



Vlaanderen
is wetenschap

24_084_1
WL rapporten

Demer – Grote Steunbeer

Inschatting kracht ten gevolge van stroming
op tijdelijke brugpijler

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Demer – Grote Steunbeer

Inschatting kracht ten gevolge van stroming op tijdelijke brugpijler

Verelst, K.; Visser, K.P.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2025
D/2025/3241/007

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verelst, K.; Visser, K.P. (2025). Demer – Grote Steunbeer: Inschatting kracht ten gevolge van stroming op tijdelijke brugpijler. Versie 4.0. WL Rapporten, 24_084_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen




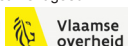
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VMM	Ref.:	WL2025R24_084_1
Trefwoorden (3-5):	Demer, Grote Steunbeer, Kracht, Stroming, Brugpijler		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > Brugpijlers > Literatuur- en desktoponderzoek Waterbouwkundige constructies > Brugpijlers > in- situ metingen		
Tekst (p.):	22	Bijlagen (p.):	3
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verelst, K.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Visser, K.P.	Getekend door:Klaas Visser (Signature) Getekend op:2025-01-24 10:54:54 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Verelst, K.	Getekend door:Kristof Verelst (Signature) Getekend op:2025-01-23 15:30:09 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op:2025-01-24 08:24:23 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	---

Abstract

De Grote Steunbeer op de Demer te Diest is een stuw die bestaat uit 3 openingen, elk met een breedte van 4 m. In de twee openingen aan de zijkant staan aan afwaartse zijde twee schotten, aan opwaartse zijde van de middelste opening is een vast houten schot opgehangen. De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) wil de Grote Steunbeer restaureren en automatiseren, met als doel het waterpeil te verhogen en de stroming opnieuw door de stad te leiden. Daarnaast voorziet VMM ook een boogvormige fietsbrug juist afwaarts van de Grote Steunbeer. Voor het aan elkaar lassen van de brugdelen van de fietsbrug dient gedurende een tweetal maanden een tijdelijke pijler in het midden van de Demer aangebracht te worden op 6 m afwaarts van de Grote Steunbeer.

Met betrekking tot de bouw van de tijdelijke pijler van de fietsbrug vraagt VMM aan het Waterbouwkundig Laboratorium om een inschatting te maken van de krachten ten gevolge van stroming die op deze tijdelijke pijler kunnen optreden. Hiervoor is op 10/10/2024 bij een relatief hoge afvoer van $39 \text{ m}^3/\text{s}$ na een dag met relatief hoge regenval een terreinbezoek gebracht aan Demer ter plaatse van de Grote Steunbeer. Op basis van dit terreinbezoek wordt besloten dat tijdelijke brugpijler voornamelijk onderhevig is aan stroming uit de middelste opening en beperkt onderhevig is aan de stroming uit de rechter zijopening. De locatie waar de tijdelijke brugpijler zal geplaatst worden bevindt zich ook afwaarts van de watersprong bij overstort over het schot in de rechter zijopening in de zone waar de stroming uniform over de waterdiepte naar afwaarts gericht is.

Om de stroomsnelheid ter plaatse van de tijdelijke brugpijler in te schatten is voor 6 waterpeilen opwaarts van de Grote Steunbeer het debiet ingeschat aan de hand van literatuurformules voor stroming over een brede overlaat, onderstroming onder het hangend schot en overstort over het schot in de zijopening of overstort over het hangend schot in de middelste opening. Uit de berekeningen volgde dat de stroomsnelheid in het gedeelte van de raai ter plaatse van de middelste opening varieert tussen 2.88 m/s en 4.26 m/s en deze in het gedeelte van de raai ter plaatse van de rechtse zijopening tussen 1.36 m/s en 1.77 m/s.

Daarna is aan de hand van de berekende stroomsnelheden de kracht op het cirkelvormig buisprofiel en het L-vormig profiel van de tijdelijke pijler berekend. Op vraag van VMM is ook een inschatting gemaakt van de kracht van de accumulatie van drijfvuil tegen de tijdelijke brugpijler. Hiervoor is in de literatuur op zoek gegaan naar de waarde van de sleepcoëfficiënt van een cilindervormig profiel in een stroming, een rechthoekige vlakke plaat in een stroming en de sleepcoëfficiënt van accumulatie van drijfvuil tegen brugpijlers. Uit de berekeningen volgde dat de kracht per eenheidslengte voor het cilindervormig profiel varieert tussen 348 N/m en 477 N/m bij een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 0.50 en tussen 557 N/m en 763 N/m bij een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 0.80. Voor het L-vormig profiel varieert de kracht per eenheidslengte tussen 575 N/m en 787 N/m. Voor de accumulatie van drijfvuil varieert de kracht per eenheidshoogte tussen 16100 N/m en 22750 N/m bij een waarde van de sleepcoëfficiënt gelijk aan 2.0 en tussen 20100 N/m en 28500 N/m bij een waarde van de sleepcoëfficiënt gelijk aan 2.5.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
2 Terreinbezoek 10/10/2024.....	5
3 Stroomsnelheid ter plaatse van tijdelijke brugpijler	10
4 Bepaling van kracht ten gevolge van stroming op tijdelijke brugpijler	15
5 Conclusies	20
6 Referenties	22
Bijlage 1 Berekening debiet door openingen Grote Steunbeer	B1
Waterpeil opwaarts +18.55 mTAW	B1
Debiet door middelste opening.....	B1
Debiet door zijopeningen	B1
Waterpeil opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW	B2
Debiet door middelste opening.....	B2
Debiet door zijopeningen	B3

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Resultaat berekening totaal debiet door Grote Steunbeer en vergelijking met gemeten debieten en waterstanden	13
Tabel 2 – Resultaat berekening stroomsnelheid in het gedeelte van de raai ter plaatse voor de middelste en de rechtse zijopening van de Grote Steunbeer	14
Tabel 3 – Berekening kracht per eenheidslengte op cilindervormig profiel en L-vormig profiel van tijdelijke brugpijler en kracht per eenheidshoogte bij accumulatie van drijfvuil voor de verschillende beschouwde waterpeilen opwaarts van de Grote Steunbeer	19
Tabel 4 - Stroomsnelheid in het gedeelte van de raai ter plaatse voor de middelste en de rechtse zijopening van de Grote Steunbeer	20
Tabel 5 – Berekening kracht per eenheidslengte op cilindervormig profiel en L-vormig profiel van tijdelijke brugpijler en kracht per eenheidshoogte bij accumulatie van drijfvuil voor de verschillende beschouwde waterpeilen opwaarts van de Grote Steunbeer	21
Tabel 6 – Berekening van debiet door middelste openingen ten gevolge van stroming over brede overlaat bij waterstand opwaarts +18.55 mTAW.....	B1
Tabel 7 – Berekening van debiet door middelste openingen ten gevolge van onderstroming onder hangend schot bij waterstand opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW	B2
Tabel 8 – Berekening van debiet door middelste openingen ten gevolge van overstort over hangend schot bij waterstand opwaarts +20.24mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW	B2
Tabel 9 – Berekening van debiet door zijopening rechts ten gevolge van overstort bij waterstand opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW.....	B3
Tabel 10 – Berekening van debiet door zijopening links ten gevolge van overstort bij waterstand opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW	B3

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Locatie Grote Steunbeer.....	2
Figuur 2 – Grote Steunbeer; afwaartse zijde (links) en opwaartse zijde (rechts)	2
Figuur 3 – Peilen Grote Steunbeer (dwarsprofiel juist opwaarts van Grote Steunbeer, kijkrichting naar afwaarts).....	2
Figuur 4 – Locatie fietsbrug en tijdelijke ondersteuning voor montage brug Rode lijn: locatie tijdelijke ondersteuning; blauwe lijnen: begin landhoofden	3
Figuur 5 –Tijdelijke ondersteuning brugpijler (figuur boven); locatie tijdelijke ondersteuning ten opzicht van pijlers Grote Steunbeer (figuur links onder) en doorsnede tijdelijke ondersteuning (figuur rechts onder); Bron: CSM Steelstructures N.V. (2024)	3
Figuur 6 – Bodempeilen opwaarts en afwaarts van Grote Steunbeer (in mTAW) Bron: Geomodus (2014)	4
Figuur 7 – Variatie in de tijd van neerslaghoeveelheid (linkse Y-as) en cumulatieve neerslaghoeveelheid (rechts Y-as) ter plaatse van meetlocatie Molenstedebrug tussen 09/10/2024 en 15/10/2024 (bron: waterinfo.be).....	5
Figuur 8 – Variatie in de tijd van waterstand (boven) en debiet (beneden) ter plaatse van Molenstedebrug tussen 09/10/2024 en 13/10/2024 (bron: waterinfo.be)	6
Figuur 9 – Variatie in de tijd van waterstand afwaarts, waterstand opwaarts en klepstand van stuw Webbekomsbroek tussen 09/10/2024 en 13/10/2024 (bron: waterinfo.be).....	6
Figuur 10 – Stroming in de Demer opwaarts en afwaarts van de Grote Steunbeer op 10/10/2024.....	7
Figuur 11 – Stroming afwaarts van Grote Steunbeer op 10/10/2024; zwart: indicatieve positie van de tijdelijke brugpijler, rode lijnen: visueel bepaald einde van watersprong; blauwe lijnen: visueel bepaalde scheiding tussen stroming uit middenopening en stroming uit de zijopeningen	8
Figuur 12 – Stroming afwaarts van Grote Steunbeer bij laag debiet; zwart: indicatieve positie van de tijdelijke brugpijler; blauwe lijnen: Zone met hoge stroomsnelheid; blauwe streeplijnen: zone met lagere stroomsnelheid.....	9
Figuur 13 – Variatie van de sleepcoëfficiënt in functie van Reynoldsgetal, invloed van oppervlakteruwheid en turbulentie.....	16
Figuur 14 – Variatie van de rms-waarde van de sleepcoëfficiënt C_D' en de rms-waarde van de liftcoëfficiënt C_L' in functie van het Reynoldsgetal	16
Figuur 15 – Interferentie sleepcoëfficiënt voor 2 pijlers loodrecht op een stroming (Biermann & Hernnstein, 1933).....	17

1 Inleiding

In 1960 werd de Demer in Diest gedempt en rond de stad geleid. Het water vloeit sindsdien via de Grote Steunbeer door de vroegere vestinggrachten. De Grote Steunbeer is een stuw die bestaat uit 3 openingen, elk met een breedte van 4 m. Figuur 1 toont de locatie van de Grote Steunbeer, Figuur 2 toont de afwaartse en opwaartse zijde van de Grote Steunbeer. In de twee openingen aan de zijkant staan aan afwaartse zijde twee schotten met een peil op +20.27 mTAW en +20.24 mTAW. Aan opwaartse zijde van de middelste opening is een vast houten schot opgehangen met breedte van 4.0 m, een peil onderzijde gelijk aan +18.56 mTAW en een peil bovenzijde gelijk aan +20.80 mTAW. De bodempeilen ter plaatse van de Steunbeer en de peilen van de afwaartse schotten in de zijopeningen zijn voorgesteld in Figuur 3.

In 2016 werd de Demer in Diest opnieuw opengelegd. De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) wil de Grote Steunbeer restaureren en automatiseren, met als doel het waterpeil te verhogen en de stroming opnieuw door de stad te leiden. Daarnaast voorziet VMM ook een boogvormige fietsbrug juist afwaarts van de Grote Steunbeer. De locatie van deze brug is voorgesteld in Figuur 4. De stalen brug wordt gebouwd in twee delen, dewelke boven de Demer aan elkaar gelast worden. Voor de opbouw van de brugdelen dient een tijdelijke pijler in het midden van de Demer aangebracht te worden op 6 m afwaarts van de Grote Steunbeer. De tijdelijke pijler, de locatie ten opzichte van de Grote Steunbeer en een vooraanzicht zijn voorgesteld in Figuur 5. De tijdelijke pijler is opgebouwd uit ronde buisprofielen diameter 0.186 m dewelke twee meter van elkaar verwijderd staan. Voor de stabiliteit worden tussen deze ronde buizen hoekprofielen H70/7 in kruisvorm aangebracht. Na het aan elkaar lassen van de beide brugdelen wordt deze tijdelijke pijler terug verwijderd. Vermoedelijk blijft de tijdelijke pijler een tweetal maanden in de Dijle aanwezig.

De bodempeilen opwaarts en afwaarts van de Grote Steunbeer zijn voorgesteld in Figuur 6. Onmiddellijk opwaarts van de Grote Steunbeer is het bodempeil van de Demer gelijk aan ca. 17.40 mTAW, onmiddellijk afwaarts is een bodempeil gelijk aan ca. 16.50 mTAW aanwezig. Het bodempeil onder het hangend schot in de middelste opening bedraagt ca. 17.00 mTAW.

Met betrekking tot de bouw van de tijdelijke pijler van de fietsbrug vraagt VMM (contactpersoon: Kris Soete) aan het Waterbouwkundig Laboratorium om een inschatting te maken van de krachten ten gevolge van stroming die op deze tijdelijke pijler kunnen optreden.

Voorafgaand aan de inschatting van de optredende stroomsnelheden in de Demer afwaarts van de Grote Steunbeer heeft op 10/10/2024 een terreinbezoek aan de Demer ter plaatse van de Grote Steunbeer plaatsgevonden bij een relatief hoge afvoer in de Demer. De bevindingen van dit terreinbezoek zijn beschreven in hoofdstuk 2.

De inschatting van de stroomsnelheden ter plaatse van de tijdelijke pijler is beschreven in hoofdstuk 3 van dit rapport, de inschatting van de kracht van de stroming op de tijdelijke pijler in hoofdstuk 4.

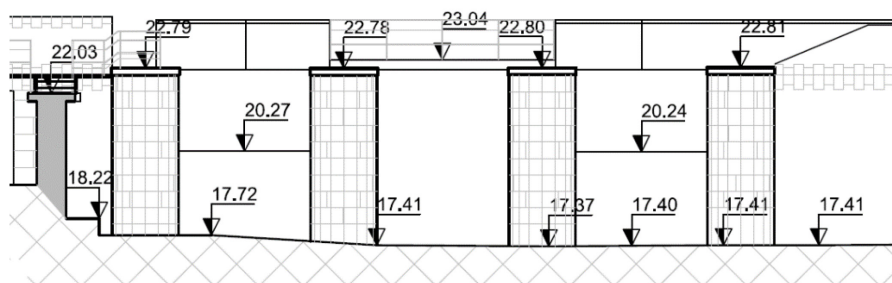
Hoofdstuk 5 vat de conclusies van dit rapport samen.



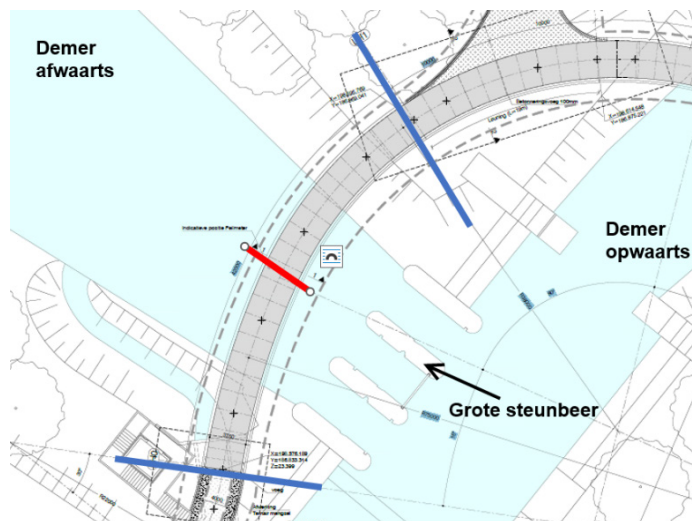
Figuur 1 – Locatie Grote Steunbeer



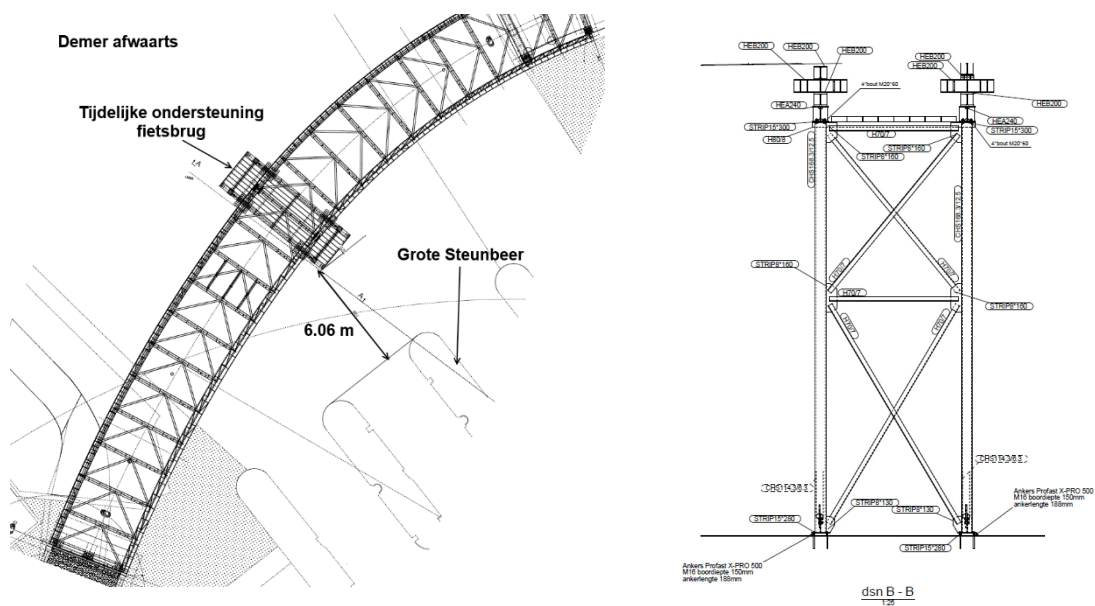
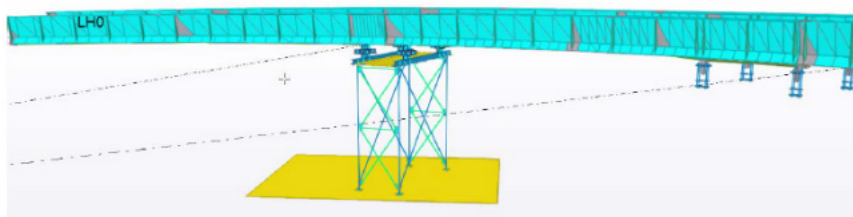
Figuur 2 – Grote Steunbeer; afwaartse zijde (links) en opwaartse zijde (rechts)



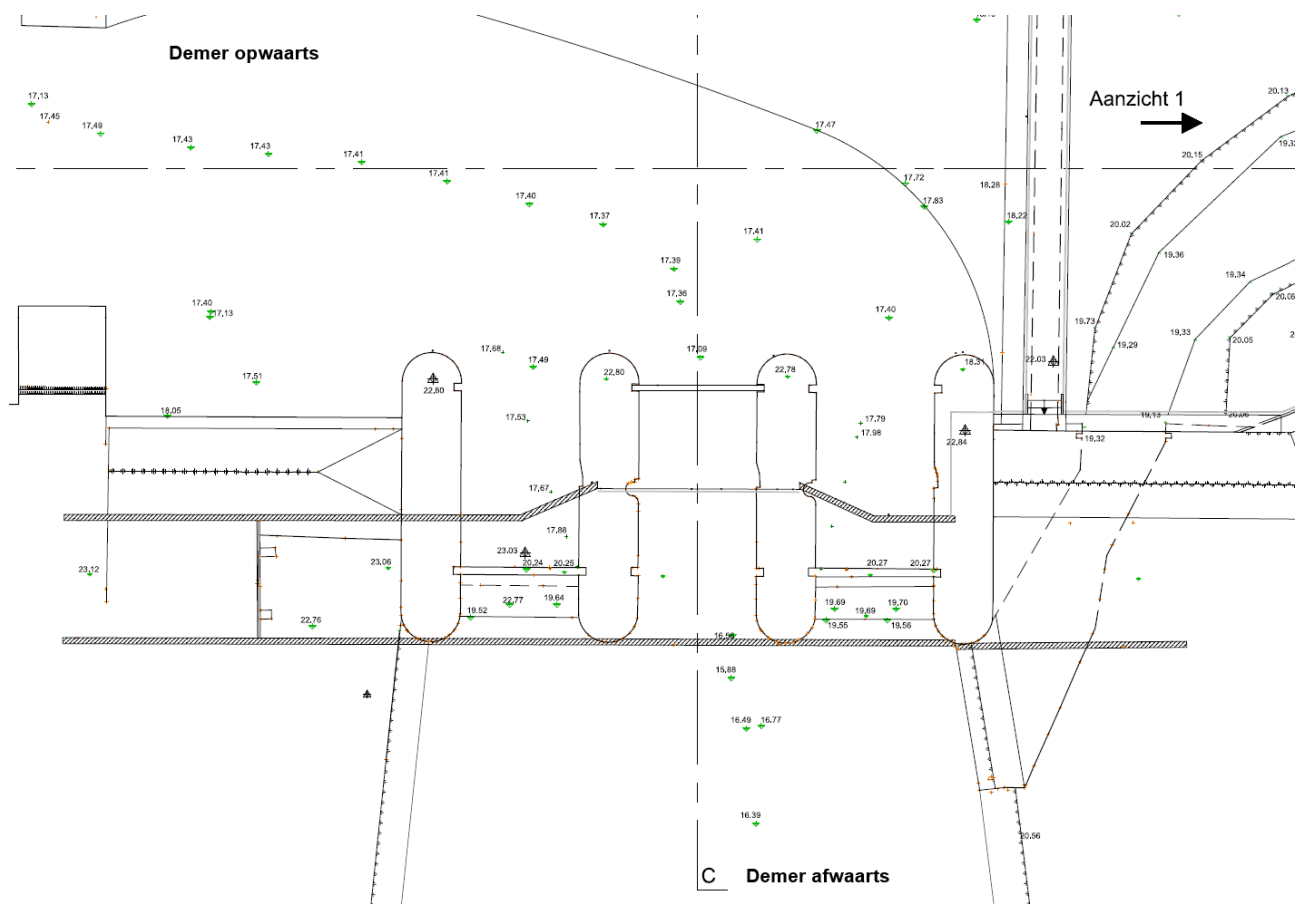
Figuur 3 – Peilen Grote Steunbeer (dwarsprofiel juist opwaarts van Grote Steunbeer, kijkrichting naar afwaarts)



Figuur 4 – Locatie fietsbrug en tijdelijke ondersteuning voor montage brug
Rode lijn: locatie tijdelijke ondersteuning; blauwe lijnen: begin landhoofden



Figuur 5 –Tijdelijke ondersteuning brugpijler (figuur boven); locatie tijdelijke ondersteuning ten opzicht van pijlers Grote Steunbeer (figuur links onder) en doorsnede tijdelijke ondersteuning (figuur rechts onder);
Bron: CSM Steelstructures N.V. (2024)

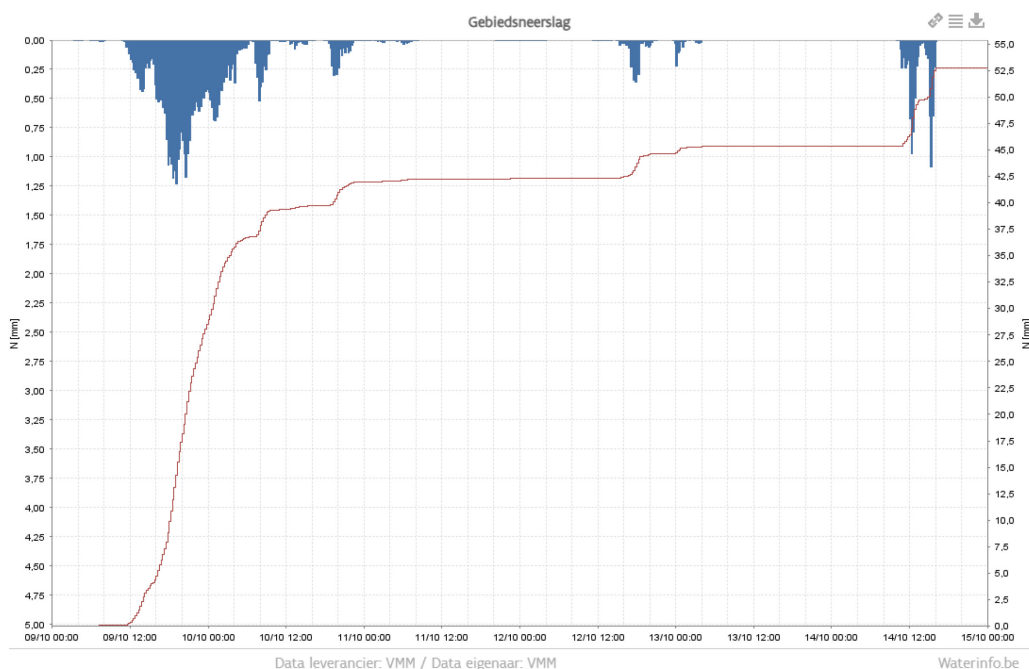


Figuur 6 – Bodempeilen opwaarts en afwaarts van Grote Steunbeer (in mTAW) Bron: Geomodus (2014)

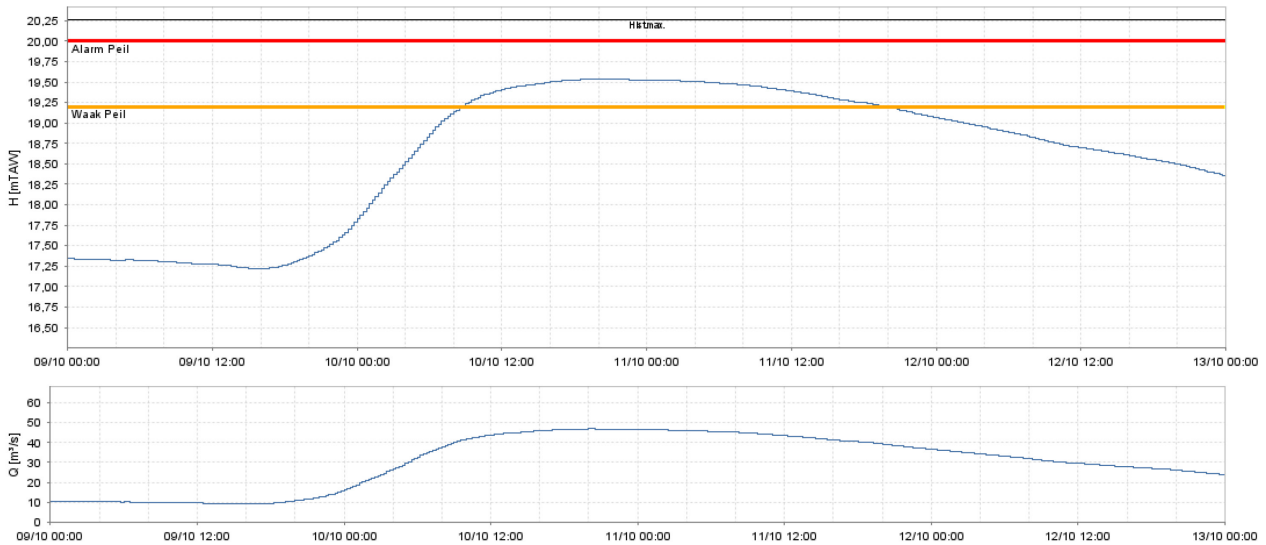
2 Terreinbezoek 10/10/2024

Op 09/10/2024 is in Vlaanderen relatief veel neerslag gevallen met een hoge afvoer in de Demer tot gevolg. Ter plaatse van de Molenstedebrug op de Demer wordt door VMM waterstand, debiet en neerslag gemeten. De Molenstedebrug, zie Figuur 1, bevindt zich afwaarts van de Grote Steunbeer. Figuur 7 toont de neerslaghoeveelheid en cumulatieve neerslaghoeveelheid ter plaatse van de meetlocatie Molenstedebrug tussen 09/10/2024 en 15/10/2024. In Figuur 8 is voor dezelfde periode de variatie in de tijd van het waterpeil en het debiet ter plaatse van deze meetlocatie gegeven. Uit Figuur 7 volgt dat op deze locatie tussen 09/10/2024 12:00 en 10/10/2024 08:00 in totaal ongeveer een 40 mm neerslag gevallen is. Deze neerslaghoeveelheid heeft op 10/10/2024 geleid tot een stijging van het waterpeil in de Demer tot een maximale waarde van +19.54 mTAW en tot een maximaal debiet in de Demer gelijk aan 46.9 m³/s.

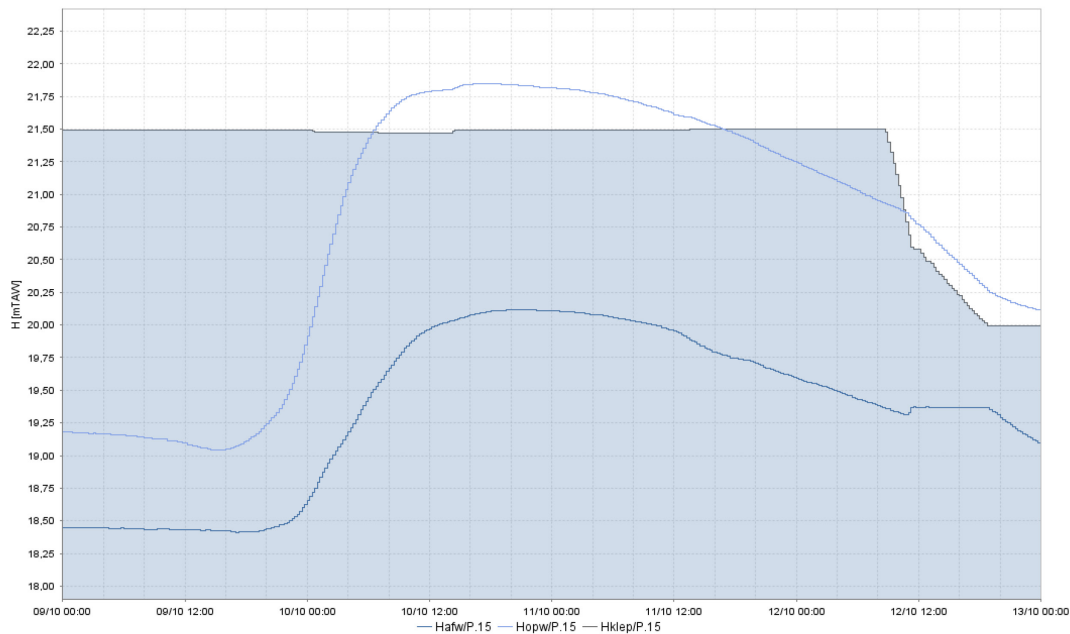
Opwaarts van de Grote Steunbeer wordt het waterpeil in de Demer gemeten ter plaatse van de stuw Webbekomsbroek. Ter plaatse van deze stuw kan water van de Demer afgeleid worden naar de Zwarte Beek om daarna juist opwaarts van de Molenstedebrug opnieuw in de Demer te stromen, zie ook Figuur 1. Figuur 9 toont de variatie in de tijd van het opwaarts waterpeil, het afwaarts waterpeil en de stuwstand van de stuw Webbekomsbroek tussen 09/10/2024 en 13/10/2024. Het opwaarts waterpeil ter plaatse van de stuw Webbekomsbroek kan beschouwd worden als opwaarts waterpeil voor de Demer ter plaatse van de Grote Steunbeer. Hierbij moet opgemerkt worden dat zich tussen de stuw Webbekomsbroek en de Grote Steunbeer, zeker bij hoge debieten, een bepaald verhang voordoet. Op 10/10/2024 is ter plaatse van de stuw Webbekomsbroek een maximale waterstand van +21.85 mTAW voorgekomen in de Demer.



Figuur 7 – Variatie in de tijd van neerslaghoeveelheid (linkse Y-as) en cumulatieve neerslaghoeveelheid (rechts Y-as) ter plaatse van meetlocatie Molenstedebrug tussen 09/10/2024 en 15/10/2024 (bron: waterinfo.be)



Figuur 8 – Variatie in de tijd van waterstand (boven) en debiet (beneden) ter plaatse van Molenstedebrug tussen 09/10/2024 en 13/10/2024 (bron: waterinfo.be)



Figuur 9 – Variatie in de tijd van waterstand afwaarts, waterstand opwaarts en klepstand van stuw Webbekomsbroek tussen 09/10/2024 en 13/10/2024 (bron: waterinfo.be)

Op 10/10/2024 heeft WL ‘s ochtends een terreinbezoek uitgevoerd ter plaatse van de Grote Steunbeer om de stromingssituatie bij deze hoge debieten na te gaan. Figuur 10 toont enkele foto’s van de stroming opwaarts en afwaarts van de Grote Steunbeer. In de beide zijopeningen van de stuw deed zich een overstort over de beide schotten voor (foto d in Figuur 10). In de middelste opening deed zich onderstroming onder het hangende schot voor samen met een overstort over dit schot (foto e in Figuur 10). Ten gevolge van de combinatie van de stromingen uit de 3 delen van de stuw deed zich afwaarts van de stuw een zeer turbulente stroming voor (foto b en c in Figuur 10). Op deze locatie was het niet mogelijk om snelheidsmetingen uit te voeren. Om die reden werd ca. 200 m afwaarts vanop een brug een debietsmeting uitgevoerd met de Riversurveyor ADCP. Het debiet op 10/10/2024 9u30 (lokale tijd) bedroeg 38.9 m³/s.



- a: Stroming opwaarts van één van de zijopeningen van de Grote Steunbeer
- b en c: Stroming afwaarts van Grote Steunbeer
- d: Overstort over schot in zijopeningen
- e: Overstort over hangend schot in de middelste opening

Figuur 10 – Stroming in de Demer opwaarts en afwaarts van de Grote Steunbeer op 10/10/2024

Aan de hand van videobeelden gemaakt tijdens het terreinbezoek kan het volgende afgeleid worden met betrekking tot de stroming afwaarts van de Grote Steunbeer (zie ook Figuur 11):

- 1) Onmiddellijk afwaarts van het overstort over de schotten in de zijopeningen doet zich een watersprong voor. Visueel wordt het einde van deze watersprong bepaald juist voor de locatie waar de fietsbrug over de Demer passeert. In Figuur 11 is dit (indicatief) aangeduid met de rode lijnen. Voorbij deze locatie doet zich een stroming voor die naar afwaarts gericht is, tussen deze locatie en de Grote Steunbeer doet zich in het bovenste gedeelte van de waterkolom een terugstroming voor in de richting van de stuwopening.
- 2) De stroming uit zijopeningen van de Grote Steunbeer vertoont een uitspreiding in de breedte. De stroming uit de middelste opening vertoont bijna geen uitspreiding in de breedte. De uitspreiding in de breedte lijkt iets groter bij de rechtse zijopening dan bij de linkse zijopening. De stroming uit de middelste opening gaat initieel rechtdoor, maar buigt ter plaatse van de oversteek van de fietsbrug beperkt af richting linkeroever door de iets hogere uitspreiding in de breedte van de stroming uit de rechtse zijopening.

Het afbuigen van de stroming uit de middelste opening in de richting van de linkeroever is ook vastgesteld na een terreinbezoek bij een lager debiet (een debiet gelijk aan $10.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ter plaatse van de meetlocatie Molenstedebrug en een waterstand opwaarts stuw Webbekomsbroek gelijk aan $+18.89 \text{ mTAW}$), zie Figuur 12. Bij deze lage debieten doet zich enkel stroming door de middelste opening voor. Juist opwaarts van de Grote Steunbeer wordt de stroming met een bocht van 90° afgebogen richting de Grote Steunbeer.

Hierdoor doet zich een sterke contractie voor van de stroming vooral aan de rechterzijde in deze middelste opening (gezien in stroomrichting). Door deze asymmetrische contractie wordt de hoofdstroom in de opening voornamelijk naar de linkerkant van de opening geduwd. Hierdoor is de stroming afwaarts van de Steunbeer ook meer naar de linkeroever gericht. De hogere stroomsnelheden doen zich voor aan linkerzijde van de volle blauwe lijn in Figuur 12. In de zone tussen de volle blauwe lijn en de blauwe streeplijn in Figuur 12 doet zich een stroming met beduidend lagere stroomsnelheid voor. De tijdelijke pijler bevindt zich in deze laatste zone met de lagere stroomsnelheid.



Figuur 11 – Stroming afwaarts van Grote Steunbeer op 10/10/2024;
zwart: indicatieve positie van de tijdelijke brugpijler, rode lijnen: visueel bepaald einde van watersprong;
blauwe lijnen: visueel bepaalde scheiding tussen stroming uit middenopening en stroming uit de zijopeningen



Figuur 12 – Stroming afwaarts van Grote Steunbeer bij laag debiet; zwart: indicatieve positie van de tijdelijke brugpijler; blauwe lijnen: Zone met hoge stroomsnelheid; blauwe streeplijnen: zone met lagere stroomsnelheid

3 Stroomsnelheid ter plaatse van tijdelijke brugpijler

Algemeen kan het stromingspatroon ter plaatse van de Grote Steunbeer als volgt beschreven worden:

- Bij een opwaartse waterstand lager dan de bovenzijde van de beide schotten in de twee zijopeningen van de Grote Steunbeer, is er enkel stroming door de middelste opening. Afhankelijk van het opwaarts waterpeil kunnen zich dan nog twee mogelijke toestanden voordoen:
 - Indien het waterpeil lager is dan het peil van de onderzijde van het houten schot in de middelste opening, wordt de stroming beschouwd als een stroming over een brede drempel, aangezien het bodempeil van de middelste opening beperkt hoger gelegen is dan het bodempeil juist afwaarts ervan.
 - Indien het opwaarts waterpeil hoger is dan het peil van de onderzijde van het houten schot doet zich in de middelste opening een onderstroming onder het hangende schot voor.
- Bij een opwaartse waterstand hoger dan de bovenzijde van de beide schotten in de twee zijopeningen, maar lager dan het bovenpeil van het hangende schot in de middelste opening, doet zich in de twee openingen aan de zijkant een stroming ten gevolge van overstorting over de beide schotten voor en in de middelste opening een onderstroming onder het hangende schot.
- Indien het waterpeil stijgt tot boven het bovenpeil van het hangende schot doet zich in de middelste opening zowel een onderstroming onder het hangende schot als een overstort over het hangende schot voor. In de twee openingen aan de zijkant doet zich een stroming ten gevolge van overstorting over de beide schotten voor.

De tijdelijke pijler zal zich op 6 m afwaarts van de middelste opening van de Grote Steunbeer bevinden (zie Figuur 5). De stroming door de middelste opening wordt geleid door de steunmuren van de Grote Steunbeer. Deze geleiding zorgt ervoor dat de stroming pas na een bepaalde afstand begint uit te spreiden in breedte en dat de breedte van de stroming onmiddellijk afwaarts van de constructie gelijk blijft aan de breedte tussen de steunmuren van de Grote Steunbeer. De afstand waarover de stroming min of meer constant blijft bedraagt 6 à 10 maal de hydraulische diameter van de stroming tussen de steunmuren. Het waterpeil ter plaatse van het meetpunt Molenstedebrug op de Demer afwaarts van de Grote Steunbeer varieert tussen +16.25 mTAW en de maximaal gemeten waterstand van +20.26 mTAW (bron: Waterinfo.be). Hierbij wordt opgemerkt dat de waterstand ter plaatse van de Grote Steunbeer omwille van de meer opwaartse locatie beperkt hoger zal zijn. De waterdiepte boven het bodempeil van de middelste opening bedraagt bijgevolg maximaal 3.0 m à 3.5 m. Bij een waterdiepte van bijvoorbeeld 1.0 m bedraagt de afstand waarover de stroming constant blijft een 6 m à 10 m. Bij hogere waterdieptes neemt deze afstand toe tot een 18 m à 35 m bij een maximale waterdiepte van 3.5 m. Daarnaast wordt verwacht dat ook de uitspreiding over de diepte klein is aangezien de waterdiepte afwaarts van de stuw over deze afstand maar zeer beperkt toeneemt. Hieruit volgt dat de tijdelijke pijler voornamelijk onderhevig is aan stroming uit de middelste opening en wegens de uitspreiding in de breedte van de stroming uit de rechter zijopening beperkt onderhevig is aan de stroming uit deze zijopening (zie ook hoofdstuk 3). Ten gevolge van overstort over de schotten in de zijopeningen of overstort over het hangend schot in de middelste opening en bij onderstroming onder het hangend schot in de middelste opening doet zich aan afwaartse zijde een watersprong voor. Uit het terreinbezoek volgt dat de tijdelijke pijler zich juist afwaarts bevindt van de zone waarin de watersprong zich voordoet. Afwaarts van het einde van de watersprong is de stroming min of meer uniform verdeeld over de hoogte van de waterkolom. Bijgevolg wordt de stroomsnelheid ter plaatse van de tijdelijke pijler berekend door het debiet door de betreffende opening te delen door de natte sectie (breedte x hoogte).

Het debiet door de openingen van de Grote Steunbeer wordt algemeen als volgt bepaald:

- 1) Bij waterpeilen lager dan de onderzijde van het hangend schot doet zich zoals hierboven vermeld stroming over een brede overlaat voor. Hiervoor wordt het debiet als volgt berekend (Bos, 1989):

$$Q = C_d C_v \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g b H^{1.5}$$

Met:

- Q	Debiet over brede overlaat	[m ³ /s]
- C _d	Debietscoëfficiënt	[-]
	$C_d = 0.93 + 0.10 H/L$	
- C _v	Snelheidscoëfficiënt	[-]
- b	Breedte overlaat	[m]
- H	Opwaartse waterhoogte boven kruin brede overlaat	[m]
- g	Valversnelling	[m/s ²]
- L	Lengte brede overlaat	[m]

Hierbij wordt opgemerkt dat de waarde van de snelheidscoëfficiënt C_v afgelezen wordt in figuur 1.12 in Bos (1989) in functie van de verhouding van de natte sectie boven de overlaat (A, in m²) tot de natte sectie opwaarts van de overlaat (A_o, in m²).

- 2) Bij onderstroming onder het hangend schot wordt het debiet als volgt bepaald (Bos, 1989):

$$Q = A w^{0.5} K \sqrt{2 g}$$

Met:

- Q	Debiet onder schuif	[m ³ /s]
- A	Oppervlakte onder schuif	[-]
- w	Hoogte onder de schuif	[-]
- $K \sqrt{2 g}$	Coëfficiënt	[m]
- g	valversnelling	[m/s ²]

Hierbij wordt opgemerkt dat de waarde van de coëfficiënt $K \sqrt{2 g}$ afgelezen wordt in tabel 8.3 in Bos (1989) in functie van de waarde van de verhouding van de opwaartse waterhoogte H (in m) tot de hoogte w onder de schuif.

- 3) Bij overstort over de schotten in de zijopeningen of overstort over het hangend schot in de middelste openingen wordt het debiet bepaald aan de hand van volgende formulering voor het debiet bij een overlaat met scherpe kruin Bos (1989):

$$Q = C_d C_v \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g b H^{1.5}$$

Met:

- Q	Debiet over overlaat	[m ³ /s]
- C _d	Debietscoëfficiënt	[-]
- C _v	Snelheidscoëfficiënt	[-]
- b	Breedte overlaat	[m]
- H	Opwaartse waterhoogte boven kruin overlaat	[m]
- g	Valversnelling	[m/s ²]

Hierbij wordt opgemerkt dat de waarde voor de debietscoëfficiënt C_d afgelezen wordt op basis van tabel 5.2 in Bos (1989) in functie van de verhouding van de breedte b_w van de overlaat tot de breedte b_o van de rivier opwaarts van de overlaat en de verhouding waterhoogte boven kruin H tot hoogte p_1 van bovenzijde schot tot bodempeil opening. De waarde van de snelheidscoëfficiënt C_v wordt afgelezen in figuur 1.12 in Bos (1989) in functie van de verhouding van de natte sectie boven de overlaat (A) tot de natte sectie opwaarts van de overlaat (A_o).

Aan de hand van deze formuleringen is voor 6 waterpeilen juist opwaarts van de Grote Steunbeer het debiet door de middelste opening en de debieten door de beide zijopeningen berekend. De berekening is uitgevoerd voor de volgende waterpeilen juist opwaarts van de Grote Steunbeer:

- +18.55 mTAW: Waterpeil juist lager dan onderzijde hangend schot in middelste opening; Enkel stroming door middelste opening (type stroming: stroming over brede overlaat).
- +20.24 mTAW: Waterpeil gelijk aan bovenzijde schot in linkse zijopening; Enkel stroming door middelste opening (type stroming: onderstroming onder hangend schot).
- +20.80 mTAW: Waterpeil gelijk aan bovenzijde hangend schot in middelste opening. Stroming door middelste opening (type: onderstroming onder hangend schot) en de beide zijopeningen (type stroming: overstort over schot in de zijopeningen).
- +21.15 mTAW: Waterpeil opwaarts tijdens terreinbezoek 10/10/2024; Stroming door middelste opening (type: zowel onderstroming onder hangend schot als overstort over hangend schot) en de beide zijopeningen (type stroming: overstort over schot in de zijopeningen).
- +21.50 mTAW: waterpeil tussen +21.15 mTAW en +22.00 mTAW; Stroming door middelste opening (type: zowel onderstroming onder hangend schot als overstort over hangend schot) en de beide zijopeningen (type stroming: overstort over schot in de zijopeningen).
- +22.00 mTAW: Maximaal vulpeil wachtbekken Webbekom; Stroming door middelste opening (type: zowel onderstroming onder hangend schot als overstort over hangend schot) en de beide zijopeningen (type stroming: overstort over schot in de zijopeningen).

De berekening van de debieten door de openingen van de Grote Steunbeer voor deze waterpeilen is gegeven in Tabel 6 tot en met Tabel 10 in Bijlage 1. Tabel 1 geeft een overzicht van het totale debiet door alle openingen van de Grote Steunbeer en vergelijkt dit met het gemeten debiet. Bij deze vergelijking moet het volgende opgemerkt worden:

1. Voor de vergelijking zijn de waterstanden te Molenstedebrug en Stuw Webbekomsbroek en het debiet gemeten ter plaatse van de Molenstedebrug in waterinfo.be opgevraagd voor de periode 29/07/2024 tot en met 29/10/2024. Om de vergelijking uit te voeren zijn in de tijdreeks voor de waterstand opwaarts stuw Webbekomsbroek een aantal tijdstippen opgezocht waarop het gemeten waterpeil gelijk was aan het waterpeil waarvoor de berekening is uitgevoerd, rekening houdend met het verhang tussen de Grote Steunbeer en de locatie van de stuw (zie volgende punt).
2. Er is als volgt een inschatting gemaakt van het verhang tussen stuw Webbekomsbroek en de Grote Steunbeer: Tijdens het terreinbezoek van WL op 10/10/2024 werd ter plaatse van de Grote Steunbeer bij een debiet van 38.9 m³/s met behulp van een vouwmeter (ten opzichte van de bovenzijde van de pijlers van de Grote Steunbeer) een waterpeil opgemeten gelijk aan +21.15 mTAW. Op datzelfde moment werd ter plaatse van de stuw Webbekomsbroek een waterpeil gelijk aan +21.68 mTAW opgemeten. Bij dit debiet bedroeg het verhang bijgevolg 0.53 m. Bij de lage waterpeilen opwaarts wordt voor het uitvoeren van de vergelijking met de meetgegevens het verhang verwaarloosd. Bij de waterpeilen +20.24 mTAW en +20.80 mTAW wordt een debiet tussen 26.0 m³/s en 34.0 m³/s berekend. Voor deze debieten wordt (arbitrair) een verhang van 0.25 m beschouwd tussen stuw Webbekomsbroek en de Grote Steunbeer. In de beschouwde meetperiode bedraagt het maximaal waterpeil opwaarts van de stuw Webbekomsbroek +21.84 mTAW. Dit waterpeil is lager dan het voor de berekening toegepaste waterpeil +21.50 mTAW vermeerderd met 0.50 m als inschatting voor het verhang. Bijgevolg is de vergelijking met de meetgegevens voor waterpeil +21.50 mTAW uitgevoerd met de meetgegevens bij het tijdstip van het maximaal gemeten waterpeil opwaarts de stuw Webbekomsbroek. Voor het waterpeil +22.00 mTAW

is vergeleken met het maximale debiet en het maximale waterpeil gemeten in het jaar 2003 (afgelezen uit de tabellen met percentielen voor waterstand en debiet voor alle metingen ter plaatse van meetlocatie Molenstedebrug in waterinfo.be).

3. Juist afwaarts van de Grote Steunbeer en juist opwaarts van de Molenstedebrug mondt de Zwarte Beek uit in de Demer. De invloed van dit debiet is niet meegenomen in de berekeningen. Vooral bij lage debieten, wanneer de stuw Webbekomsbroek volledig geopend is, zullen deze in vergelijking met het debiet van de Demer van belang kunnen zijn. Door geen rekening te houden met dit debiet is de berekening van de stroomsnelheid ter plaatse van de Grote Steunbeer eerder conservatief. Bij hoge debieten is de invloed van dit debiet eerder verwaarloosbaar. Daarnaast valt op dat voor een aantal tijdstippen met eenzelfde opwaarts waterpeil ter plaatse van stuw Webbekomsbroek een verschillend debiet ter plaatse van meetlocatie Molenstedebrug is opgemeten. Dit maakt dat de vergelijking eerder neer komt op het nagaan of het berekende debiet in de range van opgemeten debieten ligt, dan het uitvoeren van een exacte kwantitatieve vergelijking met de meetgegevens.
4. Tabel 1 geeft voor de verschillende beschouwde tijdstippen uit de meetreeks ook de waarden van de waterstand gemeten te Molenstedebrug. Deze waterstand wordt verder in dit hoofdstuk gebruikt voor de berekening van de stroomsnelheid ter plaatse van de tijdelijke pijler van de fietsbrug.

Uit de vergelijking in Tabel 1 volgt dat het berekende totale debiet door de Demer ter plaatse van de Grote Steunbeer tot een waterpeil opwaarts gelijk aan +21.15 mTAW een relatief goede benadering is van de opgemeten debieten. De berekende debieten liggen bij deze waterpeilen binnen de range van opgemeten debieten of zijn slechts beperkt hoger. Voor de hogere waterpeilen +21.50 mTAW en +22.00 mTAW overschat het berekende debiet het gemeten debiet met een 8 à 9 m³/s. Dit is een overschatting met 12 % à 20 %.

Tabel 1 – Resultaat berekening totaal debiet door Grote Steunbeer en vergelijking met gemeten debieten en waterstanden

Berekening		Meetresultaten			
Waterpeil opwaarts	Totaal debiet	Tijdstip	Waterpeil Stuw Webbekomsbroek	Waterpeil Molenstedebrug	Debiet Molenstedebrug
mTAW	m ³ /s		mTAW	mTAW	m ³ /s
+18.55	11.4	29/07/2024 20:15	+18.93	+17.08	7.62
		12/08/2024 21:00	+18.93	+17.05	7.63
		28/10/2024 18:00	+18.96	+17.39	10.9
		03/11/2024 15:00	+18.89	+17.32	10.1
+20.24	26.1	02/08/2024 18:45	+20.51 ⁽¹⁾	+18.44	25.3
		10/10/2024 02:15	+20.54 ⁽¹⁾	+18.20	21.5
		12/10/2024 15:45	+20.50 ⁽¹⁾	+18.61	28.0
+20.80	34.0	10/10/2024 04:00	+21.04 ⁽¹⁾	+18.49	26.0
		12/10/2024 05:45	+21.05 ⁽¹⁾	+18.90	33.3
+21.15	43.0	10/10/2024 08:45	+21.15	+19.19	38.9
+21.50	56.1	10/10/2024 20:00	+21.84 ⁽²⁾	+19.73	46.8
+22.00	75.0	Maximale waarde gemeten in 2003	⁽³⁾	+20.26	67.0

⁽¹⁾ Waarde +0.25 m hoger dan waterpeil opwaarts Grote Steunbeer om rekening te houden met verhang van ca. 0.25 m tussen stuw Webbekomsbroek en de Grote Steunbeer

⁽²⁾ Maximale waarde gemeten in periode 29/07/2024 – 29/10/2024

⁽³⁾ Maximale waarde gemeten in 2003 niet beschikbaar in waterinfo.be

Met behulp van de berekende debieten door de verschillende openingen van de Grote Steunbeer is daarna de stroomsnelheid bepaald ter plaatse van de raai afwaarts van de Grote Steunbeer waar de tijdelijke brugpijler zal geplaatst worden. De tijdelijke brugpijler bevindt zich grotendeels in de stroming van de middelste opening van de Grote Steunbeer en voor een beperkt deel in de stroming van de rechtse zijopening. Om die reden wordt de stroomsnelheid bepaald voor het deel van de raai dat zich voor de middelste opening bevindt en het deel van de raai dat zich voor de rechtse zijopening bevindt. De stroomsnelheid in deze delen van de raai wordt berekend door het debiet te delen door de natte sectie. Hiervoor wordt een bodempeil gelijk aan +16.50 mTAW beschouwd. Voor de verschillende beschouwde opwaartse waterpeilen wordt als afwaarts waterpeil de waarde beschouwd die opgemeten is ter plaatse van de locatie Molenstedebrug op het tijdstip waarvoor het debiet zo dicht mogelijk bij het berekende debiet gelegen is. Hierbij wordt opgemerkt dat het beschouwen van het waterpeil ter plaatse van locatie Molenstedebrug conservatief is. De meetlocatie ligt namelijk een 600 m afwaarts van de Grote Steunbeer. Bij lage debieten is het verhang over deze afstand eerder verwaarloosbaar. Bij hoge debieten echter zal het waterpeil ter plaatse van de Grote Steunbeer beperkt hoger zijn dan dit ter gemeten ter plaatse van Molenstedebrug. Voor de breedte van de stroming wordt voor de middelste opening een breedte van 4.0 m beschouwd, i.e. de breedte tussen de pijlers van de middelste opening. Hierbij wordt geen uitspreiding van de stroming in de breedte verondersteld. Enkel bij het laagste waterpeil van +18.55 mTAW wordt voor de middelste opening een breedte gelijk aan 3.0 m beschouwd, wegens contractie van de stroming aan het opwaartse uiteinde van de opening. Voor de rechtse zijopening wordt een breedte van de stroming gelijk aan 6.0 m beschouwd, i.e. de breedte van de rechtse zijopening vermeerderd met de breedte van de tussenpijler van de Grote Steunbeer, om rekening te houden met de uitspreiding van de stroming in de breedte.

Gebruik makend van deze gegevens en het berekende debiet door de openingen van de Grote Steunbeer is voor de verschillende beschouwde opwaartse waterpeilen de stroomsnelheid berekend in het gedeelte van de raai dat zich net afwaarts van de middelste en de rechtse zijopening bevindt. De resultaten hiervan zijn gegeven in Tabel 2. Uit de tabel volgt in het gedeelte van de raai voor de middelste opening een hoge stroomsnelheid tot 4.26 m/s bij het laagste waterpeil opwaarts gelijk aan +18.55 mTAW. Deze stroomsnelheid neemt af naar snelheden tussen 2.91 m/s à 3.37 m/s bij waterpeilen tussen +20.24 mTAW en +21.15 mTAW. Bij nog hogere waterpeilen daalt de stroomsnelheid nog verder naar 2.84 m/s à 2.88 m/s. Voor de rechtse zijopening worden beduidend lagere stroomsnelheden berekend tussen 1.37 m/s en 1.78 m/s omwille van de lagere debieten bij overstort over het schot in deze opening en de uitspreiding in de breedte van de stroming.

Tabel 2 – Resultaat berekening stroomsnelheid in het gedeelte van de raai ter plaatse voor de middelste en de rechtse zijopening van de Grote Steunbeer

Waterpeil opwaarts	Totaal debiet	Debiet		Waterpeil afwaarts	Bodempeil afwaarts	Waterdiepte afwaarts	Stroomsnelheid	
		Middelste opening	Zijopening rechts				Middelste opening	Zijopening rechts
mTAW	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	mTAW	mTAW	mTAW	m/s	m/s
18.55	11.4	11.4	n.v.t.	17.39	16.50	0.82	4.26	n.v.t.
20.24	26.1	26.1	n.v.t.	18.44	16.50	1.94	3.37	n.v.t.
20.80	34.0	28.4	2.9	18.50	16.50	2.00	2.96	1.37
21.15	43.0	29.8	6.0	19.19	16.50	2.69	2.91	1.53
21.50	56.1	32.6	9.8	19.73	16.50	3.23	2.84	1.65
22.00	75.0	34.2	16.2	20.26	16.50	3.76	2.88	1.78

4 Bepaling van kracht ten gevolge van stroming op tijdelijke brugpijler

Algemeen wordt de sleepkracht van de stroming op een object in deze stroming berekend aan de hand van de volgende formulering:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A U^2$$

Met:

-	F_D	Kracht ten gevolge van stroming	[N]
-	C_D	Sleepcoëfficiënt	[-]
-	ρ	Dichtheid water (=1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	A	Aangestroomde oppervlakte	[m ²]
-	U	Stroomsnelheid	[m/s]

Het doel van dit advies is het bepalen van de kracht op de tijdelijke brugpijler. De tijdelijke pijler is opgebouwd uit ronde buisprofielen CHS 168.3/12.5 die verbonden zijn met L-vormige profielen H70/7. Enerzijds kan de totale kracht op de volledige constructie bepaald worden met het oog op de dimensionering van de verbindingen met de bodem, anderzijds kan ook de kracht op de buisprofielen of L-vormige profielen zelf bepaald worden met het oog op de stabiliteit van deze profielen. Om ervoor te zorgen dat de berekening voor beide doelen kan gebruikt worden, wordt de kracht van de stroming op een buisprofiel of op een L-vormig profiel bepaald per eenheidslengte. Hierbij wordt het L-vormig profiel voor de eenvoud beschouwd als een vlakke rechthoekige plaat in een stroming. Op deze wijze kan de sleepkracht per eenheidslengte F'_D als volgt berekend worden voor het cilindervormig profiel en voor de rechthoekige plaat:

$$F'_{Dc} = \frac{1}{2} C_{Dc} \rho D U^2 \quad \text{cilindervormige profiel}$$

$$F'_{Dp} = \frac{1}{2} C_{Dp} \rho b U^2 \quad \text{Rechthoekige plaat}$$

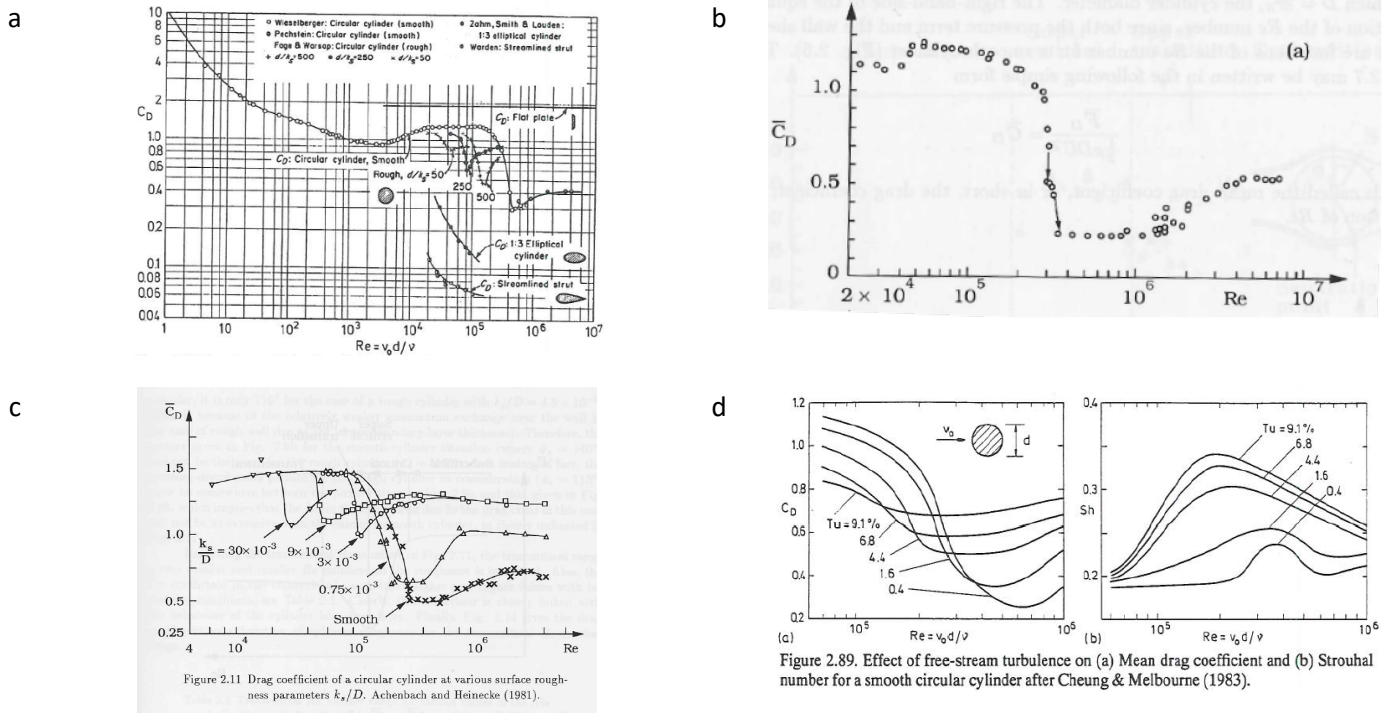
Met:

-	F'_{Dc}, F'_{Dp}	Kracht per eenheidslengte ten gevolge van stroming op cilindervormig profiel en rechthoekige plaat	[N/m]
-	C_{Dc}, C_{Dp}	Sleepcoëfficiënt cilinder en sleepcoëfficiënt rechthoekige plaat	[-]
-	ρ	Dichtheid water (=1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
-	D	Diameter cilinder	[m]
-	b	Breedte rechthoekige plaat	[m]
-	U	Stroomsnelheid	[m/s]

De sleepcoëfficiënt is een functie van het Reynoldsgetal Re van de stroming. Daarnaast wordt de sleepcoëfficiënt beïnvloed door de relatieve wandruwheid van de cilinder, de turbulentie van de stroming, de nabijheid van een wand of andere cilinders en de lengte van de cilinder. Figuur 13 geeft een overzicht van de variatie van de sleepcoëfficiënt in functie van het Reynoldsgetal, de invloed van de wandruwheid, en de turbulentie-intensiteit op de sleepcoëfficiënt.

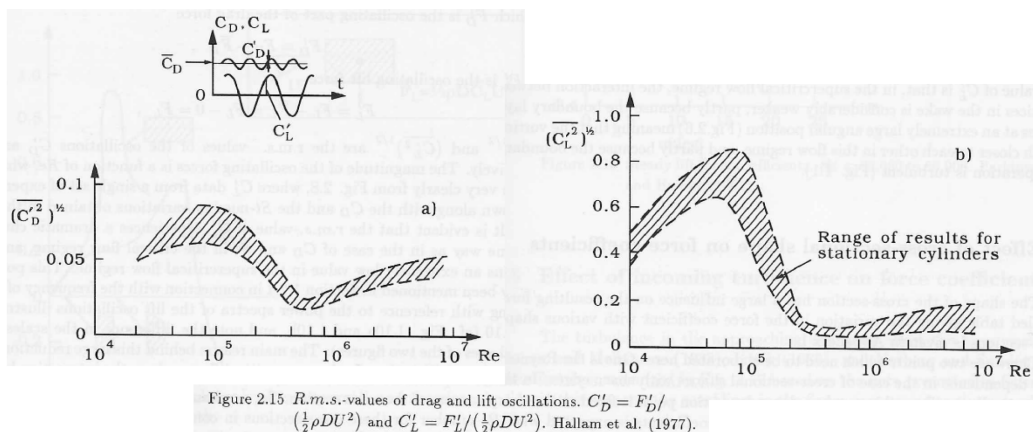
Bij Figuur 13 wordt opgemerkt dat dit de tijdsgemiddelde waarden van de sleepcoëfficiënt betreffen. Omwille van het turbulente karakter van de stroming doen er zich oscillaties van de sleepcoëfficiënt voor rond deze gemiddelde waarde. De grootte van de overeenkomstige root-mean-square (rms) waarde is voorgesteld in Figuur 14.

De stroming ter plaatse van de tijdelijke brugpijler is een zeer turbulente stroming met een hoge waarde voor het Reynoldsgetal (≈ 500000). Daarnaast geldt ook dat buispalen een glad oppervlak hebben waardoor er geen rekening moet gehouden worden met ruwheid van het oppervlak. Bij deze hoge Reynoldsgetallen wordt uit Figuur 13 een waarde van de sleepcoëfficiënt tussen 0.30 à 0.60 afgelezen voor het ronde buisprofiel. De tijdsafhankelijke variaties bedragen 0.03 à 0.05.



- a: Variatie van de sleepcoëfficiënt voor een oneindig lange cilinder in functie van het Reynoldsgetal uit Naudascher (1991);
- b: Variatie van de sleepcoëfficiënt voor een oneindig lange cilinder in functie van het Reynoldsgetal uit Mutlu Sumer & Fredsoe (2006);
- c: Invloed van oppervlakteruwheid op de sleepcoëfficiënt (Mutlu Sumer & Fredsoe, 2006);
- d: invloed van turbulentie op de sleepcoëfficiënt en het Strouhal-getal (Mutlu Sumer & Fredsoe, 2006; Naudascher, 1991).

Figuur 13 – Variatie van de sleepcoëfficiënt in functie van Reynoldsgetal, invloed van oppervlakteruwheid en turbulentie

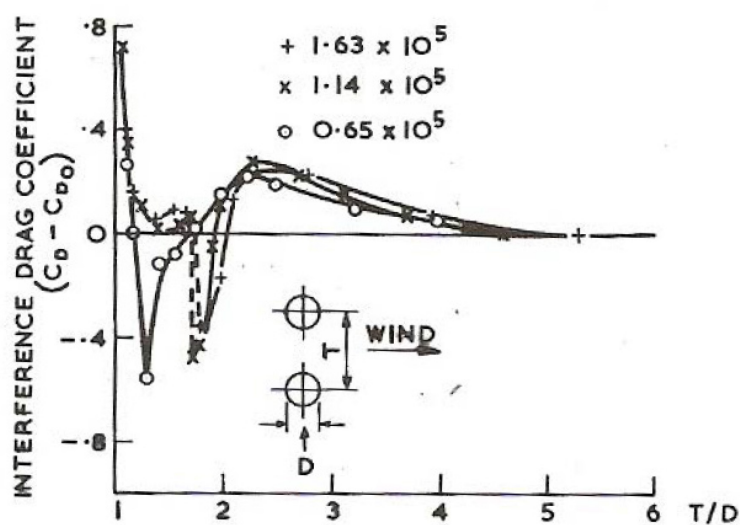


Bron: Mutlu Sumer & Fredsoe (2006)

Figuur 14 – Variatie van de rms-waarde van de sleepcoëfficiënt C_D' en de rms-waarde van de liftcoëfficiënt C_L' in functie van het Reynoldsgetal

De in Figuur 13 afgelezen waarden voor de sleepcoëfficiënt van het ronde buisprofiel betreffen waarden voor één cilindervormig profiel in een stroming. De tijdelijke brugpijler bestaat in vooraanzicht uit 2 buisprofielen naast elkaar met een tussenafstand van 2 m. Crowley (2008), verwijzend naar Biermann & Hernnstein (1933), vermeldt voor twee pijlers loodrecht op de stroming een interferentie sleepcoëfficiënt, dewelke de afwijking beschrijft tussen de waarde voor twee pijlers naast elkaar en deze voor één pijler. De interferentie sleepcoëfficiënt kan tot 0.5 bedragen bij een verhouding tussenafstand tot diameter van de pijler van 1 à 2, zie Figuur 15. Vanaf een verhouding tussenafstand tot diameter van de pijler gelijk aan 5 is de waarde van de interferentie sleepcoëfficiënt gelijk aan 0, wat betekent dat stroming rond de beide pijlers elkaar niet meer beïnvloedt.

Voor de tijdelijke brugpijler bestaande uit buisprofielen diameter 0.168 m met een tussenafstand 2.0 m wordt een verhouding tussenafstand tot diameter buisprofiel berekend die gelijk is aan 11.9, wat beduidend hoger is dan 5.0. Bijgevolg mogen voor de ronde buispalen de waarden voor de sleepcoëfficiënt voor een enkele cilinder in een stroming beschouwd worden.



Figuur 15 – Interferentie sleepcoëfficiënt voor 2 pijlers loodrecht op een stroming (Biermann & Hernnstein, 1933)

Voor de sleepcoëfficiënt van de L-vormige profielen die de ronde buisprofielen verbinden, worden de L-vormige profielen voor de eenvoud als een rechthoekige plaat beschouwd. Voor een rechthoekige plaat in een 2D- stroming vermeldt Hoerner (1965) een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 1.98.

VMM heeft ook gevraagd om de invloed van takken en drijfvuil die met de stroming meegesleurd worden en tegen de brugpijler blijven hangen te begroten. Voor takken en drijfvuil vermeldt Cantero-Chinchilla *et al.* (2018) een overzicht van schaalmodelproeven die uitgevoerd zijn met drijfvuil voor een enkele brugpijler. Uit deze schaalmodelproeven volgt een sleepcoëfficiënt die varieert tussen 0.5 en 2.5. American Association of State Highway and Transportation Officials (2007) vermeldt voor drijfvuil tegen een brugpijler een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 1.4. In Ballio *et al.* (2024) wordt op basis van schaalmodelproeven een sleepcoëfficiënt voor drijfvuil afgeleid, die varieert in functie van de relatieve geblokkeerde oppervlakte en het Froudegetal van de stroming. In de veronderstelling dat het drijfvuil zich bevindt tegen de volledige zijde van de tijdelijke brugpijler (breedte = 2.0 m) en dat de hoogte een 0.5 m bedraagt, dan varieert de verhouding van de geblokkeerde oppervlakte tussen 7 % en 13 % bij een waterdiepte die varieert tussen 1.94 m en 3.76 m en een breedte van de stroming gelijk aan 4.0 m (breedte van de middelste opening van de Grote Steunbeer). Het Froudegetal van de stroming is bij een stroomsnelheid van 2.88 m/s en een waterdiepte van 3.76 m gelijk aan 0.47 en bij een stroomsnelheid van 3.37 m/s en een waterdiepte van 1.94 m gelijk aan 0.77.

Bij deze waarden van relatieve geblokkeerde oppervlakte en Froudegetal van de stroming wordt in Ballio *et al.* (2024) een waarde voor de sleepcoëfficiënt afgelezen die kan variëren tussen 1.9 en 3.2 afgelezen. In Elliot & Froehlich (2012) worden waarden met ongeveer dezelfde grootteorde, i.e. 2.1 à 2.3, vermeldt voor de sleepcoëfficiënt van geaccumuleerd drijfvuil tegen brugpijlers. Aan de hand van deze beperkte literatuurstudie met betrekking tot accumulatie van drijfvuil tegen brugpijlers wordt voor drijfvuil en takken die tegen brugpijlers blijft hangen een waarde voor de sleepcoëfficiënt bepaald die varieert tussen 2.0 en 2.5.

Met behulp van de hierboven afgeleide waarden voor de sleepcoëfficiënt wordt de kracht op het cirkelvormig buisprofiel, het L-vormig profiel en de accumulatie van drijfvuil berekend. De berekening wordt uitgevoerd voor de stroomsnelheden in het gedeelte van de raai ter plaatse van de middelste opening van de Grote Steunbeer, zie Tabel 2 in hoofdstuk 3. Hierbij wordt het laagste waterpeil van +18.55 mTAW niet beschouwd. Bij dit waterpeil zorgt de afbuiging van de stroming naar de linkeroever, zie hoofdstuk 2, er namelijk voor dat de hoge stroomsnelheden zich naast de tijdelijke brugpijler voordoen. De krachten worden berekend per eenheidslengte (voor het cilindervormig profiel of het L-vormig profiel) of per eenheidshoogte (voor de accumulatie van drijfvuil). Hierbij worden voor de waarden van de sleepcoëfficiënt voor het cilindervormig profiel zowel een waarde 0.50 als een waarde 0.80 beschouwd, wordt voor het L-vormig profiel de waarde 1.98 beschouwd en wordt voor de accumulatie van drijfvuil zowel de waarde 2.0 als de waarde 2.5 beschouwd. De resultaten van de berekening zijn gegeven in Tabel 3.

Uit de tabel volgt voor het cilindervormig profiel dat de kracht per eenheidslengte varieert tussen 348 N/m en 477 N/m bij een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 0.50 en tussen 557 N/m en 763 N/m bij een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 0.80. Voor het L-vormig profiel varieert de kracht per eenheidslengte tussen 575 N/m en 787 N/m. Voor de accumulatie van drijfvuil varieert de kracht per eenheidshoogte tussen 16100 N/m en 22750 N/m bij een waarde van de sleepcoëfficiënt gelijk aan 2.0 en tussen 20100 N/m en 28500 N/m bij een waarde van de sleepcoëfficiënt gelijk aan 2.5. Hierbij wordt opgemerkt dat verondersteld wordt dat de volledige breedte van de tijdelijke pijler geblokkeerd is met takken en drijfvuil. De hoogte van de accumulatie van drijfvuil zal vermoedelijk lager zijn dan 1.0 m of zelfs lager dan 0.5 m, maar dit kan best door VMM op basis van ervaringsgegevens ingeschat worden. Aan de hand van de op deze wijze berekende krachten per eenheidslengte of eenheidshoogte kan dan de totale kracht op de tijdelijke brugpijler bepaald worden door de juiste lengte van de verschillende profielen en het aantal profielen in rekening te brengen.

Tabel 3 – Berekening kracht per eenheidslengte op cilindervormig profiel en L-vormig profiel van tijdelijke brugpijler en kracht per eenheidshoogte bij accumulatie van drijfvuil voor de verschillende beschouwde waterpeilen opwaarts van de Grote Steunbeer

Waterpeil	H	mTAW	+20.24	+20.80	+21.15	+21.50	+22.00	
Waterdiepte	h	m	1.94	2.00	2.69	3.23	3.76	
Stroomsnelheid	U	m/s	3.37	2.96	2.91	2.84	2.88	
Cilindervormig profiel CHS168.3/12.5	Diameter	D	m	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	Kracht per eenheidslengte	F'_{Dc}	N/m	477	368	356	339	348
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	Kracht per eenheidslengte	F'_{Dc}	N/m	763	589	569	542	557
L-vormig profiel H70/7	Breedte	b	m	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Kracht per eenheidslengte	C_d	-	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
	Sleepcoëfficiënt	F'_{Dp}	N/m	787	607	587	559	575
Accumulatie drijfvuil	Breedte	b	m	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Kracht per eenheidshoogte	F'_{Dt}	N/m	22714	17523	16936	16131	16589
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
	Kracht per eenheidshoogte	F'_{Dt}	N/m	28392	21904	21170	20164	20736

5 Conclusies

De Grote Steunbeer op de Demer te Diest is een stuw die bestaat uit 3 openingen, elk met een breedte van 4 m. In de twee openingen aan de zijkant staan aan afwaartse zijde twee schotten met vaste hoogte, aan opwaartse zijde van de middelste opening is een vast houten schot opgehangen. De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) wil de Grote Steunbeer restaureren en automatiseren, met als doel het waterpeil te verhogen en de stroming opnieuw door de stad te leiden. Daarnaast wordt door VMM ook een boogvormige fietsbrug voorzien juist afwaarts van de Grote Steunbeer. De stalen brug wordt gebouwd in twee delen, dewelke boven de Demer aan elkaar gelast worden. Hiervoor dient een tijdelijke pijler in het midden van de Demer aangebracht te worden op 6 m afwaarts van de Grote Steunbeer. De tijdelijke pijler is opgebouwd uit ronde buisprofielen, tussen deze ronde buizen worden voor de stabiliteit profielen in kruisvorm aangebracht. Na het aan elkaar lassen van de beide brugdelen wordt deze tijdelijke pijler terug verwijderd. Vermoedelijk blijft de tijdelijke pijler gedurende een tweetal maanden in de Dijle aanwezig.

Met betrekking tot de bouw van de tijdelijke pijler van de fietsbrug vraagt VMM (contactpersoon: Kris Soete) aan het Waterbouwkundig Laboratorium om een inschatting te maken van de krachten ten gevolge van stroming die op deze tijdelijke pijler kunnen optreden. Hiervoor is op 10/10/2024 bij een relatief hoge afvoer van 39 m³/s na een dag met relatief hoge regenval een terreinbezoek gebracht aan de Demer ter plaatse van de Grote Steunbeer. Aan de hand van het terreinbezoek werd besloten dat de tijdelijke brugpijler voornamelijk onderhevig is aan stroming uit de middelste opening en beperkt onderhevig is aan de stroming uit de rechter zijopening wegens de beperkte afbuiging naar linkeroever van de stroming uit de middelste opening en de uitspreiding in de breedte van de stroming uit de rechter zijopening. De locatie waar de tijdelijke brugpijler zal geplaatst worden bevindt zich bij overstort over het schot in de rechter zijopening ook afwaarts van de watersprong in de zone waar de stroming uniform over de waterdiepte naar afwaarts gericht is.

Om de stroomsnelheid ter plaatse van de tijdelijke brugpijler in te schatten is voor een 6-tal waterpeilen opwaarts van de Grote Steunbeer het debiet ingeschat aan de hand van literatuurformules voor stroming over een brede overlaat, voor onderstroming onder het hangend schot en voor overstort over de schotten in de zijopening of voor overstort over het hangend schot in de middelste opening. De resultaten van deze berekening zijn gegeven in Tabel 4. De stroomsnelheid in het gedeelte van de raai ter plaatse van de middelste opening varieert tussen 2.88 m/s en 4.26 m/s en deze in het gedeelte van de raai ter plaatse van de rechtste zijopening tussen 1.36 m/s en 1.77 m/s.

Tabel 4 - Stroomsnelheid in het gedeelte van de raai ter plaatse voor de middelste en de rechtse zijopening van de Grote Steunbeer

Waterpeil opwaarts	Totaal debiet	Debiet		Waterpeil afwaarts	Bodempeil afwaarts	Waterdiepte afwaarts	Stroomsnelheid	
		Middelste opening	Zijopening rechts				Middelste opening	Zijopening rechts
mTAW	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	mTAW	mTAW	mTAW	m/s	m/s
18.55	11.4	11.4	n.v.t.	17.39	16.50	0.82	4.26	n.v.t.
20.24	26.1	26.1	n.v.t.	18.44	16.50	1.94	3.37	n.v.t.
20.80	34.0	28.4	2.7	18.50	16.50	2.00	2.96	1.36
21.15	43.0	29.8	5.7	19.19	16.50	2.69	2.91	1.53
21.50	56.1	32.6	9.5	19.73	16.50	3.23	2.84	1.64
22.00	75.0	34.2	15.8	20.26	16.50	3.76	2.88	1.77

Aan de hand van deze stroomsnelheden is daarna de kracht op de cirkelvormige buisprofielen en de L-vormig profielen berekend. Op vraag van VMM is ook een inschatting gemaakt van de kracht van de accumulatie van drijfvuil tegen de tijdelijke brugpijler. Hiervoor is in de literatuur op zoek gegaan naar de waarde van de sleepcoëfficiënt van een cilindervormig profiel in een stroming, de sleepcoëfficiënt van een rechthoekige vlakke plaat in een stroming en de sleepcoëfficiënt van accumulatie van drijfvuil tegen brugpijlers. Tabel 6 geeft een overzicht van de berekende kracht per eenheidslengte op de cilindervormig profielen en de L-vormige profielen en de berekende kracht per eenheidshoogte voor de accumulatie van drijfvuil tegen de pijler.

Uit de tabel volgt voor het cilindervormig profiel dat de kracht per eenheidslengte varieert tussen 348 N/m en 477 N/m bij een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 0.50 en tussen 557 N/m en 763 N/m bij een waarde voor de sleepcoëfficiënt gelijk aan 0.80. Voor het L-vormig profiel varieert de kracht per eenheidslengte tussen 575 N/m en 787 N/m. Voor de accumulatie van drijfvuil varieert de kracht per eenheidshoogte tussen 16100 N/m en 22750 N/m bij een waarde van de sleepcoëfficiënt gelijk aan 2.0 en tussen 20100 N/m en 28500 N/m bij een waarde van de sleepcoëfficiënt gelijk aan 2.5. Aan de hand van de op deze wijze berekende krachten per eenheidslengte of eenheidshoogte kan dan de totale kracht op de tijdelijke brugpijler bepaald worden door de juiste lengte van de verschillende profielen en het aantal profielen in rekening te brengen of door de hoogte van accumulatie van drijfvuil te beschouwen ingeschat op basis van ervaringsgegevens van VMM.

Bij de resultaten in dit rapport wordt opgemerkt dat een aantal conservatieve veronderstellingen zijn aangehouden. Bij de berekening van de stroomsnelheid in de gedeelten van de raai waar de tijdelijke brugpijler zich bevindt is bijvoorbeeld een waterpeil beschouwd gemeten ter plaatse van de meer afwaarts gelegen meetlocatie Molenstedebrug. Het aanwezige verhang tussen de Molenstedebrug en de Grote Steunbeer wordt hierbij verwaarloosd.

Tabel 5 – Berekening kracht per eenheidslengte op cilindervormig profiel en L-vormig profiel van tijdelijke brugpijler en kracht per eenheidshoogte bij accumulatie van drijfvuil voor de verschillende beschouwde waterpeilen opwaarts van de Grote Steunbeer

Waterpeil	H	mTAW	+20.24	+20.80	+21.15	+21.50	+22.00	
Waterdiepte	h	m	1.94	2.00	2.69	3.23	3.76	
Stroomsnelheid	U	m/s	3.37	2.96	2.91	2.84	2.88	
Cilindervormig profiel CHS168.3/12.5	Diameter	D	m	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	Kracht per eenheidslengte	F'_{Dc}	N/m	477	368	356	339	348
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	Kracht per eenheidslengte	F'_{Dc}	N/m	763	589	569	542	557
L-vormig profiel H70/7	Breedte	b	m	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Kracht per eenheidslengte	C_d	-	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98
	Sleepcoëfficiënt	F'_{Dp}	N/m	787	607	587	559	575
Accumulatie drijfvuil	Breedte	b	m	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Kracht per eenheidshoogte	F'_{Dt}	N/m	22714	17523	16936	16131	16589
	Sleepcoëfficiënt	C_d	-	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
	Kracht per eenheidshoogte	F'_{Dt}	N/m	28392	21904	21170	20164	20736

6 Referenties

- American Association of State Highway and Transportation Officials.** (2007). AASTHO LRFD Bridge Design Specifications
- Ballio, F.; Viscardi, S.; Pallavicini, P.; Malavasi, S.** (2024). Drag Coefficients of Debris Accumulations. *J. Hydraul. Eng.* 150(4)
- Biermann, D.; Hernnstein, W.H. jr.** (1933). The interference between struts in various combinations
- Bos, M.G.** (1989). Discharge measurement structures. *ILRI Publication*, Third rev (M. G. Bos, Ed.). International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI): Wageningen. ISBN 90-70754-15-0. 401 pp.
- Cantero-Chinchilla, F.N.; de Almeida, G.A.M.; Escarameia, M.** (2018). Assessing the effects of debris accumulation at river bridges. University of Southampton
- Crowley, R.** (2008). Drag forces on pile groups
- CSM Steelstructures N.V.** (2024). Grote Steunbeer Diest. Overzicht. Montage ondersteuning Brugdeel 1. plan CD24035-MT01-1 dd. 19/09/2024
- Elliot, R.; Froehlich, D.** (2012). Calculating the Potential Effects of Large Woody Debris Accumulations on Backwater, Scour and Hydrodynamic Loads, *in*: (2012). *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries*
- Geomodus.** (2014). Situatiemeting Grote Steunbeer. Plan 14014_01_grondplan dd. 18/06/2014
- Hoerner, S.F.** (1965). Fluid Dynamic Drag. Practical information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance
- Mutlu Sumer, B.; Fredsoe, J.** (2006). Hydrodynamics around cylindrical structures. *Advanced Series on Ocean Engineering*, 26. World Scientific: New Jersey. ISBN 981-270-039-0
- Naudascher, E.** (1991). Hydrodynamic forces. *Hydraulic Structures Design Manual: Hydraulic Design Considerations*, 3. Balkema: Rotterdam. ISBN 90-6191-993-2

Bijlage 1 Berekening debiet door openingen Grote Steunbeer

Waterpeil opwaarts +18.55 mTAW

Debiet door middelste opening

Tabel 6 – Berekening van debiet door middelste openingen ten gevolge van stroming over brede overlaat bij waterstand opwaarts +18.55 mTAW

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde
Bodempeil opening	Z	mTAW	17.00
Waterpeil opwaarts	H_o	mTAW	+18.55
Waterdiepte boven bodem opening (= H _o - Z)	H	m	1.55
Lengte overlaat	L	m	9.81
Debietscoëfficiënt	C _d	-	1.09
Breedte opening	b	m	3.0
Natte sectie boven de overlaat (= b x H)	A	m ²	4.65
Breedte Demer opwaarts	b _o	m	9.45
Bodempeil Demer opwaarts	Z _o	mTAW	17.45
Waterdiepte Demer opwaarts (=H _o - Z _o)	h _o	m	1.10
Natte sectie opwaarts (= b _o x h _o)	A _o	m ²	10.40
Verhouding A/A _o	A/A _o	-	0.49
Snelheidscoëfficiënt	C _v	-	1.06
Debiet door opening	Q	m³/s	11.4

Debiet door zijopeningen

Waterstand is lager dan bovenzijde schot in deze openingen. Bijgevolg vindt geen stroming plaats door deze openingen.

Waterpeil opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW

Debiet door middelste opening

Tabel 7 – Berekening van debiet door middelste openingen ten gevolge van onderstroming onder hangend schot bij waterstand opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde				
			17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Bodempeil opening	Z	mAW	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Waterpeil opwaarts	H_o	mTAW	20.24	20.80	21.15	21.50	22.00
Waterdiepte opwaarts	h _o	m	3.24	3.80	4.15	4.50	5.0
Breedte opening	b	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Peil onderzijde hangend schot		mTAW	18.56	18.56	18.56	18.56	18.56
Hoogte onderzijde hangend schot boven bodem	w	m	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56
Verhouding w/h _o	w/h _o	-	2.08	2.44	2.66	2.66	2.66
Debietscoëfficiënt	C _d	-	0.596	0.596	0.597	0.599	0.601
Parameter $K\sqrt{2g}$	$K\sqrt{2g}$	m ^{1/2} s	3.354	3.643	3.827	4.183	4.39
Debiet door opening	Q	m³/s	26.1	28.4	29.82	32.60	34.21

Tabel 8 – Berekening van debiet door middelste openingen ten gevolge van overstort over hangend schot bij waterstand opwaarts +20.24mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde				
			17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Bodempeil opening	Z	mTAW	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
Waterpeil opwaarts	H_o	mTAW	20.24	20.80	21.15	21.50	22.00
Breedte opening	b	m	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Peil bovenzijde schot	Z _s	mTAW	20.80	20.80	20.80	20.80	20.80
Waterhoogte boven bovenzijde schot (=H _o – Z _s)	H	m	n.v.t.	0.00	0.35	0.70	1.20
Hoogte bovenzijde schot boven bodem	p ₁	m	n.v.t.	n.v.t.	3.80	3.80	3.80
Verhouding H/p ₁	H/p ₁	-	n.v.t.	n.v.t.	0.09	0.18	0.32
Breedte Demer opwaarts	b _o	m	n.v.t.	n.v.t.	9.45	9.45	9.45
Verhouding b/b _o	b/b _o	-	n.v.t.	n.v.t.	0.27	0.27	0.27
Debietscoëfficiënt	C _d	-	n.v.t.	n.v.t.	0.590	0.590	0.590
Debiet door opening	Q	m³/s	n.v.t.	n.v.t.	1.44	4.08	9.15

n.v.t. = niet van toepassing, waterpeil opwaarts lager of gelijk aan bovenzijde hangend schot in middelste opening.

Debiet door zijopeningen

Tabel 9 – Berekening van debiet door zijopening rechts ten gevolge van overstort bij waterstand opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde				
Bodempeil opening	Z	mTAW	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
Waterpeil opwaarts	H_o	mTAW	20.24	20.80	21.15	21.15	22.00
Breedte opening	b	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Peil bovenzijde schot	Z _s	mTAW	mTAW	20.24	20.24	20.24	20.24
Waterhoogte boven bovenzijde schot (=H _o – Z _s)	H	m	0.00	0.56	0.91	1.26	1.76
Hoogte bovenzijde schot boven bodem	p ₁	m	n.v.t.	2.74	2.74	2.74	2.74
Verhouding H/p ₁	H/p ₁	-	n.v.t.	0.20	0.33	0.46	0.64
Breedte Demer opwaarts	b _o	m	n.v.t.	9.45	9.45	9.45	9.45
Verhouding b/b _o	b/b _o	-	n.v.t.	0.27	0.27	0.27	0.27
Debietscoëfficiënt	Cd	-	n.v.t.	0.59	0.59	0.59	0.59
Debiet door opening	Q	m³/s	n.v.t.	2.92	6.04	9.83	16.20

n.v.t. = niet van toepassing, waterpeil opwaarts gelijk aan bovenzijde schot. Er is geen stroming door de zijopening rechts

Tabel 10 – Berekening van debiet door zijopening links ten gevolge van overstort bij waterstand opwaarts +20.24 mTAW, +20.80 mTAW, +21.15 mTAW, +21.50 mTAW en +22.00 mTAW

Parameter	Symbool	Eenheid	Waarde				
Bodempeil opening	Z	mTAW	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Waterpeil opwaarts	H_o	mTAW	20.80	20.80	21.15	21.15	22.00
Breedte opening	b	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Peil bovenzijde schot	Z _s	mTAW	20.27	20.27	20.27	20.27	20.27
Waterhoogte boven bovenzijde schot (=H _o – Z _s)	H	m	n.v.t.	0.53	0.88	1.23	1.73
Hoogte bovenzijde schot boven bodem	p ₁	m	n.v.t.	2.27	2.27	2.27	2.27
Verhouding H/p ₁	H/p ₁	-	n.v.t.	0.23	0.39	0.54	0.62
Breedte Demer opwaarts	b _o	m	n.v.t.	9.45	9.45	9.45	9.45
Verhouding b/b _o	b/b _o	-	n.v.t.	0.27	0.27	0.27	0.27
Debietscoëfficiënt	Cd	-	n.v.t.	0.59	0.59	0.59	0.59
Debiet door opening	Q	m³/s	n.v.t.	2.69	5.74	9.47	15.77

n.v.t. = niet van toepassing, waterpeil opwaarts gelijk aan bovenzijde schot. Er is geen stroming door de zijopening links

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be