

## NOTITIE

Aan:  
 Kopie:  
 Project: Uitmonding Zijtak Ur  
 Titel: Zijtak Ur Definitief ontwerp  
 Referentie: DO-MMU-ENG-0424-3  
 Versie: 3  
 Status: Definitief  
 Datum: 01-03-2021

### Revisie geschiedenis

| Revisie | Datum:     | Opgesteld door: | Wijzigingen:                            |
|---------|------------|-----------------|-----------------------------------------|
| A       | 04-12-2020 |                 | -                                       |
| 1       | 17-12-2020 |                 | Interne opmerkingen verwerkt            |
| 2       | 05-02-2021 |                 | Externe opmerkingen verwerkt            |
| 3       | 01-03-2021 |                 | Verschuiving grens 90/250 mm en 5-40 kg |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |
|         |            |                 |                                         |

### Controle status

|               | Naam: | Datum:     | Paraaf: |
|---------------|-------|------------|---------|
| Opgesteld:    |       | 12-03-2021 |         |
| Tweede lezer: |       | 12/3/2021  |         |
| Geaccordeerd: |       | 30-4-2021  |         |
| Vrijgave:     |       | 30-04-'21  |         |

| <b>INHOUD</b>                                                 | <b>blz.</b> |
|---------------------------------------------------------------|-------------|
| 1 INLEIDING                                                   | 1           |
| 1.1 Doel van de notitie                                       | 1           |
| 1.2 Leeswijzer                                                | 1           |
| 2 ONTWERP                                                     | 2           |
| 2.1 Doorsnedes langs het tracé                                | 2           |
| 2.1.1 Tracé 0 m tot 60 m                                      | 2           |
| 2.1.2 Tracé 60 m tot 122 m                                    | 2           |
| 2.2 Uitstroming                                               | 3           |
| 3 RESULTAAT VOORONDERZOEKEN                                   | 4           |
| 3.1 Sterkte leiding                                           | 4           |
| 3.1.1 Eigenschappen buis                                      | 4           |
| 3.1.2 Beschouwing sterkte                                     | 4           |
| Bovenbelasting                                                | 4           |
| Grensdekking                                                  | 4           |
| Funderingslaag                                                | 5           |
| 3.1.3 Conclusie                                               | 5           |
| 3.2 Afvoer leiding                                            | 5           |
| 3.2.1 Uitgangspunten                                          | 5           |
| 3.2.2 Resultaten                                              | 6           |
| 4 BESCHERMINGSCONSTRUCTIE LEIDING                             | 8           |
| 4.1 Hydraulische uitgangspunten                               | 8           |
| 4.1.1 Hydraulische uitgangspunten in de rivier                | 8           |
| 4.1.2 Hydraulische uitgangspunten van de uitstroomconstructie | 9           |
| 4.2 Materialen                                                | 10          |
| 4.3 Verificatie steenbestorting                               | 11          |
| 4.3.1 Bescherming tegen rivierstroming                        | 12          |
| 4.4 Bescherming tegen stroming uit de leiding                 | 12          |
| 4.5 Geotextiel                                                | 13          |

## FIGUREN

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1-1: Indicatie verloop leiding .....                                                                                                         | 1  |
| Figuur 2-1 Doorsnede tracé 0 tot 60 m .....                                                                                                         | 2  |
| Figuur 2-2 Doorsnede tracé 60 tot 122 m .....                                                                                                       | 3  |
| Figuur 2-3 Ontwerp bij uitstroming .....                                                                                                            | 3  |
| Figuur 3-1 Impressie vlakke voetbuis inwendige diameter 1800 mm .....                                                                               | 4  |
| Figuur 3-2 Q-h relatie Maas .....                                                                                                                   | 5  |
| Figuur 3-3 Capaciteit afvoer voor huidige situatie en ontwerp (zwarte lijn piekafvoer Sitech) .....                                                 | 6  |
| Figuur 3-4 Uitstroomsnelheid voor huidige situatie en ontwerp .....                                                                                 | 7  |
| Figuur 4-1 Bovenaanzicht project locatie met de optredende stroomsnelheden en de locatie van de pijpleiding.....                                    | 8  |
| Figuur 4-2 het langspoorprofiel waar de pijpleiding boven het maaiveld komt (blauw = waterstand, groen = bodemprofiel, rood = stroomsnelheid) ..... | 9  |
| Figuur 4-3 Schematische weergave van het stroombeeld bij de uitstroom in de rivier.....                                                             | 10 |
| Figuur 4-4 Stroomsnelheid als functie van de afstand van de uitstroomconstructie.....                                                               | 10 |

## TABELLEN

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3.1 Varianten debieten/waterstanden .....                    | 5  |
| Tabel 3.2 Resultaten berekeningen .....                            | 6  |
| Tabel 4.1 Uitgangspunten pijpleiding .....                         | 9  |
| Tabel 4.2 Standaard steengraderingen.....                          | 11 |
| Tabel 4.3 Parameters voor Pilarczyk formule .....                  | 11 |
| Tabel 4.4 Verificatie bodembescherming t.a.v. rivierstroming ..... | 12 |
| Tabel 4.5 Verificatie bodembescherming t.a.v. uitstroming .....    | 13 |

## BIJLAGEN

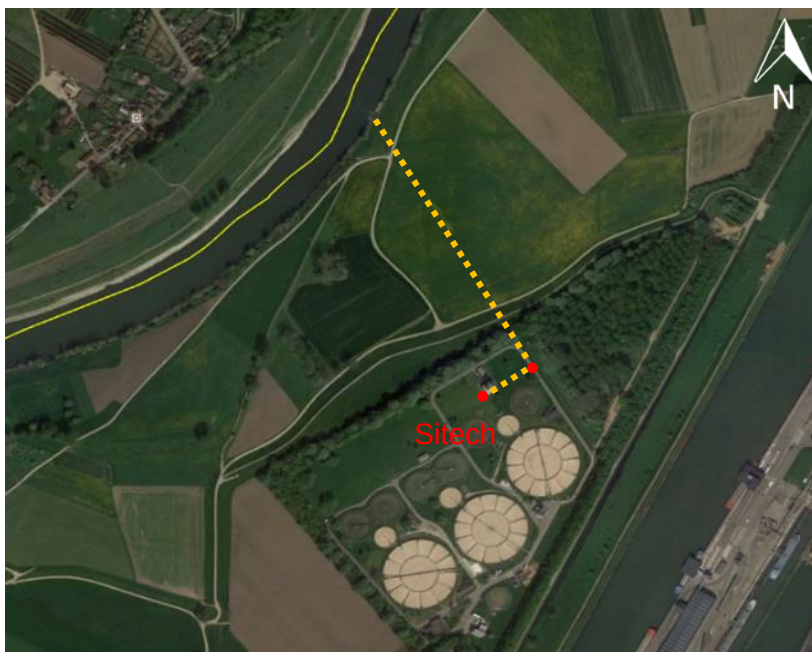
|                              |
|------------------------------|
| I Ontwerptekening            |
| II Berekening rivierstroming |
| III Berekening uitstroming   |



## 1 INLEIDING

In de Zijtak Ur ligt ter hoogte van Maasband een leiding van Waterschapsbedrijf Limburg (WBL) waar Sitech continu effluent op de rivier loost. Voorwaarde vanuit de vergunning van het lozen is dat de lozing in het watervoerende zomerbed van de Maas plaatsvindt. Als gevolg van rivierverruiming (opgave Grensmaas) moet de lozingsleiding worden verlengd en dieper worden aangelegd.

In Figuur 1-1 is een indicatie van het verloop van de lozingsleiding weergegeven vanaf Sitech.



**Figuur 1-1: Indicatie verloop leiding**

### 1.1 Doel van de notitie

Deze notitie geeft het definitieve ontwerp van de lozingsleiding en bijbehorende constructies. De onderbouwing voor de verschillende ontwerpaspecten is opgenomen in de onderliggende notities:

- Afvoerberekeningen: DO-MMU-ENG-0411-3
- Sterkte betonnen leiding: DO-MMU-ENG-0420-2

De conclusies van bovenstaande notities zijn samengevat in voorliggende notitie.

### 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het ontwerp gepresenteerd. De resultaten uit de vooronderzoeken voor de afvoer en sterkte van de leiding zijn opgenomen in hoofdstuk 3. Vervolgens is het ontwerp van de bescherming van de leiding behandeld in hoofdstuk 4.

## 2 ONTWERP

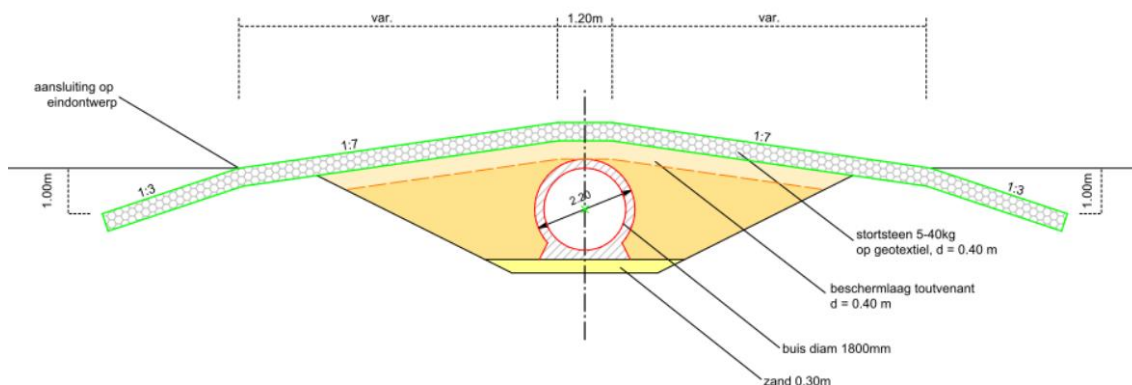
In bijlage I is de ontwerptekeningen opgenomen waarop het tracé en de opbouw is uitgewerkt. Voor de leesbaarheid van deze notitie is de opbouw van de doorsnedes langs het tracé en ontwerp nabij de uitstroomopening in dit hoofdstuk uitgelicht.

### 2.1 Doorsnedes langs het tracé

#### 2.1.1 Tracé 0 m tot 60 m

Van de uitstroomopening tot 60 m ligt de leiding het dichtst bij het zomerbed en zijn is de hydraulische belasting het hoogst. Voor een hydraulische gladde aansluiting (ter verlaging van turbulentie) zijn hier taluds van 1:7 gehanteerd. Voor een robuuste aansluiting loopt aan de randen de steenbestorting onder een helling van 1:3 door tot 1 m onder het maaiveld. In Figuur 2-1 is de dwarsdoorsnede getoond die als volgt is opgebouwd van boven naar beneden:

- Gradering 5-40 kg, laagdikte 0,40 m
- Geotextiel
- 0,40 m toutvenant
- Leiding, type vlakke voetbuis met interne diameter 1800 mm
- Zandbed, laagdikte 0,30 m

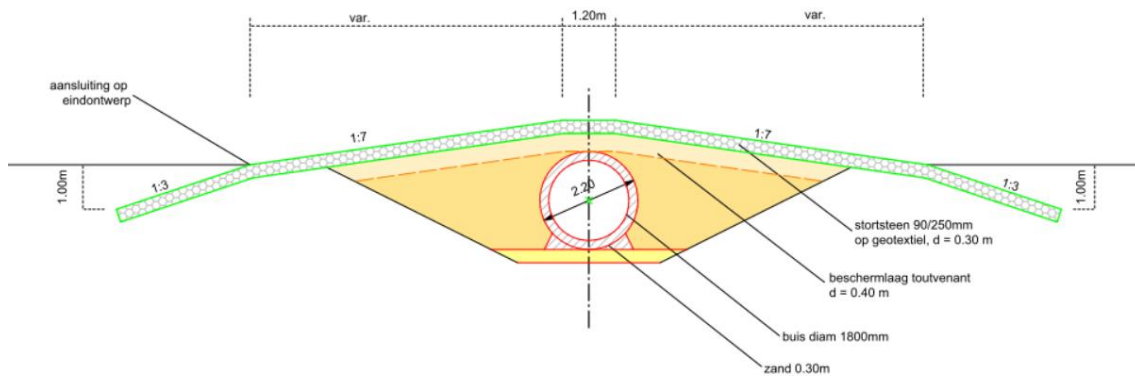


Figuur 2-1 Doorsnede tracé 0 tot 60 m

#### 2.1.2 Tracé 60 m tot 122 m

Vanaf 60 m van de uitstroomconstructie tot 122 m is de hydraulische belasting lager. De stroomsnelheden nemen hier af waardoor de lichtere gradering 90/250 mm toepasbaar is. Voor een robuuste aansluiting loopt aan de randen de steenbestorting onder een helling van 1:3 door tot 1 m onder het maaiveld. In Figuur 2-2 is de dwarsdoorsnede getoond die als volgt is opgebouwd van boven naar beneden:

- Gradering 90/250 mm, laagdikte 0,30 m
- Geotextiel
- 0,40 m toutvenant
- Leiding, type vlakke voetbuis met interne diameter 1800 mm
- Zandbed, laagdikte 0,30 m

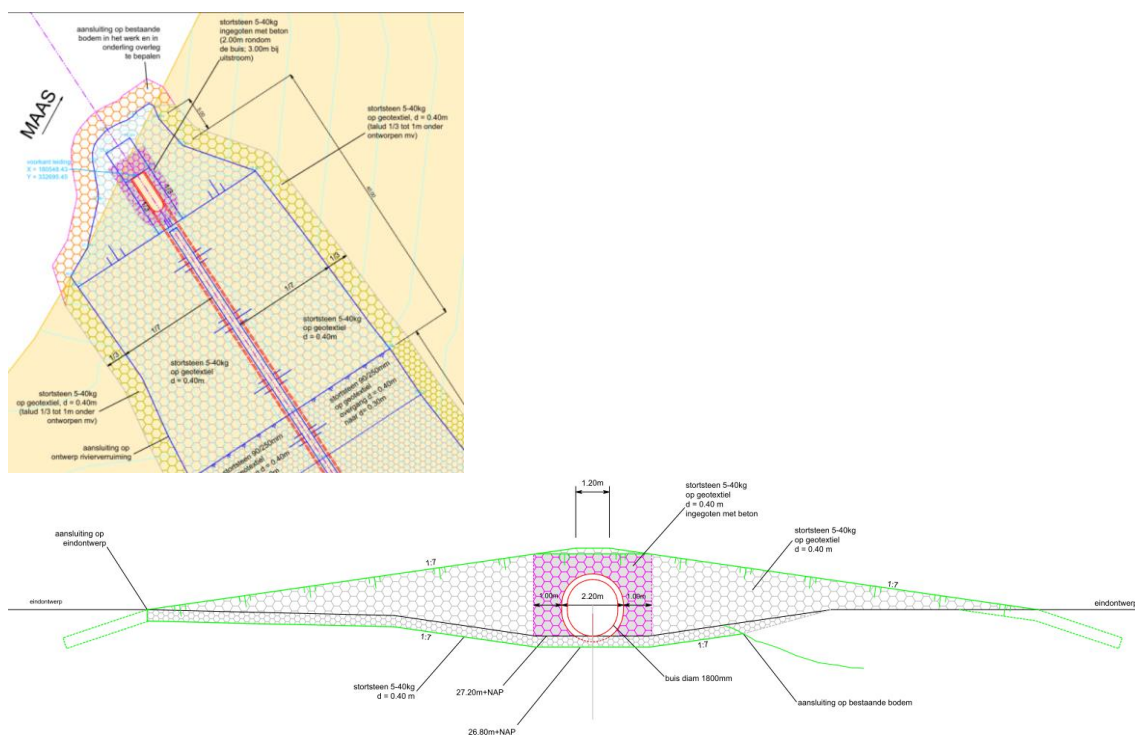


**Figuur 2-2 Doorsnede tracé 60 tot 122 m**

## 2.2 Uitstroming

Bij de uitstroming is vanaf de voet van de buis een insteeklijn van 1:3 landwaarts gemaakt om het hoogte verschil tussen de onderkant van de buis en de bovenkant van de bescherming op te vangen. De buis is hier ook onder een helling van 1:3 doorsneden. Rondom de leiding is over een breedte van 2 m beton aangebracht om een goede aansluiting te creëren, in de stroomrichting van de buis is dit 3 m. Hierna is overgegaan op een oplossing met breuksteen 5-40 kg. Het ontwerp is getoond in Figuur 2-3 en hieronder beschreven:

- Rondom uitstroomleiding
  - Breuksteen met gradering 5-40kg, 0,40 m gepenetreerd met 130 l/m<sup>2</sup> beton (vol en vol gepenetreerd)
  - Toutvenant 0,40m;
  - Geotextiel.
- Overige delen
  - Breuksteen met gradering 5-40kg laagdikte 0,40m;
  - Plaatsen op geotextiel.



**Figuur 2-3 Ontwerp bij uitstroming**

### 3 RESULTAAT VOORONDERZOEKEN

#### 3.1 Sterkte leiding

In notitie DO-MMU-ENG-0420-1 is de sterkte van de leiding beschouwd op het toenmalige ontwerp. Naar aanleiding van de aanbevelingen in de notitie is het ontwerp aangepast tot het voorliggende ontwerp. In deze paragraaf zijn de belangrijkste punten uit de notitie herhaald.

##### 3.1.1 Eigenschappen buis

Voorgesteld is om de lozingsleiding uit te voeren met een vlakke voetbuizen met een inwendige diameter van 1800 mm van de leverancier: De Hamer Beton. Deze buizen worden uitgevoerd in gewapend beton.

Hieronder zijn enkele gegevens van de betreffende buizen gegeven afkomstig van de leverancier De Hamer Beton.

- Inwendige diameter 1800 mm
- Uitwendige diameter 2200 mm
- Wanddikte 200 mm



Figuur 3-1 Impressie vlakke voetbuis inwendige diameter 1800 mm

##### 3.1.2 Beschouwing sterkte

###### Bovenbelasting

De door de leverancier aangehouden verkeersbelasting is verkeersklasse 30, dit komt overeen met 3 as-lasten van 100 kN, in totaal dus 300 kN. Dit is zwaarder dan het landbouwvoertuig van 200 kN.

###### Grensdekking

Als de buisdiameter, de verkeersbelasting en de grondsoort gecombineerd worden kan de minimale en maximale grensdekking bepaald worden. De leveranciersinformatie laat zien dat de minimale grensdekking 0,6 m is en de maximale grensdekking 2,7 m bij standaard wapening en 4,2 m bij zwaardere wapening. In het ontwerp is tenminste 0,6 m dekking aanwezig waarmee de grensdekking voldoet.

## Funderingslaag

Onder de vlakke voetbuis dient 0,3 m zand aanwezig te zijn. In het voorliggend ontwerp is dit het geval.

### 3.1.3 Conclusie

Het ontwerp voldoet voor de toepassing van de buisleiding. Het is van belang dat de uitvoeringswijze (bijvoorbeeld het verdichten van de grond rondom de buis) afgestemd wordt met de leverancier omdat dit een grote invloed kan hebben op de draagkracht van de buis.

## 3.2 Afvoer leiding

In notitie DO-MMU-ENG-0411-3 is de afvoer van de leiding berekend van het voorliggende ontwerp. In de notitie is geconcludeerd dat de lozing van Sitech gewaarborgd kan blijven (gemiddeld 3200 m<sup>3</sup>/uur, piek 6000 m<sup>3</sup>/uur) zelfs bij hogere afvoeren van de Maas. In de notitie zijn verschillende varianten beschouwd, uiteindelijk is variant 5 gekozen voor het ontwerp. In deze paragraaf zijn de belangrijkste punten uit de notitie herhaald.

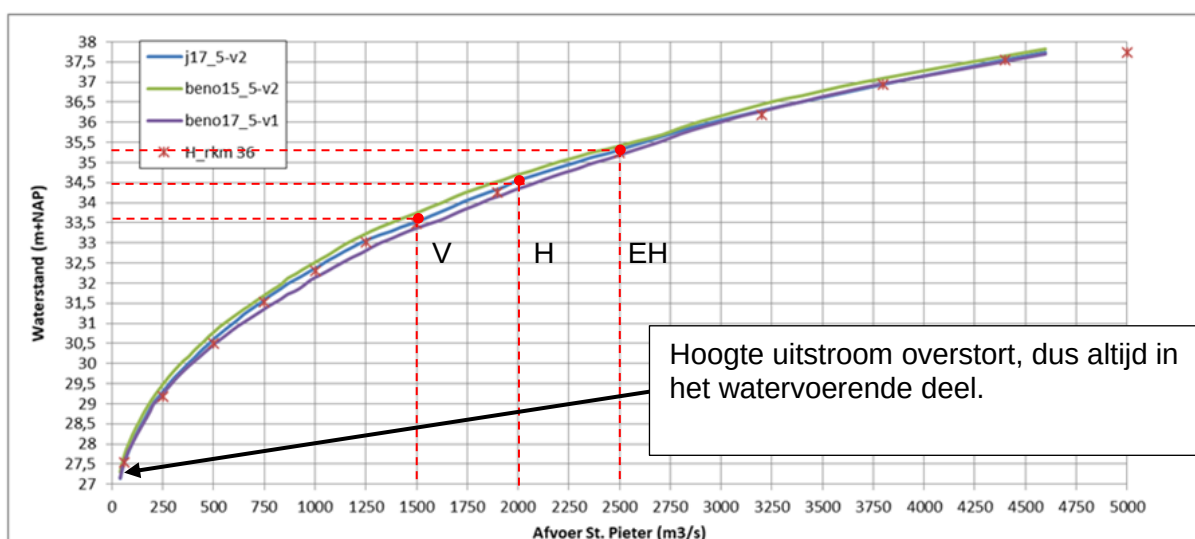
### 3.2.1 Uitgangspunten

De relatie tussen het debiet en de waterhoogte van de Maas (Q-h relatie) is weergegeven in Figuur 3-2. In deze figuur zijn de debieten gemeten bij St. Pieter en de waterstanden gemeten bij meetstation rkm 36 weergegeven. Meetstation rkm 36 ligt nabij de uitstroom van de lozingsleiding.

Voor de berekening in deze notitie is er rekening gehouden met een drietal debieten/waterstanden, zie Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Varianten debieten/waterstanden

| Afvoer            | Debiet                 | Waterstand        | Terugkeertijd         |
|-------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|
| Verhoogd (V)      | 1500 m <sup>3</sup> /s | Circa NAP +33,5 m | circa 1x per 2 jaar   |
| Hoog (H)          | 2000 m <sup>3</sup> /s | Circa NAP +34,5 m | circa 1x per 10 jaar  |
| Extreem hoog (EH) | 2500 m <sup>3</sup> /s | Circa NAP +35,3 m | circa 1x per 100 jaar |



Figuur 3-2 Q-h relatie Maas



In Figuur 3-2 is te zien dat bij minimale afvoeren een minimale waterstand van circa +27,3 m NAP gewaarborgd blijft (zie zwarte pijl). Wanneer de uitstroom van de overstort op deze hoogte wordt aangelegd, wordt aan de voorwaarde voldaan dat de lozing altijd in het watervoerende deel van het zomerbed plaatsvindt.

Voor de berekeningen is er rekening gehouden met 3 debieten/waterstanden zoals aangegeven. Daarnaast is er bij de Sitech productielocatie rekening gehouden met volledige werking van de cascade en de cascade buiten werking.

### 3.2.2 Resultaten

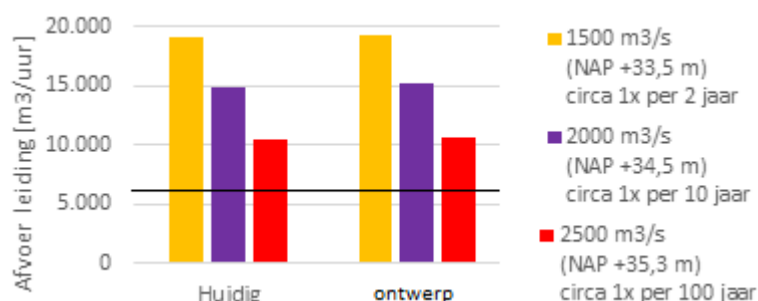
Onderstaande tabel en grafieken weergeven de resultaten. In de grafieken zijn enkel de resultaten weergegeven waarbij de cascade niet in werking is.

De onderstaande resultaten leiden tot de volgende opmerkingen:

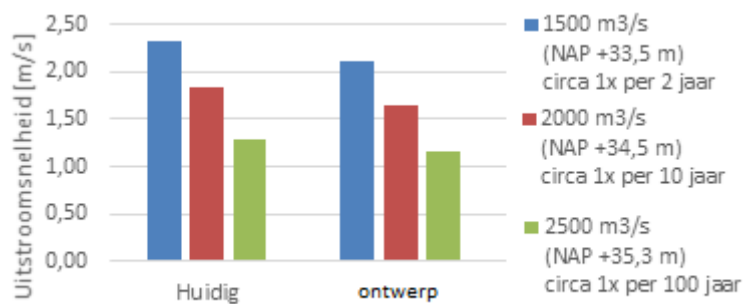
- In de grafiek is de stippellijn weergegeven voor de pieklozing van 6000 m<sup>3</sup>/uur. Het is te zien dat ruim aan deze eis wordt voldaan. Bij een extreem hoge afvoer van 2500 m<sup>3</sup>/s van de Maas (terugkeertijd van circa 1x per 100 jaar) is een lozing te waarborgen van 165 % de pieklozing.
- De cascade kan bij de hogere afvoeren in de Maas niet volledig in werking blijven.

Tabel 3.2 Resultaten berekeningen

| Variant | afvoer Maas [m <sup>3</sup> /s] | Terugkeertijd [circa 1x per] | Water-hoogte Maas [m + NAP] | Afvoer leiding [m <sup>3</sup> /uur]  | Uit-stroom-snelheid [m/s] | Afvoer leiding [m <sup>3</sup> /uur] |
|---------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|         |                                 |                              |                             | Cascade niet in werking<br>NAP+36,1 m |                           | Cascade in werking<br>NAP+34,3 m     |
| Huidig  | 1500                            | 2 jaar                       | +33,5                       | 19.030                                | 2,33                      | 10.550                               |
|         | 2000                            | 10 jaar                      | +34,5                       | 14.920                                | 1,83                      | geen afvoer                          |
|         | 2500                            | 100 jaar                     | +35,3                       | 10.550                                | 1,29                      | geen afvoer                          |
| ontwerp | 1500                            | 2 jaar                       | +33,5                       | 19.310                                | 2,11                      | 10.700                               |
|         | 2000                            | 10 jaar                      | +34,5                       | 15.140                                | 1,65                      | geen afvoer                          |
|         | 2500                            | 100 jaar                     | +35,3                       | 10.700                                | 1,17                      | geen afvoer                          |



Figuur 3-3 Capaciteit afvoer voor huidige situatie en ontwerp (zwarte lijn piekafvoer Sitech)



**Figuur 3-4 Uitstroomsnelheid voor huidige situatie en ontwerp**

De resultaten van de berekeningen laten zien dat bij het ontwerp de continue pieklozing van 6000 m³/uur gewaarborgd blijft. Zelfs bij de hogere afvoeren van de Maas is de capaciteit van de lozing ruim voldoende voor de pieklozing. Bij afvoeren van de Maas die circa 1x per 100 jaar voorkomen is een lozing te waarborgen van circa 165% de pieklozing.

De cascade bij Sitech zal bij hogere afvoeren in de Maas echter buiten werking treden. Dit zal optreden bij een waterhoogte in de Maas rond NAP +34,4 m (Maasdebiet is circa 1900 m³/s).

## 4 BESCHERMINGSCONSTRUCTIE LEIDING

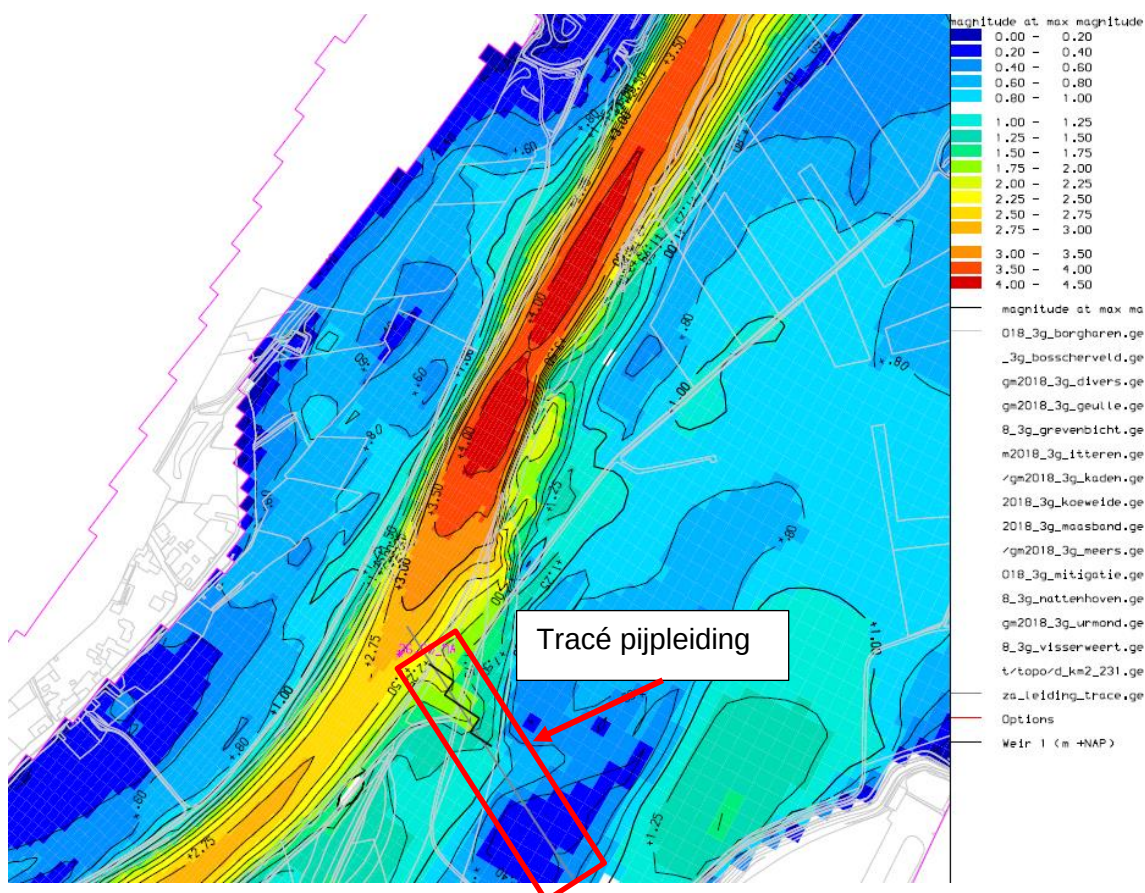
### 4.1 Hydraulische uitgangspunten

Er gelden een aantal algemene hydraulische uitgangspunten voor het ontwerp van de bodembescherming nabij de uitstroombouwconstructie en de bescherming van de pijpleiding:

- De bodembescherming nabij de uitstroombouwconstructie dient te voldoen ten aanzien van:
  1. stroomsnelheden in de rivier.
  2. de uitstroomsnelheden van het effluent in de leiding;
- De maatgevende stroming in de rivier en de maatgevende stroming in de pijpleiding zullen niet gelijktijdig optreden, voor de berekening is dit wel zo beschouwd als conservatief uitgangspunt.

#### 4.1.1 Hydraulische uitgangspunten in de rivier

De stroomsnelheden in de rivier worden gebruikt voor het ontwerp van de bescherming van de pijpleiding. Het computerprogramma WAQUA berekent een hoogwatergolf tijdens maatgevende omstandigheden voor de rivier. In het model zijn de maximale stroomsnelheid en de bijbehorende waterstanden gedurende een hoogwatergolf bepaald. Figuur 4-1 geeft een bovenaanzicht van de optredende stroomsnelheden weer en de locatie van de pijpleiding in de project locatie.

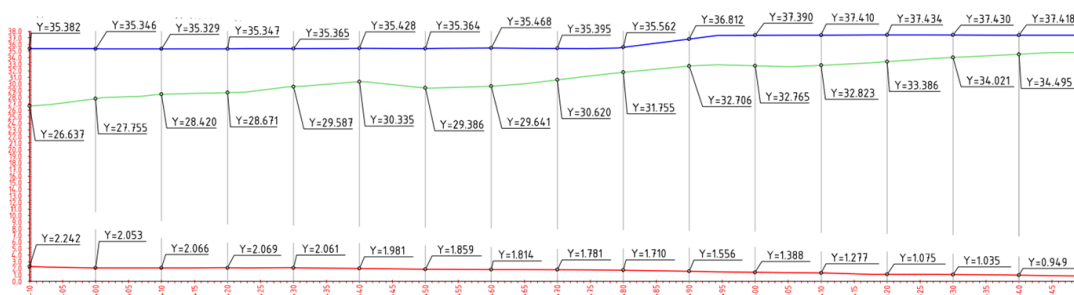


Figuur 4-1 Boven-aanzicht project locatie met de optredende stroomsnelheden en de locatie van de pijpleiding.

De WAQUA (modelnaam: bo17\_cg5-v4c-D4118e) uitvoer is vertaald in een AutoCad Civil3D model, waardoor de hydraulische condities op verschillende locaties en doorsnedes zijn uit te lezen. Hiertoe zijn de volgende stappen doorlopen:

- inladen van de uitvoer van WAQUA (stroomsnelheid, waterstand en bodemhoogte) per uitvoerpunt in het projectgebied;
- aanmaken van 'surfaces' tussen de uitvoerpunten. Met de surfaces zijn de waarden op tussenliggende punten door middel van interpolatie vast te stellen;
- invoegen van de gewenste profielen;
- uitlezen geïnterpoleerde waarde op de gewenste punten op het betreffende profiel.

Het resultaat van de exercitie is voor een langsdoorsnede over de leiding getoond in Figuur 4-2. Op elke 10 m in het profiel zijn de stroomsnelheden en de waterdieptes uitgelezen ten behoeve van de berekeningen.



**Figuur 4-2** het langsprofiel waar de pijpleiding boven het maaiveld komt (blauw = waterstand, groen = bodemprofiel, rood = stroomsnelheid)

#### 4.1.2 Hydraulische uitgangspunten van de uitstroomconstructie

Tabel 4.1 toont de uitgangspunten van de pijpleiding nabij de uitstroomconstructie. Het talud is vlak bij de uitstroomlocatie waar een bodembescherming aangebracht dient te worden.

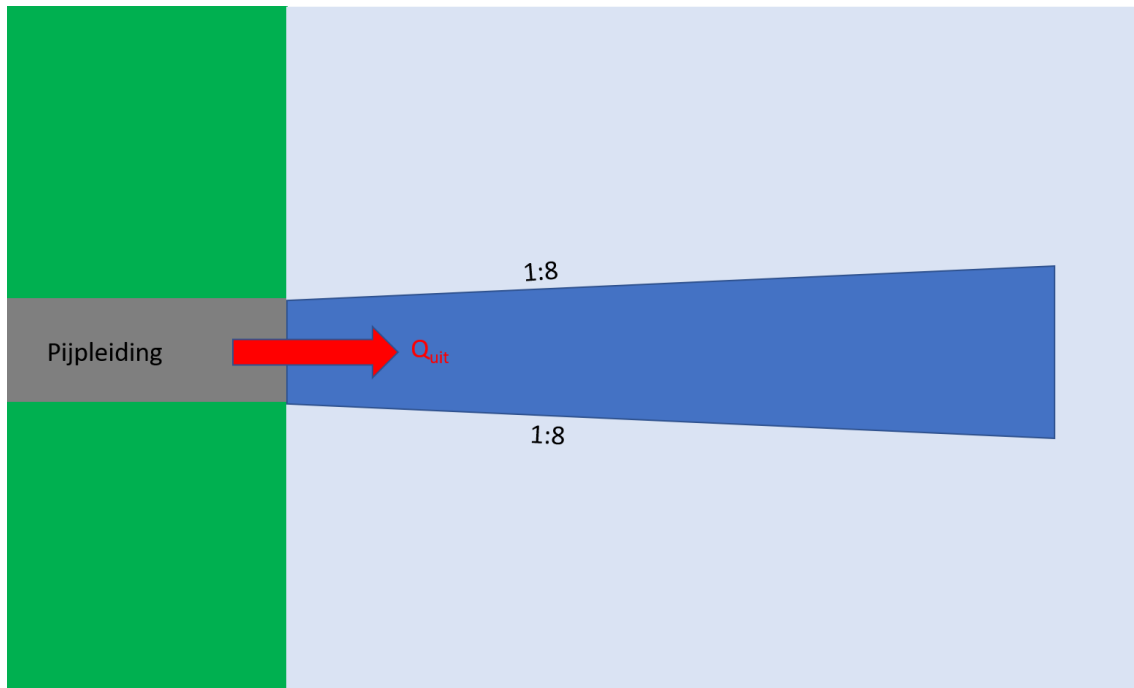
**Tabel 4.1** Uitgangspunten pijpleiding

| parameter                               | waarde            | eenheid             |
|-----------------------------------------|-------------------|---------------------|
| type opening                            | rond              | [-]                 |
| diameter                                | 1,8               | [m]                 |
| stroomsnelheid uit de leiding           | 2,11              | [m/s]               |
| debiet                                  | 5,37              | [m <sup>3</sup> /s] |
| lengte pijpleiding                      | 120               | [m]                 |
| bodemniveau                             | 28,4 (uitstroom)  | [m +NAP]            |
| waterstand                              | 35,33 (uitstroom) | [m +NAP]            |
| waterdiepte                             | 6,93 (uitstroom)  | [m]                 |
| afstand bodem tot onderkant pijpleiding | 0                 | [m]                 |

Aan de uitstroomzijde vindt de stroomspreiding plaats met een hoek tussen de 1:5 en 1:8. Conservatief is 1:8 gehanteerd voor de stroomsnelheid en 1:5 voor het te beschermen gebied.

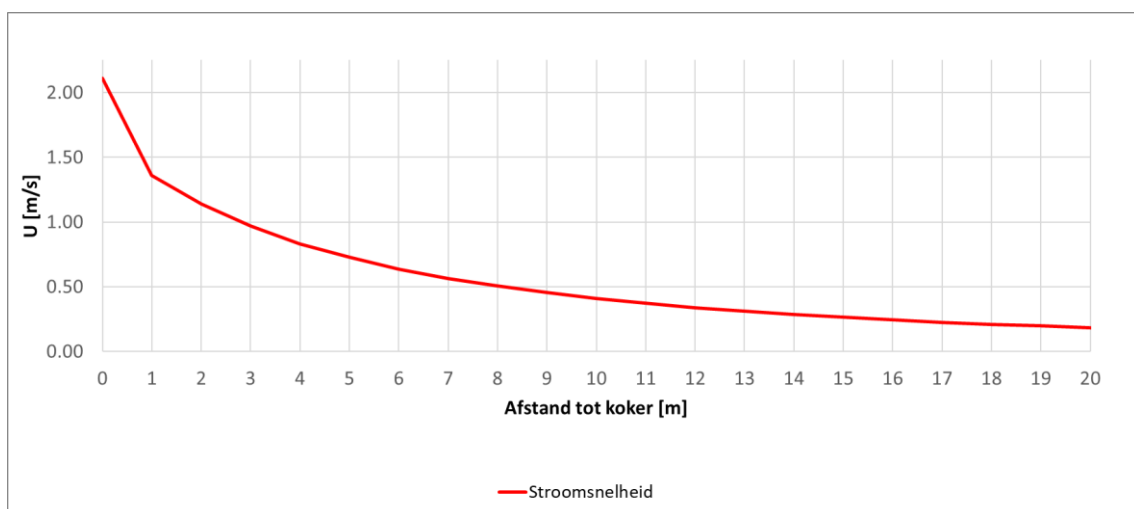
De waarde is gehanteerd voor zowel horizontale als verticale spreiding. Verticale spreiding vindt plaats totdat de waterdiepte wordt bereikt. Daarna is er alleen nog horizontale spreiding totdat ook de breedte van de constructie is bereikt. Het stroomoppervlak

is hierbij als een rechthoek geschematiseerd. Figuur 4-3 geeft een schematische weergave van het stroombeeld weer. Bij de berekening van de stroomsnelheden is voor de waterdiepte de hoogte van de waterkolom genomen die binnen de 1:8 contour valt.



**Figuur 4-3 Schematische weergave van het stroombeeld bij de uitstroom in de rivier**

In bijlage III is de afleiding van de stroomsnelheden opgenomen. Figuur 4-4 geeft de stroomsnelheden weer per meter vanaf de uitstroomlocatie van de pijpleiding. Hierbij geldt dat de maatgevende stroming in de rivier en de maatgevende stroming in de pijpleiding niet gelijktijdig zullen optreden. In de berekening zijn wel de steendiameters bij elkaar opgeteld.



**Figuur 4-4 Stroomsnelheid als functie van de afstand van de uitstroomconstructie**

## 4.2 Materialen

Het uitgangspunt is een soortelijke massa van waterbouwsteen van 2.650 kg/m<sup>3</sup>, hieruit volgt een relatieve dichtheid van steen in zoet water ( $\Delta$ ) van 1,65. De hoek van inwendige wrijving van de bestorting is gesteld op 40°.

In Tabel 4.2 zijn conform de NEN 13383 de kenmerken van de toegepaste steengraderingen weergegeven. De NEN geeft geen waarden voor de nominale steendiameter D<sub>n50</sub>. Deze waarden zijn afgeleid middels de Rosslin Rammler methode, zoals beschreven in 3.4.3.3 van The Rock Manual.

**Tabel 4.2 Standaard steengraderingen**

| Gradering | D <sub>n50,min</sub> [m] | D <sub>n50,gem</sub> [m] |
|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 90/250mm  | 0,104                    | 0,135                    |
| 5-40kg    | 0,17                     | 0,19                     |

Voor de benodigde steengrootte wordt uitgedrukt in de minimale nominale diameter, D<sub>n50,min</sub>. Voor de berekeningen van de laagdiktes en de benodigde steengradering worden gebruik gemaakt van de gemiddelde nominale diameter, D<sub>n50,gem</sub>.

De karakteristieken van de ondergrond zijn niet bekend, maar er wordt aangenomen dat er lokaal zeer fijn zand ligt.

#### 4.3 Verificatie steenbestorting

Voor de berekening van de steenstabiliteit ten aanzien van stroming wordt de formule van Pilarczyk gebruikt zoals beschreven in de Rock Manual:

$$D = \frac{\phi_{sc}}{\Delta} \frac{0.035}{\psi_{cr}} k_h k_{sl}^{-1} k_t^2 \frac{U^2}{2g}$$

De toelichting op de parameters is opgenomen in de Rock Manual. Voor een aantal parameters is een ontwerpkeuze gemaakt, deze parameters zijn hier kort toegelicht.

**Tabel 4.3 Parameters voor Pilarczyk formule**

| Parameter           |             | waarde<br>boven<br>leiding | waarde<br>uitstroom    | eenheid | toelichting                                                                                                    |
|---------------------|-------------|----------------------------|------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| stabiliteitsfactor  | $\Phi_{sc}$ | 1,5                        | 1,5                    | [-]     | geen doorlopende bekleding                                                                                     |
| mobilitateitsfactor | $\psi_{cr}$ | 0,035                      | 0,035                  | [-]     | begin van beweging                                                                                             |
| turbulentiefactor   | $k_t^2$     | 1,5                        | 2                      | [-]     | 1,5: verhoogde turbulentie;<br>2: hoge turbulentie                                                             |
| hellingsfactor      | $k_{sl}$    | 0,82 [1:7]<br>0,83 [1:3]   | 1                      | [-]     | Bij de leiding:<br>talud 1:7 in stroom-<br>richting<br>talud 1:3 bij uit-<br>stroom haaks op<br>stroomrichting |
| ruwheidshoogte      | $k_s$       | 2*D <sub>n50,gem</sub>     | 2*D <sub>n50,gem</sub> | [-]     | -                                                                                                              |

### 4.3.1 Bescherming tegen rivierstroming

Conform het ontwerp uit hoofdstuk 2 is het ontwerp verdeeld in twee stukken

1. Bescherming van 0 tot 60 m
  - Gradering 5-40 kg
  - Laagdikte 0,40 m
  - Geotextiel
2. Bescherming van 60 tot 122 m
  - Gradering 90/250 mm
  - Laagdikte 0,30 m
  - Geotextiel

Voor de berekening van de benodigde steengrootte en steengradering is uitgegaan van de stroomsnelheden zoals beschreven in paragraaf 4.1.1. De volledige berekening van de steenbestorting is te vinden in Bijlage II.

Tabel 4.4 geeft de verificatie van de toegepaste steengraderingen.

**Tabel 4.4 Verificatie bodembescherming t.a.v. rivierstroming**

| Profiel en afstand tot uitstroom | Toegepaste gradering | Toegepaste $D_{n50,min}$ [m] | Maatgevende $D_{n50,berekend}$ [m] | Voldoet? |
|----------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|----------|
| Deel I<br>0 tot 60 m             | 5-40 kg              | 0,17                         | 0,118                              | ja       |
| Deel II<br>60 tot 122 m          | 90/250 mm            | 0,104                        | 0,083                              | ja       |

### 4.4 Bescherming tegen stroming uit de leiding

Voor de berekening van de stroomsnelheden bij de uitstroomopening is uitgegaan van de stroomsnelheden uit paragraaf 4.1.2. Direct bij de uitloop bedraagt de stroomsnelheid 2,11 m/s en wordt beton toegepast.

Om de combinatie met rivierstroming mee te nemen is de maximaal berekende steendiameter bij uitstroom genomen (0,100 m bij  $x=0$ , zie bijlage II) en is deze waarde opgeteld bij de berekende steendiameter ten behoeve van de leidingstroming.

Conform het ontwerp uit hoofdstuk 2 bestaat de bodembescherming vanaf de uitstroomopening uit de volgende opbouw:

- Rondom uitstroomleiding
  - Breuksteen met gradering 5-40kg gepenetreerd met 130 l/m<sup>2</sup> beton;
  - Laagdikte 0,40m;
  - Geotextiel.
- Overige delen
  - Breuksteen met gradering 5-40kg;
  - Laagdikte 0,40m;
  - Geotextiel.

De volledige berekening van de stroomsnelheden en de bestorting is te vinden in Bijlage III. In Tabel 4.5 zijn de samengevatte resultaten gegeven.

**Tabel 4.5 Verificatie bodembescherming t.a.v. uitstroming**

| Afstand vanaf uitstroom [m] | Toegepaste gradering | Toegepaste $D_{n50,min}$ [m] | Maatgevende $D_{n50,berekend}$ [m] | combi $D_{n50,riv,leiding}$ [m] | Voldoet? |
|-----------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------|
| 0                           | 5-40 kg met beton    | n.v.t.                       | 0,38                               | 0,48                            | ja       |
| 1                           | 5-40 kg met beton    | n.v.t.                       | 0,069                              | 0,169                           | ja       |
| 2                           | 5-40 kg met beton    | n.v.t.                       | 0,038                              | 0,138                           | ja       |
| 3                           | 5-40 kg              | 0,17                         | 0,023                              | 0,123                           | ja       |
| 4                           | 5-40 kg              | 0,17                         | 0,015                              | 0,115                           | ja       |
| 5                           | 5-40 kg              | 0,17                         | 0,010                              | 0,110                           | ja       |

## 4.5 Geotextiel

Om uitspoeling uit de ondergrond te voorkomen is een geotextiel toegepast. De benodigde specificaties van het geotextiel zijn beschreven in [MEMO 2017-0005] en hieronder herhaald:

- de afzonderlijke banen geotextiel moeten ten minste 5,00 m breed zijn met een maximale afwijking van +/- 0,10 m;
- de overlap tussen de verschillende banen dient ten minste 0,5 m te zijn;
- aan het PP geotextiel dienen antioxidanten toegevoegd te zijn zodat de minimale levensduur 50 jaar is. De minimale levensduur moet aangetoond worden door middel van een beoordeling door een daartoe gecertificeerd instituut, op basis van extrapolatie van testresultaten bij verschillende temperaturen. Het kan, in overeenstemming met EN-NEN-13253, 13254, 13255, ook aangetoond worden met een Declaration of Performance (DoP) afgegeven door de producent op basis van een screeningtest volgens EN ISO 13438 (2015), Att. B;
- minimale treksterkte in 2 richtingen  $\geq 35$  kN/m voor een weefsel en  $\geq 15$  kN/m voor een vlies;
  - deze eisen gelden ook voor composiet materialen. Daarbij zal één van de componenten aan deze minimale treksterkte eis moeten voldoen. De treksterktes van de samenstellende delen mogen niet bij elkaar opgeteld worden. In geval van een composiet (weefsel met daarop een vlies) zal het toe te passen vlies minimaal 200 gram/m<sup>2</sup> moeten wegen om voldoende robuustheid te hebben;
- minimaal vereiste breukrek van het geotextiel  $\geq 60$  %;
- maximale openingsgrootte van het geotextiel  $O_{90} = 0,100$  mm (gebaseerd op zware klei);
- waterdoorlaatbaarheid  $> 10^{-2}$  m/s = 10 l/(m<sup>2</sup> s) ( $V_{index}$  conform ISO 11058) (gebaseerd op zandig grind);
- de reststerkte na 50 jaar, rekening houdend met een  $RF_{ID}$  van 1,5 en een  $RF_{CH}$  van 1,3, dient minimaal 50% te zijn van de korte duursterkte (indexwaarde).
- Bij toepassing in een zinkstuk of kraagstuk dient bij een treksterkte van 15 kN/m (bij vliezen) en 35 kN/m (bij weefsels) een rek in de hoofdtrekrichting van maximaal 20 % op te treden.
- bij toepassing in een zinkstuk moet de (gecombineerde) EAL-waarde van het geotextiel minimaal 9 kJ/m<sup>2</sup>.
- de touwen waarmee het geotextiel aan het zink- of kraagstuk wordt verbonden, mogen niet door gaten in het vlies gestoken worden.
- de overlap tussen het geotextiel met wiepen en het geotextiel zonder wiepen dient ten minste 1,0 m te zijn;
- de overlap tussen de zinkstukken dient ten minste 1,0 m te bedragen





**BIJLAGE I**  
**Ontwerptekening**

**BIJLAGE II**  
**Berekening rivierstroming**

Steendiameter Pilarcyk

| Randvoorwaarden |                             |                |               | Gradering                                                                                        | Dn50 (m) - min |       |
|-----------------|-----------------------------|----------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|
| <b>Symbool</b>  | <b>Beschrijving</b>         | <b>Eenheid</b> | <b>Waarde</b> | 3.14 <b>Structure tov stroming</b><br>0.70 <b>Hoek inwendige wrijving</b><br>0.14 <b>Helling</b> | 60-300 kg      | 0.380 |
| $\Delta$        | relatieve dichtheid         | [-]            | 1.65          |                                                                                                  | 40-200 kg      | 0.330 |
| $k_t^2$         | turbulentiefactor           | [-]            | 1.5           |                                                                                                  | 10-60 kg       | 0.210 |
| $\varphi$       | hoek van inwendige wrijving | graden         | 40            |                                                                                                  | 5-40 kg        | 0.170 |
| $g$             | gravitatieconstante         | [m/s2]         | 9.81          |                                                                                                  | 90/180 mm      | 0.104 |
| $\varphi_{sc}$  | stabiliteitsfactor          | [-]            | 1.5           |                                                                                                  | 45/180 mm      | 0.053 |
| $\psi$          | mobiliteitsparameter        | [-]            | 0.035         |                                                                                                  | 90/250 mm      | 0.105 |
|                 |                             |                |               |                                                                                                  | 63/180 mm      | 0.076 |
|                 |                             |                |               |                                                                                                  | 45/125 mm      | 0.053 |

| Variabele randvoorwaarden |                    |         |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Symbool                   | Beschrijving       | Eenheid | Waarde |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| x                         | afstand            | [-]     | -10    | 0      | 10     | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70     | 80     | 90     | 100    | 110    | 120    | 130    |
| U                         | stroomsnelheid     | [m/s]   | 2.242  | 2.053  | 2.066  | 2.069  | 2.061  | 1.981  | 1.859  | 1.814  | 1.781  | 1.71   | 1.556  | 1.388  | 1.277  | 1.075  | 1.035  |
| h                         | waterdiepte        | [m]     | 8.745  | 7.591  | 6.909  | 6.676  | 5.778  | 5.073  | 5.978  | 5.827  | 4.775  | 3.807  | 4.106  | 4.625  | 4.587  | 4.048  | 3.409  |
| cot α                     | taludhelling (1:y) | [-]     | 1000   | 3      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      | 7      |
| α                         | taludhelling y     | graden  | 0.0010 | 0.3218 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 | 0.1419 |

Tussenresultaten

| Symbool  | Beschrijving           | Eenheid | Waarde | Waarde | Waarde |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x        | afstand                | [-]     | -10    | 0      | 10     | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70     | 80     | 90     | 100    | 110    | 120    | 130    |
| $k_{sl}$ | taludhellingsfactor    | [-]     | 1.0000 | 0.8300 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 | 0.8214 |
| $k_h$    | snelheidsprofielfactor | [-]     | 0.2631 | 0.2825 | 0.2993 | 0.3050 | 0.3278 | 0.3370 | 0.2896 | 0.2863 | 0.3106 | 0.3357 | 0.2924 | 0.2487 | 0.2323 | 0.2124 | 0.2208 |
| $k_s$    | ruwheidsfactor         | [-]     | 0.1839 | 0.1994 | 0.2162 | 0.2210 | 0.2356 | 0.2238 | 0.1694 | 0.1594 | 0.1668 | 0.1661 | 0.1198 | 0.0811 | 0.0641 | 0.0415 | 0.0400 |

Resultaten

| Symbool | Beschrijving           | Eenheid | Waarde    | Waarde    | Waarde  |         |         |         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|---------|------------------------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dn50    | nominale steendiameter | [m]     | 0.092     | 0.100     | 0.108   | 0.110   | 0.118   | 0.112   | 0.085     | 0.080     | 0.083     | 0.083     | 0.060     | 0.041     | 0.032     | 0.021     | 0.020     |
| [-]     | steengradering         | [-]     | 90/250 mm | 90/250 mm | 5-40 kg | 5-40 kg | 5-40 kg | 5-40 kg | 90/250 mm | 90/250 mm | 90/250 mm | 90/250 mm | 63/180 mm | 45/125 mm | 45/125 mm | 45/125 mm | 45/125 mm |
|         | iteratie               |         | 0.0919    | 0.0997    | 0.1081  | 0.1105  | 0.1178  | 0.1119  | 0.0847    | 0.0797    | 0.0834    | 0.0830    | 0.0599    | 0.0405    | 0.0320    | 0.0208    | 0.0200    |

**BIJLAGE III**  
**Berekening uitstroomopening**

## Stroombeeld

## Vaste randvoorwaarden

| Beschrijving                                | eenheid | waarde |
|---------------------------------------------|---------|--------|
| Type uitstroomkoker                         | [-]     | rond   |
| hoogte/diameter uitstroomkoker              | [m]     | 1.8    |
| Breedte uitstroomkoker (indien rechthoekig) | [m]     |        |
| Uitstroom oppervlak                         | [m2]    | 2.54   |
|                                             |         |        |
| Uitstroom debiet                            | [m3/s]  | 5.364  |
| Uitstroom snelheid                          | [m/s]   | 2.11   |
|                                             |         |        |
| Verspreiding                                | [1:x]   | 8      |
| bodemniveau                                 | [m+NAP] | 27.3   |
| waterniveau                                 | [m+NAP] | 33.5   |
| waterdiepte                                 | [m]     | 6.2    |
| afstand bodem tot onderkant koker           | [m]     | 0      |

|                                                         |        |      |
|---------------------------------------------------------|--------|------|
| x_constructie_onder_start                               | [m+x0] | -0.9 |
| x_constructie_boven_start                               | [m+x0] | 0.9  |
| hoek boundary onder                                     | [1:x]  | 0    |
| hoek boundary boven                                     | [1:x]  | 0    |
| afstand binnengeleidewerk                               | [m]    | 0    |
| afstand buitengeleidewerk                               | [m]    | 0    |
| horizontale afstand koker tot x_constructie_onder_start | [m]    | 0    |
| lengte rechte deel uitstroombak                         | [m]    | 10   |

| Afstand tot uitlaat [m] | x_constructie_onder [m] | x_constructie_boven [m] |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                       | -0.9                    | 0.9                     |
| 1                       | -100.00                 | 100.00                  |
| 2                       | -100.00                 | 100.00                  |
| 3                       | -100.00                 | 100.00                  |
| 4                       | -100                    | 100                     |
| 5                       | -100                    | 100                     |

| Afstand tot uitlaat [m] | y_onderkant [m+NAP] | y_boven [m+NAP] | hoogte straal [m] | x_stroom onder [m+x0] | x_stroom boven [m+x0] | breedte straal [m] | Oppervlakte stroom [m2] | stroomsnelheid [m/s] |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| 0                       | 27.30               | 29.10           | 1.80              | -0.90                 | 0.90                  | 1.80               | 2.54                    | 2.11                 |
| 1                       | 27.30               | 29.23           | 1.93              | -1.03                 | 1.03                  | 2.05               | 3.95                    | 1.36                 |
| 2                       | 27.30               | 29.35           | 2.05              | -1.15                 | 1.15                  | 2.30               | 4.72                    | 1.14                 |
| 3                       | 27.30               | 29.48           | 2.18              | -1.28                 | 1.28                  | 2.55               | 5.55                    | 0.97                 |
| 4                       | 27.30               | 29.60           | 2.30              | -1.40                 | 1.40                  | 2.80               | 6.44                    | 0.83                 |
| 5                       | 27.30               | 29.73           | 2.43              | -1.53                 | 1.53                  | 3.05               | 7.40                    | 0.73                 |

## Steendiameter Pilarczyk

### Randvoorwaarden

| Symbool        | Beschrijving                | Eenheid             | Waarde |
|----------------|-----------------------------|---------------------|--------|
| $\Delta$       | relatieve dichtheid         | [-]                 | 1.65   |
| $k_t^2$        | turbulentiefactor           | [-]                 | 2      |
| $\varphi$      | hoek van inwendige wrijving | graden              | 40     |
| $g$            | gravitatieconstante         | [m/s <sup>2</sup> ] | 9.81   |
| $\varphi_{sc}$ | stabiliteitsfactor          | [-]                 | 1.5    |
| $\psi$         | mobiliiteitsparameter       | [-]                 | 0.035  |

3.14 Structure tov stroming  
 0.70 Hoek inwendige wrijving  
 0.00 Helling

### Variabele randvoorwaarden

| Symbool      | Beschrijving        | Eenheid    | Waarde   |          |          |          |          |          |
|--------------|---------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>x</b>     | <b>afstand</b>      | <b>[-]</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| U            | stroomsnelheid buis | [m/s]      | 2.11     | 1.36     | 1.14     | 0.97     | 0.83     | 0.73     |
| h            | waterdiepte         | [m]        | 1.8      | 1.925    | 2.05     | 2.175    | 2.3      | 2.425    |
| cot $\alpha$ | taludhelling (1:y)  | [-]        | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     |
| $\alpha$     | taludhelling y      | graden     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     | 1000     |

### Tussenresultaten

| Symbool  | Beschrijving           | Eenheid    | Waarde   |          |          |          |          |          |
|----------|------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>x</b> | <b>afstand</b>         | <b>[-]</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| $k_{sl}$ | taludhellingsfactor    | [-]        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| $k_h$    | snelheidsprofielfactor | [-]        | 0.933    | 0.404    | 0.317    | 0.263    | 0.225    | 0.198    |
| $k_s$    | ruwheidsfactor         | [-]        | 0.768    | 0.138    | 0.076    | 0.046    | 0.029    | 0.019    |

### Resultaten

| Symbool | Beschrijving           | Eenheid | Waarde |           |           |           |           |           |
|---------|------------------------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dn50    | nominale steendiameter | [m]     | 0.384  | 0.069     | 0.038     | 0.023     | 0.014     | 0.010     |
| [-]     | steengradering         | [-]     | !      | 63/180 mm | 45/125 mm | 45/125 mm | 45/125 mm | 45/125 mm |
|         | Iteratie               |         | 0.3840 | 0.0691    | 0.0380    | 0.0228    | 0.0145    | 0.0096    |

