnen voeren. Bij de oplevering van de PipingTool is tevens een voorbeeld van een correct ingevulde configuratie tabel opgenomen. Alle tabbladen uit het Excel-bestand worden toegelicht:

- CalculationSettings – rekeninstellingen;
- DataDijkvakken – uitgangspunten per dijkvak;
- GenererenScenario's – automatisch genereren van de ondergrondscenario tabel;
- Ondergrondscenario's – vaststellen van ondergrondscenario's per dijkvak;
- Bestandspaden – hoofdlocatie van de te gebruiken GIS-data;
- InputsUittredepunten – specifieke koppeling naar de te gebruiken GIS-data.

In het Excel-bestand is met de volgende cel-stijlen aangeduid welke cellen aangepast kunnen worden. Enkel in de “Invoer” en “Standaard waarde” cel mag data ingevoerd worden. In de cellen waarin berekeningen worden uitgevoerd mogen geen aanpassingen worden gemaakt.

Invoer
Berekening
Standaard waarde

Figuur 6: Toegepaste cel-stijlen in de configuratie tabel

Onderstaand worden de tabbladen nader beschreven. Er is een interactie met tools uit de Tool box, maar deze interactie wordt niet in de beschrijving per tabblad meegenomen; in dat geval wordt er verwezen naar hoofdstuk 4.

3.1 Rekeninstellingen

In het tabblad “CalculationSettings” worden de algemene rekeninstellingen vastgesteld.

3.1.1 Faalkansbepaling dijktraject

Deze instellingen worden gebruikt om de faalkanseis (op doorsnedeniveau) te bepalen.

Keuze signaleringswaarde of ondergrenswaarde

Zowel de signaleringswaarde als de ondergrenswaarde moeten ingesteld worden. Bij “Keuze overstromingskans” moet de gebruiker de keuze maken of de signaleringswaarde of de ondergrenswaarde in de PipingTool wordt gebruikt. Bij een beoordeling volgens het WBI wordt de faalkanseis bepaald op basis van de Signaleringswaarde bij een ontwerp volgens het OI wordt de Ondergrenswaarde toegepast.

3.1.2 Rekenmodel opbarsten, heave en piping

Deze instellingen zijn direct van invloed op de formules voor opbarsten, heave en piping.

Modelfactoren

Naast de standaard invoerwaarden voor de formules worden hier ook modelfactoren geïntroduceerd. Deze modelfactoren zijn beschikbaar voor zowel opbarsten, heave als piping. Voor een berekening conform het OI of WBI moeten deze factoren gelijk worden gesteld aan 1,0. De factoren geven de gebruiker een optie om het berekende resultaat uit de drie formules positief of negatief te beïnvloeden.

De modelfactor wordt op de volgende manier toegepast:

Rekenwaarde = veiligheidsfactor / modelfactor.

Dijkbasisregel (kritieke pipelengte)

Naast de modelfactoren kan de gebruiker hier de dijkbasis regel instellen. In de PipingTool wordt de dijkbasisregel toegepast door de kritieke pipelengte te berekenen. De kritieke pipelengte wordt bepaald door de formule:

Kritieke pipelengte = Benodigde kwelweglengte x MaxRatioPipeLengteKwelweglengte

3.1.3 Geohydrologische uitgangspunten

Met deze instellingen wordt vastgesteld met welke methodiek de waterspanningen worden berekend. Er zijn twee opties mogelijk (onder “rekenmethodiekLeklengte”):

- Geohydrologisch model;
- Analytisch.

Geohydrologisch model

Kies deze methode als de stijghoogtes tijdens hoog water zijn berekend met een geohydrologisch model (zoals Moria). Aandachtspunten:

- De stijghoogtedata dient als GIS-raster beschikbaar te zijn;
Let op! De semi-probabilistische benadering verlangt een hoog karakteristieke waarde van de stijghoogte bij het uittredepunt. Het script voert deze vertaalslag niet uit. De gebruiker dient hier dus zelf bedachtzaam op te zijn.
- De spreidingslengte in het voorland dient als GIS feature class beschikbaar te zijn (lijn in het voorland). Deze lijn kan bijvoorbeeld worden gemaakt door per dijkpaal het stijghoogteverloop uit te lezen. Per dijkpaal kan vervolgens de spreidingslengte worden afgeleid;
- De spreidingslengte in het achterland is geen invoerwaarde. Deze spreidingslengte is verwerkt in het geohydrologisch model.
- “doorlatendheidDunneDeklaag”, “doorlatendheidDikkeDeklaag” en “grensDikte” zijn hulpmiddelen om de spreidingslengten in het achterland te bepalen. Deze worden dus niet gebruikt als “Geohydrologisch model” als methode is geselecteerd.

Analytisch

Kies deze methode als er geen geschikt geohydrologisch model beschikbaar is. De stijghoogte wordt in deze methode berekend op basis van “Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken” [ref. 1].

Aandachtspunten:

- De spreidingslengte in het voorland wordt in het tabblad “Ondergrondscenario’s” per dijkvak bepaald op basis van de dikte en doorlatendheid van het watervoerend pakket en de weerstand van de deklaag;
- De spreidingslengte in het achterland wordt bepaald op basis van de dikte en doorlatendheid van de deklaag (zie onderstaande instellingen). Deze berekende waarde kan in de “Ondergrondscenario’s” per dijkvak handmatig aangepast worden.
- “doorlatendheidDunneDeklaag”, “doorlatendheidDikkeDeklaag” en “grensDikte” zijn hulpmiddelen om de spreidingslengten in het achterland te bepalen. Zie hiervoor de beschrijving in het Excel-bestand.
- De doorlaatvermogen van het watervoerend pakket (kD) moet handmatig vastgesteld worden in de configuratie tabel. Zie hiervoor ook paragraaf 3.4. In deze paragraaf wordt voorgesteld om een verwachtingswaarde van de kD te hanteren. Door dit te combineren met een laag karakteristieke

waarde van de weerstand (c) van het voorland en een hoog karakteristieke waarde van de weerstand van het achterland wordt een goede karakteristieke bepaling van de stijghoogte gemaakt.

Karakteristieke waardebepaling spreidingslengte voorland

Naast de geohydrologische modelkeuze is het mogelijk om in de PipingTool een karakteristieke waarde voor de spreidingslengte in het voorland te bepalen.

Als gekozen wordt voor een karakteristieke waarde bepaling van de spreidingslengte in het voorland (Karakteristieke spreidingslengte voorland = "Ja") wordt de ingevoerde of berekende spreidingslengte doormiddel van een lognormale verdeling omgerekend naar een karakteristieke waarde. De gebruiker maar dus zelf de keuze of deze methode wordt toegepast. Het is natuurlijk ook mogelijk om de karakteristieke waarde handmatig te bepalen en rechtstreeks in de PipingTool in te voeren.

3.2 Data Dijkvakken

In dit tabblad kunnen algemene uitgangspunten per dijkvak worden ingesteld. De hier ingevulde data wordt gebruikt om het tabblad "ondergrondscenario's" te vullen.

De volgende parameters dienen te worden ingesteld:

- VakID [-]: wordt automatisch bepaald;
- Vaknaam [-]: de naam van het vak; deze kan zowel uit letters als cijfers bestaan;
- Bodemhoogte_vak [m NAP]: wordt gebruikt om de deklaagdikte te bepalen. De deklaagdikte wordt vervolgens gebruikt om de spreidingslengte in het achterland te bepalen aan de hand van de ingestelde doorlatendheid van de deklaag. Deze waarde is dus niet belangrijk indien de methode "Geohydrologisch model" is gekozen of als de achterland spreidingslengte handmatig wordt bepaald.
- Gamma_sat_deklaag_vak [kN/m³]: het gemiddelde verzadigde volumegewicht van de deklaag in het achterland. Wordt gebruikt in de opbarstberekening.
Let op! Omdat in veel situaties de faalkans per uittredepunt bepaald wordt door het mechanisme piping, is het handig om een eerste conservatieve schatting te gebruiken en achteraf na te gaan welke deelfaalmechanismen bepalen zijn voor de faalkans van het uittredepunt.
- Dikte_Pleistoceen_Zand [m]: in de PipingTool bestaat het watervoerendpakket uit zowel een holocene als een pleistoceen deel. De dikte van de holocene laag kan vastgesteld worden in het tabblad "ondergrondscenario's".
- k_Holocene_Zand [m/dag] en k_Pleistoceen_Zand [m/dag]: de doorlatendheid van het watervoerendpakket wordt zowel voor het pleistocene als het holocene zand vastgesteld. De doorlatendheid van het watervoerend pakket wordt bepaald op basis van een gewogen middelde.
Let op! Deze methode is alleen valide indien het holocene pakket minder doorlatend is dan het pleistocene pakket (schematiseringshandleiding piping [ref. 2]);
- Korrelgrootte D70 holocene [m] en Korrelgrootte D70 pleistoceen [m]: de korrelgrootte dient voor zowel voor de holocene als pleistocene zandlaag vastgesteld te worden. Afhankelijk van het ondergrondscenario wordt vervolgens de bijbehorende korrelgrootte geselecteerd.

3.3 Genereren Scenario's

Zoals in het tabblad staat aangegeven, kan de knop "Genereer ondergrondscenario tabel" gebruikt worden om de ondergrondscenario tabel in het volgende tabblad te genereren.

Er kunnen 1 tot 6 standaard scenario's worden ingesteld:

- De naam van deze scenario's (kolom B) is flexibel;
- In kolom C kan het scenariotype gekozen worden; kies '-' om een scenario niet te gebruiken.

Door op de knop "Genereer ondergrondscenario tabel" te klikken zullen in de tabel per dijkvak 6 scenario's worden aangemaakt.

Als de tabel Ondergrondscenario's is gegenereerd, is het mogelijk om in deze tabel de scenario's per dijkvak aan te passen. Het is echter niet de bedoeling om vanuit deze tabel scenario's toe te voegen of te verwijderen, dan wel de scenarionaam aan te passen.

Let op! Zoals ook in het tabblad staat aangegeven dient de knop "Genereer ondergrondscenario tabel" enkel gebruikt te worden voor het opzetten van de tabel. Bij het opnieuw genereren van de tabel zullen de invoerwaarden namelijk worden verwijderd.

3.4 Vaststellen ondergrondscenario's

In dit tabblad worden per dijkvak de ondergrondscenario's bepaald. Onderstaand zijn enkele parameters toegelicht.

- **Scenariotype [-]:** Pleistoceen, holoceen of tussenzandlaag scenario. De invoer heeft invloed op:
 - de top van het zand van het vak (Top_Zand_Vak [m NAP]).
 - Pleistoceen scenario Top_Zand_Vak = Top_Pleistoceen_zand
 - Holoceen en tussenzandlaag scenario Top_Zand_Vak = Top_Holoceen_zand
 - de dikte van het pleistocene zand (is gelijk aan 0 m bij een tussenzandlaag);
 - de toegepaste d_{70} -waarde (d_{70} pleistoceen of holoceen).
- **Scenariokans_vak [%]:** De totale kans van het vak moet gelijk zijn aan 100%.
- **Top_Holoceen_zand [m NAP]:** De bovenkant van het zand. Deze waarde is afgeleid uit grondonderzoek en moet door de gebruiker ingevuld worden. Je hoeft enkel de cellen te vullen waar een scenario van kracht is.
- **Top_Pleistoceen_zand [m NAP]:** Bovenkant van de pleistocene zandlaag. Deze kan afgeleid worden uit grondonderzoek en moet door de gebruiker ingevuld worden. Je hoeft enkel de cellen te vullen waar een scenario van kracht is.
- **Dikte_Holoceen_Zand [m]:** Wordt automatisch bepaald en is gelijk aan het verschil tussen Top_Holoceen_zand en Top_Pleistoceen_zand. Kan handmatig aangepast worden. Dit is bijvoorbeeld nodig bij een tussenzandlaag. Bij een tussenzandlaag vul je de dikte van de tussenzandlaag in.
- **k_WVP [m/dag]:** Deze waarde wordt automatisch ingevuld op basis van tabblad "Data Dijkvakken". Indien er bijvoorbeeld voor een tussenzandlaag een andere doorlatendheid geldt, moet deze handmatig aangepast worden.
- **kD_WVP [m²/dag]:** Deze kD-waarde wordt gebruikt indien gebruikt wordt gemaakt van de analytische methode. Op basis van deze waarde wordt de spreidingslengte (van het voorland en het achterland) en de stijghoogte berekend. Deze kolom moet helemaal gevuld zijn.
Let op! Een hoge kD-waarde resulteert in een hoge spreidingslengte. Door de gebruiker dient de afweging gemaakt te worden of gebruikt wordt gemaakt van de k en D uit de piping analyse of dat andere uitgangspunten worden gehanteerd.
- **Weerstand_C1_voorland [dagen]:** Op basis van deze waarde wordt de spreidingslengte in het voorland en hiermee de effectieve kwelweglengte bepaald. Deze kolom moet volledig ingevuld zijn (ook voor scenario's die niet worden gebruikt).
- **Weerstand_C3_achterland_handmatig [dagen]:** Als hier een waarde wordt ingevoerd wordt de automatisch berekende achterland spreidingslengte overschreven. De automatisch berekende

spreidingslengte is gebaseerd op de dikte en doorlatendheid van de deklaag. Deze parameter wordt enkel gebruikt in Geohydrologisch methodiek “Analytisch” (zie paragraaf 3.1.3).

- Geometrische_achterland_lengte [m]: Deze parameter wordt enkel gebruikt in Geohydrologisch methodiek “Analytisch” (zie paragraaf 3.1.3). Deze kolom moet volledig gevuld zijn.

3.5 Koppeling GIS data uitgangspunten

In het tabblad “InputsUittredepunten” worden beschikbare GIS-data gekoppeld aan de PipingTool. Deze koppeling wordt gemaakt door per eigenschap van de gekozen uittredepunten de bron (een pad naar een GIS-bestand) op te geven waaruit deze afgeleid wordt. Voor deze stap wordt aangeraden om het voorbeeld van een correct ingevulde configuratietabel te raadplegen.

Omdat de GIS-data vaak op één locatie (root folder/hoofdlocatie) staat opgeslagen is het mogelijk om in het tabblad “Bestandspaden” het bestandspad naar deze hoofdlocatie op te nemen. In het tabblad “InputsUittredepunten” hoeft vervolgens enkel het laatste deel van het bestandspad opgenomen te worden.

Onderstaand is per parameter aangegeven welke GIS-data de PipingTool nodig heeft om de piping berekening uit te kunnen voeren.

3.5.1 Uittredepunten feature class

Vanuit de PipingTool kan met tool 1a een lege punten feature class gegenereerd worden (zie 4.2 voor een uitleg van de user interface), welke in eerste instantie gebruikt kan worden om de locaties van de uittredepunten te digitaliseren.

Kiezen locaties uittredepunten

In de uittredepunten feature class kunnen in ArcMap de uittredepunten geklikt worden (met behulp van de standaard Editing tools), dan wel gekopieerd worden vanuit andere GIS-bestanden. Er wordt geadviseerd om langs het traject altijd handmatig te controleren of op alle mogelijk piping gevoelige locaties een uittredepunt aanwezig is. Dit zijn voorbeelden van locaties waar uittredepunten worden geadviseerd:

- Ter plaatse van de binnenteen;
- Ter plaatse van waarnemingen van zandmeevoerende wellen, kwel of een wel;
- Achter de inschatting van de nieuwe binnenteen. In een versterkingsproject is het vooral belangrijk om tot ver in het achterland uittredepunten te genereren zodat het effect van een ontwerp direct inzichtelijk wordt;
- Op plekken met een laag maaiveldniveau;
- Ter plaatse van sloten, watergangen, greppels en wielen;
- Ook op plekken die niet direct als potentieel risicovol zijn ingeschat zijn uittredepunten toegevoegd. Het doel hiervan is het verkrijgen van een vlak dekkend oordeel zodat onderscheid gemaakt kan worden tussen een lokaal probleem (bijvoorbeeld in een sloot) en een meer globaal probleem.

Vullen uittredepunten feature class

Na het kiezen van de locaties van de uittredepunten moeten de kolommen van de tabel gevuld worden met data. Per veld dient de afweging gemaakt te worden hoe de data wordt toegevoegd. Hiervoor zijn twee mogelijkheden:

1. Direct data toevoegen aan de uittredepunten feature class tabel;
2. De PipingTool koppelt de data automatisch aan de uittredepunten feature class.

1. Direct toevoegen van data

Maak in dit geval eerst een kopie van de door tool 1a aangemaakte uittredepunten feature class werk hierin verder. Bij het aanmaken van de feature class zijn er ook automatisch velden aangemaakt; deze kunnen handmatig worden gevuld (via de standaard Edit tools van ArcMap), of er kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van “Extract Values to points” of “SpatialJoin” uit de ArcMap tool box.

Als een of meer velden van de feature class op deze manier gevuld moeten worden, moet in de configuratietabel (tabblad “InputsUittredepunten”) bij dit veld verwezen worden naar het bestandspad van de gekopieerde uittredepunten feature class, waarin de edits gedaan zijn. Het “TypeKoppeling” is in dit geval altijd gelijk aan een “SpatialJoin”.

Het nadeel van deze methode is dat als er een nieuw uittredepunt wordt toegevoegd de data voor de in te vullen velden handmatig toegevoegd moet worden aan dit punt.

2. Automatisch koppelen van data

Naast de handmatige methode is het ook mogelijk om in de configuratietabel direct te verwijzen naar het bronbestand van de data. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om voor de stijghoogte data direct te verwijzen naar een stijghoogte raster uit een geohydrologisch model. De PipingTool zal vervolgens dit raster per uittredepunt uitlezen. Hiervoor moet gebruik worden gemaakt van het tabblad “InputsUittredepunten” in het configuratietabel Excel-bestand.

Beschrijving kolommen

De volgende kolommen zijn aanwezig in dit tabblad:

- **FieldName:** De naam het uitgangspunt wat ingevoerd wordt in de uittredepunten featureclass.
- **FieldType:** Het veldtype zoals toegepast wordt in de uittredepunten featureclass.
- **Alias:** Het alias van het uitgangspunten zoals toegepast in de uittredepunten featureclass.
- **Omschrijving:** De omschrijving van het uitgangspunt.
- **Bron:** De bron van het uitgangspunt. Deze kolom kan optioneel ingevuld worden zodat per uitgangspunt de bron vastgelegd kan worden.
- **TypeKoppeling:** De volgende koppelingen zijn mogelijk:
 - **SpatialJoin:** ruimtelijke koppeling van uittredepunten met andere punten of lijnen feature classes, met het doel om de waarden van een specifiek veld over te nemen;
 - **RasterWaarde:** het ophalen van de waarde van een raster ter plaatse van de uittredepunten.
- **InputBestand:** Het specifieke bestandspad naar de betreffende featureclass. Vul hier het volledige bestandspad in.
- **InputVeldnaam:** In dit veld dient de kolomnaam ingevoerd te worden welke overgenomen dient te worden in de uittredepunten featureclass. Indien een afstand tot bijvoorbeeld de intredelijn bepaald dient te worden dient “Distance” ingevoerd te worden.

Uitgangspunten en veldnamen

De volgende uitgangspunten kunnen ingevoerd worden in de uittredepunten featureclass:

- **VakID en Vaknaam:** Het nummer en de naam van het vak. Deze waarde moet overeenkomen met het VakID uit tabblad “DataDijkvakken” uit de configuratietabel.
- **Uittredelocatie:** Hier kan de locatie van het uittredepunt worden aangegeven (bijvoorbeeld: watergang, wiel of waarneming zandmeevoerende wel). Dit veld mag leeg worden gelaten.
- **Opmerking_uittredepunt:** Hier kan een opmerking worden toegevoegd aan het uittredepunt. Dit veld mag leeg worden gelaten.
- **Bodemhoogte [m NAP]:** er kan gebruikt worden gemaakt van bronnen zoals het AHN3.

Let op! In een hoogtemodel (bijvoorbeeld AHN3) is vaak de hoogte van de slootbodem niet ingemeten. Een te hoge bodemhoogte resulteert in een overschatting van de sterkte.

- **GeometrischeKwelweglengte:** De afstand van het uittredepunt naar het begin van het voorland. Voorstel: in de configuratietabel verwijzen naar een GIS-lijn met een SpatialJoin koppeling.
- **AfstandBuitenteen en AfstandBinnenteen:** de afstand van het uittredepunt naar de binnen-/buitenteen. Voorstel: in de configuratietabel verwijzen naar een GIS-lijn met een SpatialJoin koppeling.
- **AfstandGrensKritiekePipelengte:** Dit is de afstand tot waar de kritieke pipe mag doorgroeien. Volgens de schematiseringshandleiding piping [ref. 2] mag de kritieke pipe niet doorgroeien tot onder het voorland om uittrede van de pipe of extra toevoer van water naar de pipe te voorkomen. In dit geval is deze lijn gelijk aan AfstandBuitenteen. In het geval van bijvoorbeeld een dikke deklaag in het voorland is het echter mogelijk deze grens te verschuiven. Voorstel: in de configuratietabel verwijzen naar een GIS-lijn met een SpatialJoin koppeling.
- **AfstandSpreidingslengte:** Indien in de rekeninstelling (paragraaf 3.1.3) gekozen is voor methode “Geohydrologisch model” dient hier de spreidingslengte in het voorland te worden opgegeven. Voorstel: in de configuratietabel verwijzen naar een GIS-lijn met een SpatialJoin koppeling. Indien gekozen is voor geohydrologische methode “Analytisch” kan deze kolom leeg worden gelaten.
- **WBN:** De Waterstand Bij Norm. Deze waterstand dient te worden afgeleid voor het juiste zichtjaar (project specifiek). Deze dat kan bijvoorbeeld worden gekoppeld aan een dijpalen puntenbestand. Dit bestand kan vervolgens worden uitgelezen door de PipingTool doormiddel van een SpatialJoin.
- **Polderpeil:** De freatische waterstand ter plaatse van het uittredepunt onder WBN condities.
Let op! Deze waterstand kan tijdens een hoge rivierwaterstand vaak gelijk zijn aan de bodemhoogte. Dit is vaak echter niet het geval ter plaatse van watergangen en wielen.
Let op! WBN en het polderpeil worden gebruik om het aanwezige verval te bepalen. Voor het aanwezig verval (inclusief 0.3 d regel) wordt nu minimaal 0,01 m aangehouden. Dit om negatieve waarden te voorkomen. Zeer kleine of negatieve vervallen zijn in de praktijk mogelijk. Per project moet gecontroleerd worden of er veel vervallen voorkomen gelijk aan 0,01 m en of dit logisch is in dit specifieke project.
- **Stijghoogte_GeohydrologischModel:** Indien in de rekeninstelling (paragraaf 3.1.3) gekozen is voor methode “Geohydrologisch model” dient hier de stijghoogte uit dit geohydrologisch model te worden ingevoerd. Een directe koppeling in de configuratietabel met het stijghoogte GIS-raster heeft de voorkeur (koppeling RasterWaarde). Indien gekozen is voor geohydrologische methode “Analytisch” kan deze kolom leeg worden gelaten.
- **LOK_TOP_Z_HL:** De lokale top van het zand. Deze dient ingevuld te worden indien sprake is van een lokaal holocene scenario (zie paragraaf 3.5.2). Deze kan leeg (<Null>) worden gelaten indien geen sprake is van een lokaal scenario of enkel van een lokaal pleistoceen scenario.
- **LOK_TOP_Z_PL:** De lokale top van het zand. Deze dient ingevuld te worden indien sprake is van een lokaal pleistoceen scenario (zie paragraaf 3.5.2). Deze kan leeg (<Null>) worden gelaten indien geen sprake is van een lokaal scenario of enkel van een lokaal holocene scenario.
- **P_S1 t/m P_S6:** Hier dient in het geval van een lokaal scenario de scenariokans opgenomen te worden. De som van de kansen dient gelijk te zijn aan 100% en in dit geval 1.0 (0.1 = 10%, 0.9 = 90%); de tool valideert dit alvorens de berekening te starten. De exacte namen van de kolommen zijn overigens afhankelijk van de namen die in het tabblad ‘GenerereScenario’s’ ingevuld zijn.

3.5.2 Lokaal maken ondergrondscenario's

In paragraaf 3.4 is aangegeven hoe de ondergrondscenario's vastgesteld moeten worden per dijkvak. In voorgaande paragraaf is een koppeling gemaakt tussen de uittredepunten en de dijkvakken. Op deze manier zijn in ieder uittredepunt in een dijkvak dus dezelfde ondergrondscenario's aanwezig.

Vaak is door heterogeniteit van de ondergrond binnen het dijkvak de noodzaak aanwezig om deze ondergrondscenario's en/of top zand niveaus per uittredepunt aan te passen (lokaal te maken).

Per uittredepunt is het dus mogelijk om:

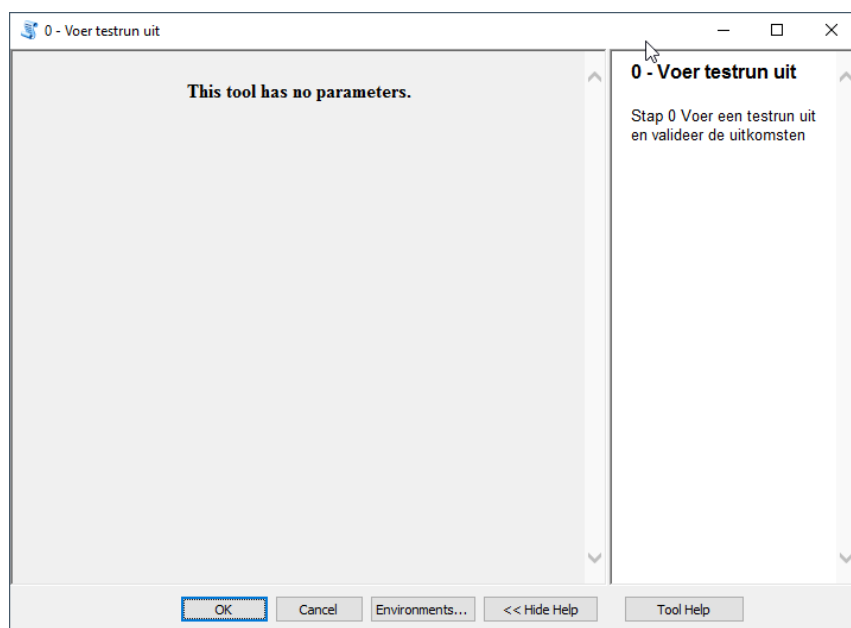
- De top van het zand aan te passen van het holocene (LOK_TOP_Z_HL) of pleistocene zand LOK_TOP_Z_PL (zie ook voorgaande paragraaf). Op deze manier is het dus bijvoorbeeld mogelijk om per uittredepunt de top van het zand op te geven van het dichtstbijzijnde grondonderzoekspunt.
Let op! Het is dus slechts mogelijk om per uittredepunt één top van het holocene en één top van het pleistocene zand op te geven. Indien het wenselijk is om lokaal meerdere toppen holocene of pleistoceen zand op te geven is dit enkel mogelijk via de configuratietabel "Ondergrondscenarios". In dit geval is het aan te raden om een extra dijkvak aan te maken of een dijkvak op te delen in sub dijkvakken.
Let op: Bij het lokaal maken van de ondergrondscenario's wordt de dikte van de holocene zandlaag niet aangepast. De dikte van de holocene zandlaag wordt overgenomen uit het ondergrondscenario tabblad uit de configuratietabel.
- De scenariokans van de ondergrondscenario's aan te passen.
Let op! Het gaat hierbij dus enkel om het aanpassen van de scenariokans. Indien er lokaal een nieuw ondergrondscenario aanwezig is dient deze ook gedefinieerd te worden bij het desbetreffende vak in de configuratietabel ("Ondergrondscenarios"). In de configuratietabel kan de scenariokans vervolgens gelijk worden gesteld aan 0%.

4 Runnen van tools in de Piping Tool box

De Python Tool box van de PipingTool bevat een viertal tools. De user interface en de werking van de tools worden onderstaand beschreven.

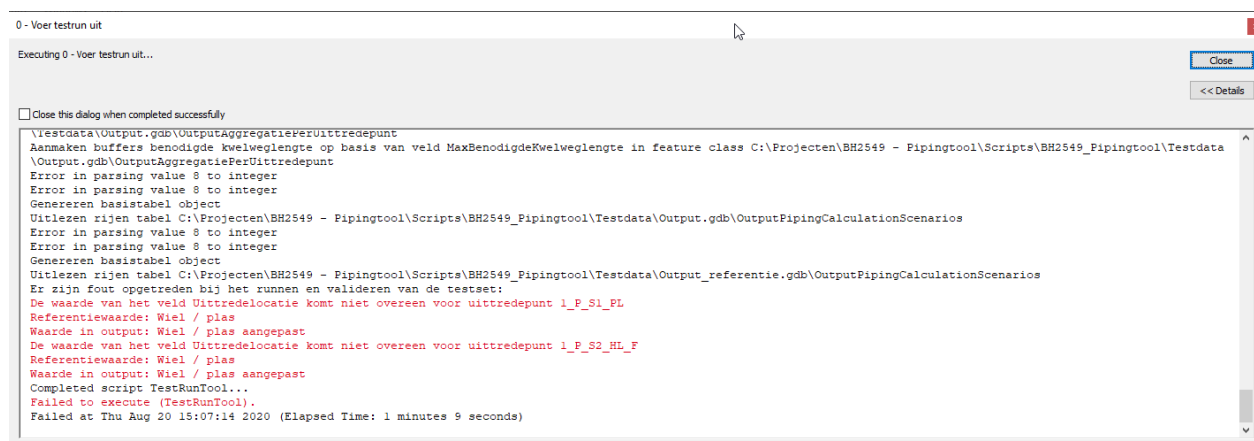
4.1 Uitvoeren testrun

Deze tool kan na installatie van de tool box gerund worden om te controleren of de installatie geslaagd is, en of de benodigde Python libraries aanwezig zijn op de PC waarop deze gedraaid wordt.



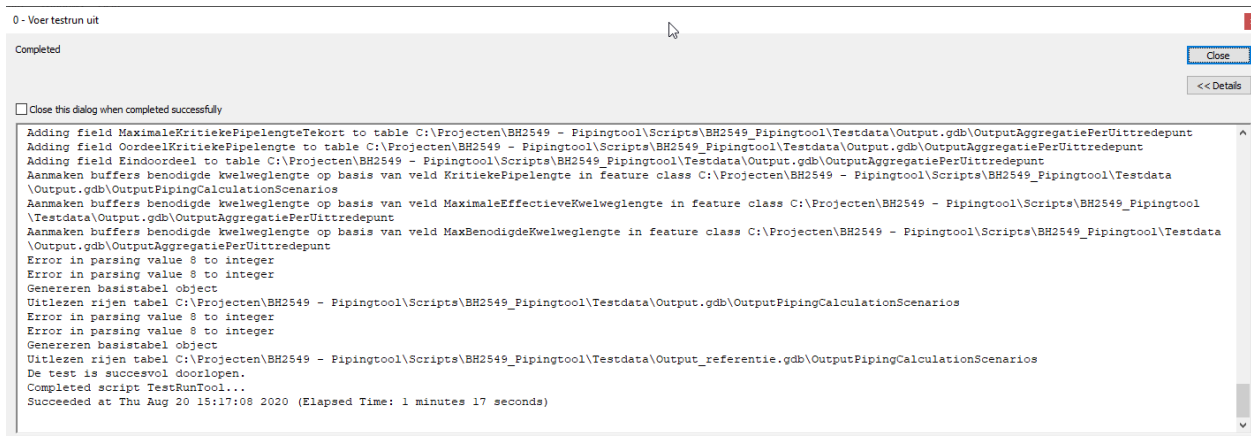
Figuur 7: Weergave van de testrun-tool

In deze tool hoeft de configuratietabel verder niet ingevuld te worden. Bij het runnen van deze tool wordt de piping berekening uitgevoerd voor een vaststaande testset met uittredepunten, waarna de resultaten getoetst worden aan een (eveneens vaststaande) set uitkomsten. Als de uitkomsten in één of meer rijen niet overeen komen met de verwachte uitkomsten, worden er foutmeldingen gegenereerd. Deze verschijnen als rode teksten in het log venster van ArcMap:



Figuur 8: Voorbeeld van een resultaat van de testrun-tool indien een foutmelding wordt weergegeven.

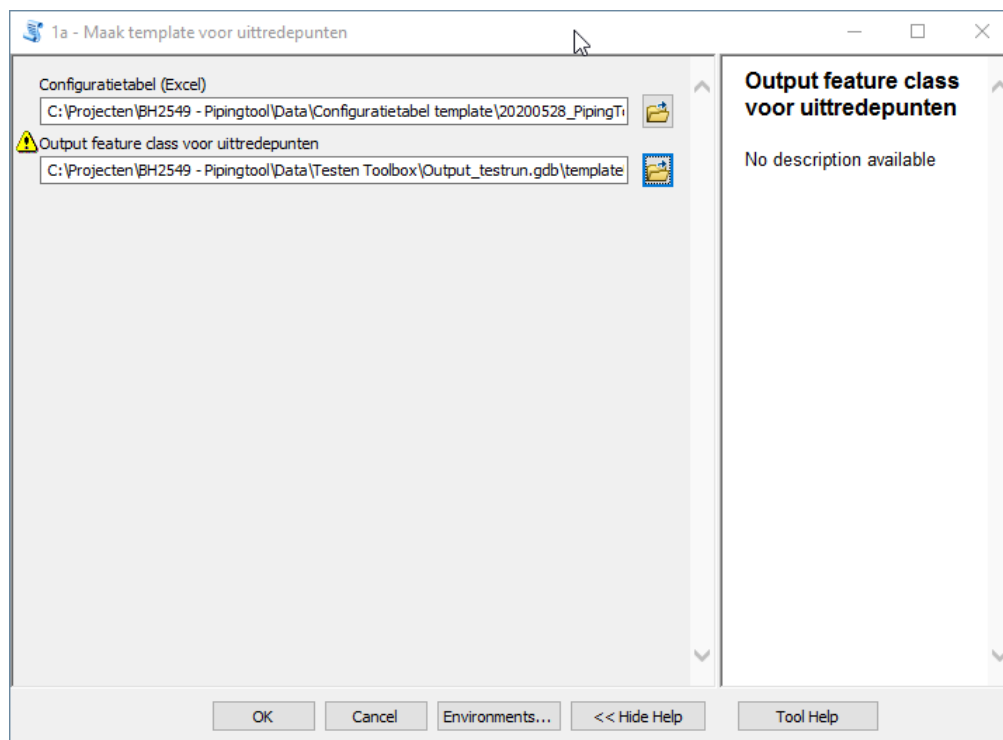
Als de test wel succesvol doorlopen is, wordt dit in een van de laats regel van de log gemeld:



Figuur 9: Voorbeeld van een resultaat van de testrun-tool indien de tool succesvol wordt doorlopen.

4.2 Maken template voor uittredepunten

Met deze tool kan een lege point feature class gemaakt worden, die gebruikt kan worden om de locaties van uittredepunten te kiezen, en per uittredepunt de benodigde eigenschappen in te vullen.

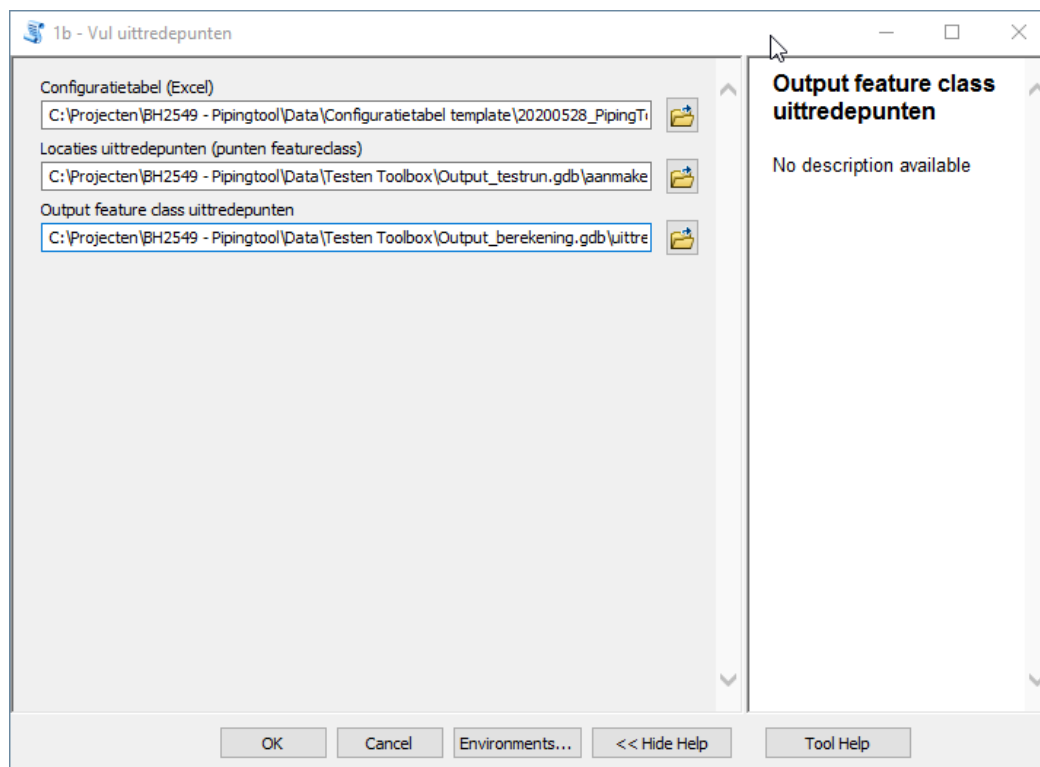


Figuur 10: Voorbeeld tool box “Maak template voor uittredepunten”.

Geef hierbij als eerste invoer het pad naar een configuratielabel op. In deze versie van de configuratielabel hoeven er (uiteraard) nog geen paden naar GIS-bestanden ingevuld te zijn. Als tweede argument moet het pad naar de uitvoer (een nog niet bestaande punten feature class) opgegeven worden.

4.3 Vullen uittredepunten

Het doel van tool 1b is het koppelen van de informatie uit GIS-bestanden aan een set uittredepunten. Zoals beschreven is in paragraaf 3.5, wordt in de configuratietabel per eigenschap van de uittredepunten ingevuld wat de bron van deze informatie is. Als deze koppeling gereed is, kan tool 1b gerund worden.



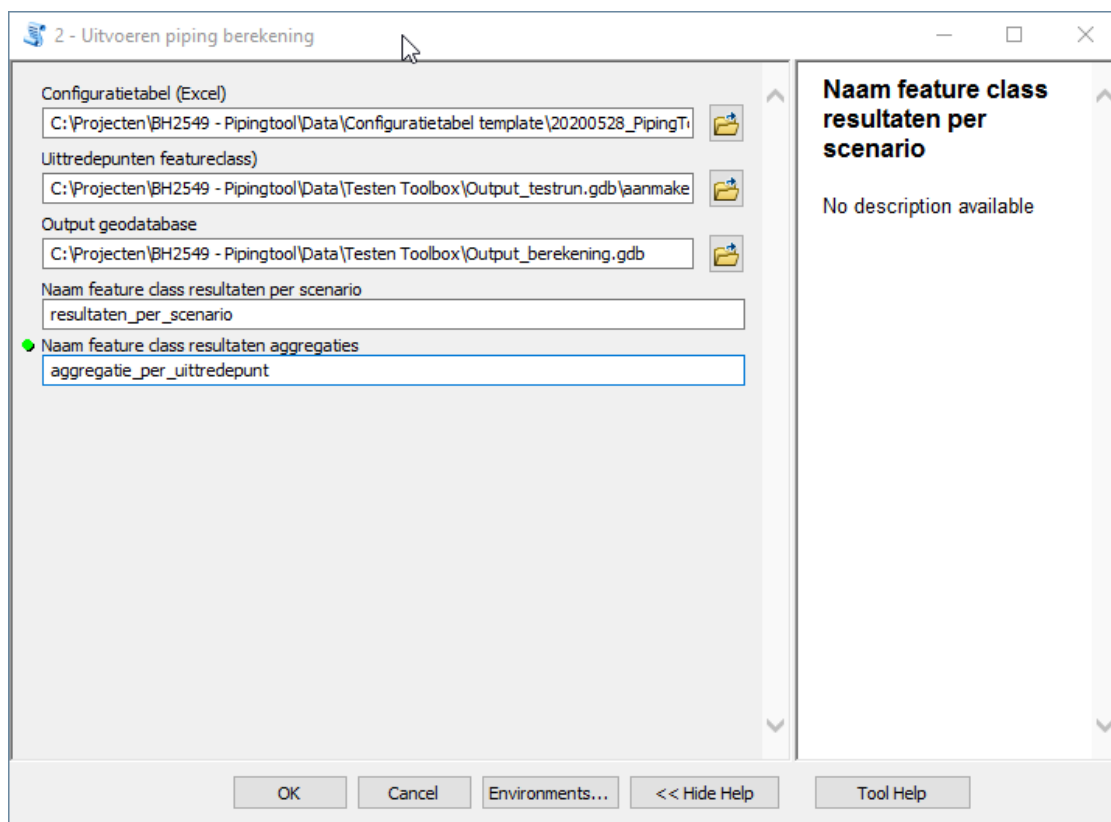
Figuur 11: Voorbeeld tool “Vul uittredepunten”.

Geef de volgende inputs op bij het runnen van deze tool:

- Configuratie tabel (Excel): pad naar ingevulde configuratie tabel;
- Locaties uittredepunten: pad naar punten feature class waarin de locaties van de uittredepunten vastgelegd zijn;
- Output feature class uittredepunten: pad naar output waarin de resultaten van de GIS-koppelingen opgeslagen worden.

4.4 Uitvoeren piping berekening

Met tool 2 wordt ten slotte de daadwerkelijke piping berekening uitgevoerd:



Figuur 12: Voorbeeld tool "Uitvoeren piping berekening".

Vul hierbij de volgende inputs in:

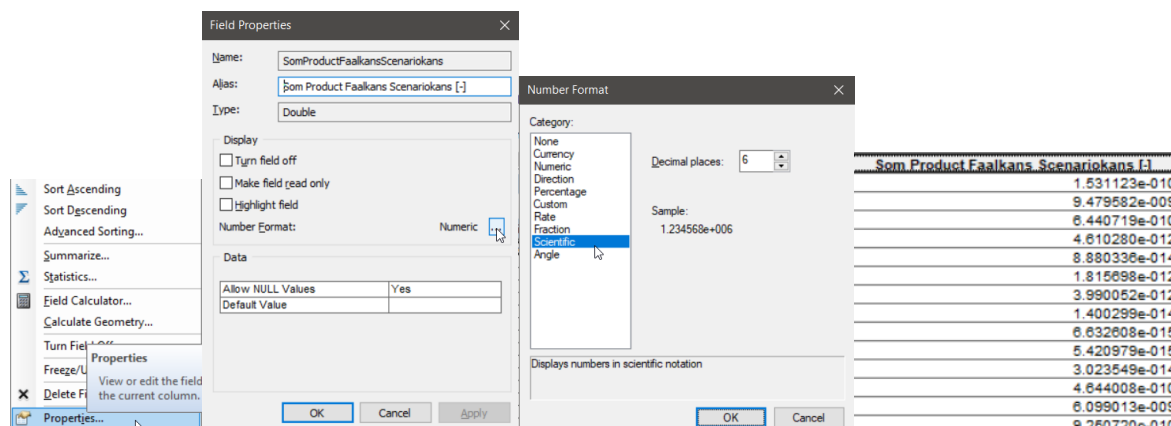
- Configuratietablel (Excel): pad naar ingevulde configuratietablel;
- Uittredepunten featureclass: pad naar uittredepunten feature class met gekoppelde GIS-data (resultaat tool 1b);
- Output geodatabase: geodatabase waarin de uitkomsten van de berekening (resultaten per uittredepunt per scenario en geaggregeerde resultaten per uittredepunt) weggeschreven worden;
- Naam feature class resultaten per scenario: naam van de output feature class waarin de resultaten per uittredepunt en per scenario weggeschreven worden;
- Naam feature class aggregaties: naam van de output feature class waarin de geaggregeerde resultaten per uittredepunt weggeschreven worden.

Foutmeldingen komen vaak voort uit een foutief gekoppelde 'Uittredepunten featureclass'. Check de attributetablel van deze featureclass om te zien of alle cellen gevuld zijn van de kolommen die nodig zijn voor de berekening. Een <Null> in de attributetablel veroorzaakt vaak een fout.

- Aggregatie per uittredepunt: feature class tabel met de aggregatie van de verschillende ondergrondscenario's. Dit is het eindresultaat van de berekening.
- Rekenresultaat per scenario: feature class tabel met de rekenresultaten per uittredepunt en ondergrondscenario.
- OutputBufferMaxKwelweglengte: de in rekening gebrachte kwelweglengte
- OutputBufferMaxBenodigdeKwelweglengte: de maximale minimaal benodigde kwelweglengte. Voor ieder ondergrondscenario zijn andere uitgangspunten aanwezig. Elk ondergrondscenario heeft dus een andere minimaal benodigde kwelweglengte waarbij het scenario voldoet aan de faalkanseis.
- OutputBufferKritiekePipelengte: de kritieke pijplengte. Hoe deze lengte wordt bepaald is omschreven in paragraaf 3.1.2 en het achtergrondrapport [ref. 5].

[illegible]

1. In de GIS-tabel: Rechtermuis op de betreffende kolomveld → klik op “Properties”;
2. Klik op “Numeric”;
3. Klik op “Scientific” in dit venster is het ook mogelijk om het aantal decimalen aan te passen;



Figuur 14: De te doorlopen stappen om numerieke weergave om te zetten naar een wetenschappelijke weergave.

Buffers

De in rekening gebrachte kwelweglengte, minimaal benodigde kwelweglengte en kritieke pipelengte worden berekend per uittredepunt. Deze afstanden worden vervolgens visueel gemaakt door de berekende afstand als een buffer uit te zetten om alle uittredepunten. Al deze buffers worden vervolgens samengevoegd tot een grote buffer. Het resultaat is één groot vlak. Van dit grote vlak is enkel de omhullende in het voorland relevant. In onderstaande figuur is dit visueel weergegeven.



Figuur 15: gegenereerde buffers van de minimaal benodigde kwelweglengte (blauw) en de kritieke pipelengte (groen). Links: buffer, recht: uitgewerkte voorlandlijn

In ArcMap is het mogelijk om met de tool "Polygon To Line" (advanced licence) de buffer om te zetten naar lijnen. Deze lijnen zijn vervolgens op te knippen tot de gewenste lengte.

A1 Referenties

1. TR_26, Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken 2004. TAW
2. WBI 2017 - Schematiseringshandleiding piping, 28 november 2019. Ministerie van Infrastructuur en Water
3. Hoofdrapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R001-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
4. Validatierapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R003-F1.0, Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
5. Achtergrondrapport PipingTool, 28-10-2020, T&P-BH2549-R002-F1.0., Waterschap Rivierenland en Royal HaskoningDHV.
6. Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, ORZW2012, Definitief, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2012.

A5 Review Adviesteam Dijkontwerp

Van Adviesteam Dijkontwerp
Door Jan-Kees Bossenbroek, Jan Blinde, Cor Bisschop
Betrokken Ruben Jongejan
Review Bob van Bree
Kopie aan Andries Nederpel (WSRL)
Datum 24-12-2020
Versie AD-advies 54-001-1.0-review pipingtool-definitief
Onderwerp Review pipingtool

1. Vraag

Waterschap Rivierenland (WSRL) heeft voor de beoordeling en het ontwerp van primaire waterkeringen een tool ontwikkeld waarmee de kans op het optreden van het faalmechanisme piping kan worden bepaald. Deze PipingTool is een tool in ArcMap en gebaseerd op de methode Sellmeijer. De tool volgt dezelfde veiligheidsbenadering als het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI2017) en het Ontwerpinstrumentarium OI2014v4.

WSRL wil draagvlak creëren voor de tool, om vervolgens de tool landelijk beschikbaar te stellen. Het waterschap heeft het Adviesteam Dijkontwerp daarom gevraagd de PipingTool te reviewen.

Het Adviesteam heeft de documenten die horen bij de PipingTool versie 1.0 ontvangen. Dit betreft een hoofdrapport met drie bijbehorende documenten als bijlage:

- [1] *Hoofdrapport PipingTool*. Ref T&P-BH2549-R001-F1.0. Versie 1.0, Definitief. 30 oktober 2020
- [2] *Achtergrondrapport PipingTool*, Ref. T&P-BH2549-R002-F1.0, Definitief 1.0. 30 oktober 2020.
- [3] *Gebruikershandleiding PipingTool*. ref T&P-BH2549-R004-F1.0. Definitief 1.0. 30 oktober 2020.
- [4] *Validatierapport PipingTool*. Ref T&P-BH2549-R003-F1.0. Definitief 1.0. 30 oktober 2020.

2. Review PipingTool

Het Adviesteam heeft de documentatie die hoort bij de PipingTool gelezen. De PipingTool zelf is door het Adviesteam niet getest. De review is dus gebaseerd op de documentatie die is aangeleverd. De bevindingen, aanbevelingen en aandachtspunten uit de review zijn hieronder verwoord.

2.1 Korte beschrijving PipingTool

De PipingTool is een tool in ArcMap gebaseerd op de rekenregel van Sellmeijer. Binnen het WBI of in een ontwerp worden deze berekeningen uitgevoerd met Riskeer of met behulp van een spreadsheet. De PipingTool onderscheidt zich van deze methoden doordat er met deze tool geen enkele 2D dwarsdoorsnede per dijkvak wordt getoetst maar een groot aantal automatisch gegenereerde 2D-doorsneden voor opgegeven potentiële uittredepunten. In de tool kan elk gewenst uittredepunt worden gedefinieerd. Voor ieder uittredepunt wordt door de PipingTool automatisch de kortste afstand naar bijvoorbeeld de intredelijn bepaald om de 2D-doorsnede te genereren. Met de tool worden per uittredepunt dus de kortste kwellengtes doorgerekend. Door een veelvoud aan berekende uittredepunten ontstaat een gebiedsdekkend beeld van aandachtslocaties en de kans op piping.

2.2 Bevindingen

Uit de documentatie blijkt dat de tool inhoudelijk nauw aansluit bij het WBI en OI en gebaseerd is op dezelfde theoretische uitgangspunten en formules. Het Adviesteam is daarom van mening dat deze tool prima kan worden toegepast bij beoordeling en ontwerpen van waterkeringen. Het Adviesteam ziet de meerwaarde van de tool met name in het vlakdekkend inzicht krijgen in de pipingproblematiek. Met de tool kunnen de locaties in beeld worden gebracht die het meest pipinggevoelig zijn en welke locaties als niet-pipinggevoelig kunnen worden aangemerkt.

Met de PipingTool kunnen gestructureerd veel situaties worden doorgerekend. Omdat de tool gebaseerd is op het WBI zijn de resultaten op doorsnedeniveau, bij dezelfde aannames en uitgangspunten, identiek aan de resultaten die zijn berekend met Riskeer of met een goed gevalideerde spreadsheet. Dit vindt het Adviesteam een verstandige opzet en maakt een landelijke uitrol van de tool eenvoudiger.

Het automatiseren van rekenprocessen en het uitvoeren van veel berekeningen in een batch nodigt vaak uit tot generieke modelinvoer. Het gevaar hiervan is dat lokale situaties waar maatwerk noodzakelijk is, te conservatief worden berekend. Het Adviesteam onderschrijft daarom het belang van lokaal inzicht in de situatie en het lokaal schematiseren zoals dat is verwoord in paragraaf 2.2 van het Achtergrondrapport [2].

Het Adviesteam waardeert de zorgvuldige opzet en transparante documentatie van de PipingTool. Wat opvalt is de heldere achtergronddocumentatie, de duidelijke gebruikershandleiding en de uitgebreide validatie. Goed dat een dergelijke tool zo zorgvuldig wordt geïntroduceerd.

2.3 Aanbevelingen

Het Adviesteam heeft drie aanbevelingen bij gebruik en verder ontwikkelen van de tool. Deze zijn hieronder beschreven.

- **Toepassingsgebied**
De gedetailleerde toetsregel van Sellmeijer heeft een beperkt toepassingsgebied. De PipingTool is daarom alleen toepasbaar voor het gebied waar de semi-probabilistische regel van Sellmeijer toepasbaar is. Voor omstandigheden die niet passen bij de gedetailleerde rekenregel is de tool wellicht niet het meest geschikte instrument om de

faalkans te bepalen. Het Adviesteam adviseert daarom om in de gebruikershandleiding duidelijk aan te geven dat de tool alleen toepasbaar is binnen het geldigheidsbereik van de regel van Sellmeijer.

- **Geautomatiseerd rekenen**

Met de PipingTool worden veel locaties geautomatiseerd doorgerekend. Fouten in de invoer of in de programmering werken daardoor structureel door in de uitkomsten. Hier dient dus voorzichtig mee te worden omgegaan. Dit geldt met name als de PipingTool wordt ingezet buiten de context waarbinnen deze is ontwikkeld (bijv. andere gebruiker, ander gebied). Het Adviesteam adviseert daarom om bij toepassing van de tool gedurende het rekenproces steekproefsgewijs controleberekeningen uit te voeren.

- **Assemblage**

In het achtergrondrapport (H4 in [2]) is beschreven hoe omgegaan wordt met de assemblage. Het betreft hier de assemblage van verschillende scenario's. Assemblage van de faalkans op doorsnedeniveau naar de faalkans op vakniveau en assemblage van vakniveau naar trajectniveau is hier niet beschreven. Het Adviesteam adviseert om dit bij potentiële nieuwe gebruikers duidelijk onder de aandacht te brengen en dit punt inhoudelijk verder uit te werken.

2.4 Overige opmerkingen

Tot slot heeft het Adviesteam nog twee kleine opmerkingen.

- **Verschillen met huidige werkwijze**

In de documentatie zijn een aantal verschillen beschreven tussen de werkwijze van de PipingTool en de huidige werkwijze (conform WBI). Veel van de benoemde verschillen zijn echter schematiseringskeuzes die ook bij de huidige werkwijze kunnen worden toegepast en dus niet exclusief horen bij de PipingTool. Een voorbeeld hiervan is de keuze om analyses uit te voeren in dwarsprofielen loodrecht op de dijk (par. 2.5 in [2]). In de PipingTool wordt gerekend met het kortste pad naar het uittredepunt. Deze schematiseringskeuze kan ook los van de PipingTool worden gemaakt.

- **Correlatie**

Het begrip correlatie wordt in het achtergrondrapport [2] gebruikt in de zin van een realistische combinatie van parameters, zoals maaiveldhoogte en kwelweglengte. Strikt genomen is hier geen sprake van correlatie tussen parameters. Correlatie is namelijk een maat die de statistische samenhang tussen twee variabelen weergeeft.

3. Conclusies en aanbevelingen

Het Adviesteam waardeert de zorgvuldige opzet en transparante documentatie van de PipingTool en ziet een meerwaarde in het verkrijgen van vlakdekkend inzicht in de pipingproblematiek in een gebied. Het Adviesteam heeft drie concrete adviezen:

1. Geef duidelijk aan in de gebruikershandleiding wat het toepassingsgebied is van de tool, zodat potentiële gebruikers nadenken over de toepasbaarheid van de tool in hun specifieke situatie.
2. Voer steekproefsgewijs controleberekeningen uit gedurende het rekenproces bij toepassing van de tool.
3. Maak aan gebruikers duidelijk dat assemblage van de faalkans op doorsnedeniveau naar de faalkans op vakniveau en assemblage van vakniveau naar trajectniveau geen onderdeel is van de tool en werk dit punt inhoudelijk verder uit in een volgende versie van de tool.