



Vlaanderen
is wetenschap



22_046_1
WL rapporten

De Wit-vispassage langs de Lieve te Lievegem

Hydraulisch ontwerp

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

De Wit-vispassage langs de Lieve te Lievegem

Hydraulisch ontwerp

Visser, K.P.; Viaene, 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 2022
D/2022/3241/135

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Visser, K.P.; Viaene, P. (2022). De Wit-vispassage langs de Lieve te Lievegem: Hydraulisch ontwerp. Versie 3.0.
WL Rapporten, 22_046_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Van Hooste	Ref.:	WL2022R22_046_1
Trefwoorden (3-5):	Vispassage, vismigratie, Lievegem		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > vispassages		
Tekst (p.):	23	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Visser, K.P.
------------	--------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Viaene, P.	Getekend door: Peter Viaene (Signature) Getekend op: 2022-07-25 10:54:08 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Peter Viaene</i>
Projectleider:	Visser, K.P.	Getekend door: Klaas Visser (Signature) Getekend op: 2022-07-25 10:39:25 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Klaas Pieter Visser</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2022-07-25 12:57:33 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	---



Abstract

Aannemer Van Hooste heeft in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij een ontwerp uitgewerkt voor een stuw met vispassage tussen de Lieve en waterloop 2.17 die in verbinding staat met het Brakeleiken. Deze constructie zal het huidige pompstation dat zich daar bevindt vervangen. In opdracht van aannemer Van Hooste werd door het Waterbouwkundig Laboratorium het hydraulisch ontwerp voor een De Wit-vispassage uitgewerkt en werd de optimale afstand van de monding ten opzichte van de stuw bepaald.

Op basis van de doelsoorten werd voor een vensterbreedte van 0,2 m gekozen en met oog op de beschikbare afvoer werd de optimale vensterhoogte bepaald op 0,3 m. Bijbehorende bekkenlengte en breedte zijn respectievelijk 0,8 m en 1,2 m. Uitgaande van het maximale verval van 0,7 m, de doelsoorten en met oog op een optimaal stroompatroon werd gekozen voor 15 schotten/bekkens.

Op basis van watersprongberekeningen bij maatgevende debieten werd de optimale afstand tussen stuw en monding bepaald op 5 m, gerekend in afwaartse richting vanuit de stuwas. De afwaartse bodemhoogte bleek bepalend voor de inpassing van de monding en de afwaartse bekkens. Op basis van de hydraulische dimensionering werd daarom een alternatieve inpassing van de vispassage en stuw voorgesteld.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Randvoorwaarden en ontwerpcriteria.....	3
2.1 Ruimtelijke randvoorwaarden.....	3
2.2 Ontwerpcriteria	4
2.2.1 Doelsoorten	4
2.2.2 Minimale werkingsperiode.....	4
2.2.3 Passeerbaarheid	5
2.2.4 Attractiviteit.....	6
2.3 Hydraulische randvoorwaarden	8
3 Dimensionering vispassage	9
4 Locatie monding t.o.v. de stuw	15
5 Conclusie.....	20
5.1 Ontwerp en dimensionering vispassage.....	20
5.2 Optimale afstand monding t.o.v. stuw	21
5.3 Voorstel ruimtelijke inpassing	22
6 Referenties	23

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Afgevangen vissoorten uit de VIS-databank	4
Tabel 2 – Ontwerpcriteria passeerbaarheid vispassage	6
Tabel 3 – Resultaten vispassagedebiet bij verschillende vensterhoogtes in de toekomstige situatie ($H_o = 6$ mTAW)	11
Tabel 4 – Resultaten vispassagedebiet bij verschillende vensterhoogtes in de huidige situatie ($H_o = 6$ mTAW)	11
Tabel 5 – Resultaten energie per bekken bij streefpeilen in de toekomstige situatie ($H_o = 6$ mTAW)	14
Tabel 6 – Resultaten energie per bekken bij streefpeilen in de huidige situatie ($H_o = 5,6$ mTAW)	14
Tabel 7 – Resultaten berekening einde watersprong bij maatgevende overstortdebieten	18
Tabel 8 – Maatgevende waarden dimensionering De Wit-vispassage Lievegem	20

Lijst van de figuren

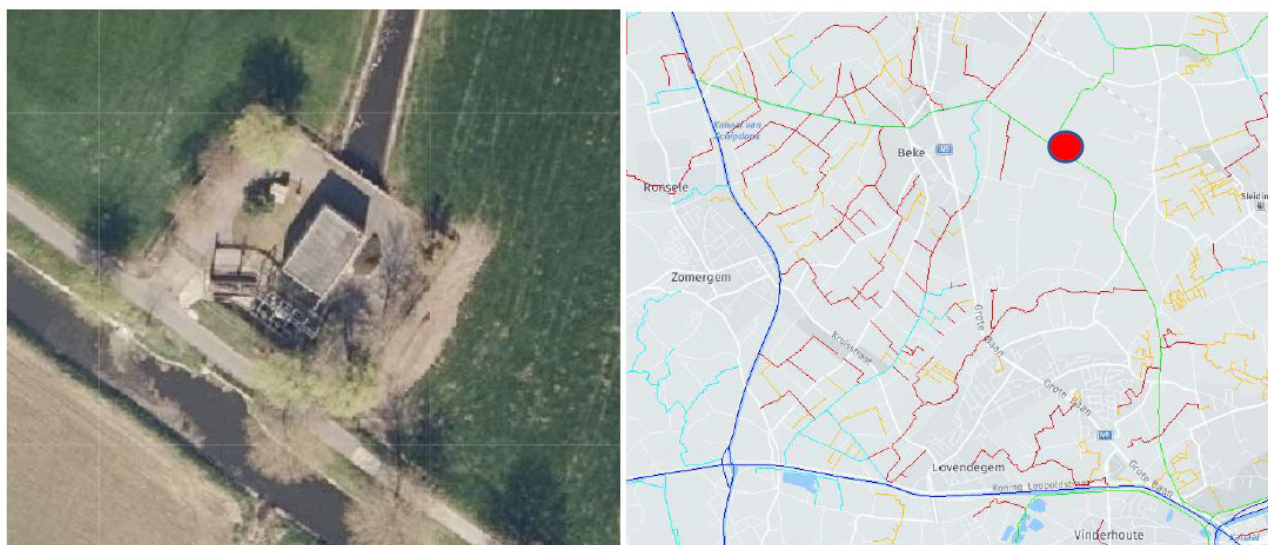
Figuur 1 – Locatie en luchtfoto huidig pompstation tussen de Lieve en waterloop 2.17 te Lievegem	1
Figuur 2 – Huidig ontwerp nieuwe stuwen en vispassage	2
Figuur 3 – Indicatie van de beschikbare ruimte voor inpassing vispassage	3
Figuur 4 – Lengtedoorsnede met bodemhoogtes in het huidige ontwerp	3
Figuur 5 – Relatie migratielimietlijn en monding vispassage	7
Figuur 6 – Schematisch ontwerp van een De Wit-vispassage (bron: AMINAL, 2005)	9
Figuur 7 – Schematische weergave bodemhoogtes en zoekrichting optimale ligging monding en stuw	12
Figuur 8 – Voorstel alternatieve locatie stuw, monding en instroom vispassage met alternatieve bodemhoogtes	12
Figuur 9 – Schematisch lengteprofiel vispassage	13
Figuur 10 – Schematische weergave stuwoverstort en afwaartse watersprong	15
Figuur 11 – Dimensionering De Wit-vispassage Lievegem	21
Figuur 12 – Voorstel ruimtelijke inpassing vispassage en stuw	22
Figuur 13 – Voorstel alternatieve locatie stuw, monding en instroom vispassage met alternatieve bodemhoogtes	22

1 Inleiding

Aannemer Van Hooste heeft in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) een ontwerp uitgewerkt voor een stuw met vispassage tussen de Lieve en waterloop 2.17 die in verbinding staat met het Brakeleiken (zie Figuur 1), welke het huidige pompstation dat zich daar bevindt zal vervangen. Figuur 2 toont het huidige ontwerp voor de stuwen met vispassage. Gekozen werd voor een De Wit-vispassage.

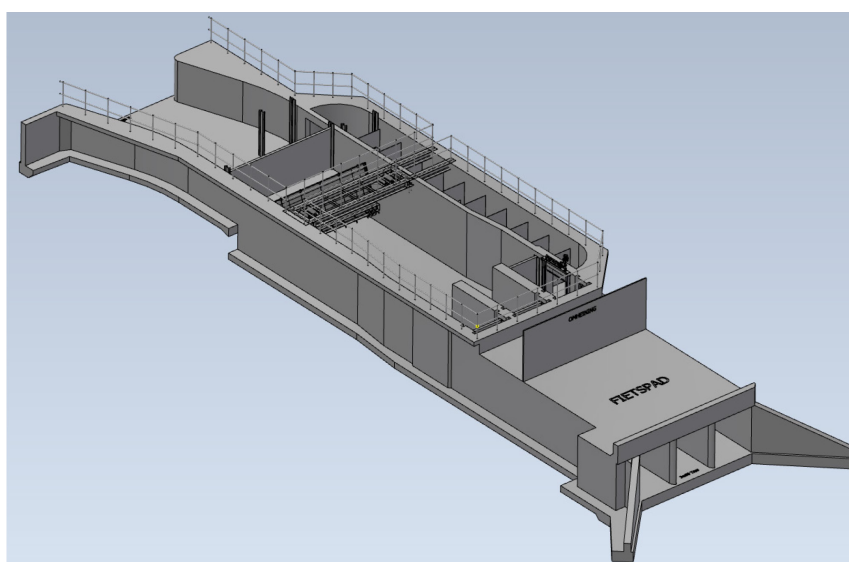
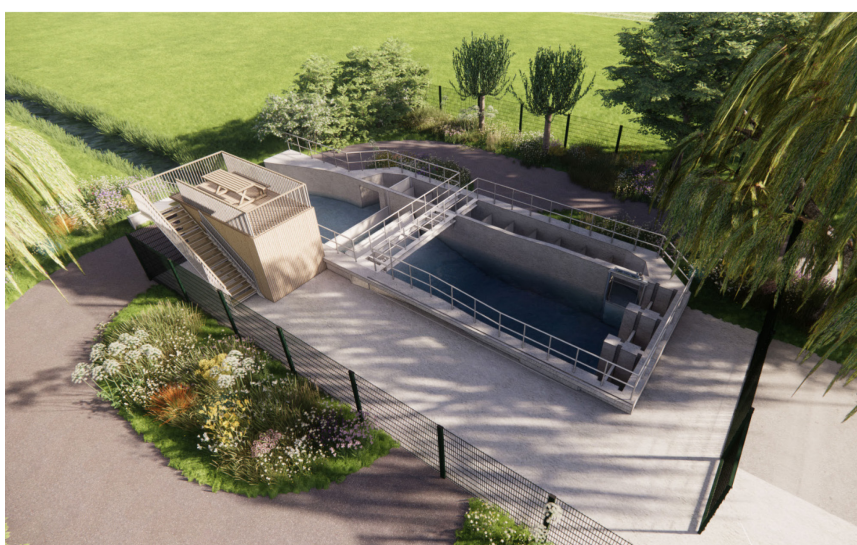
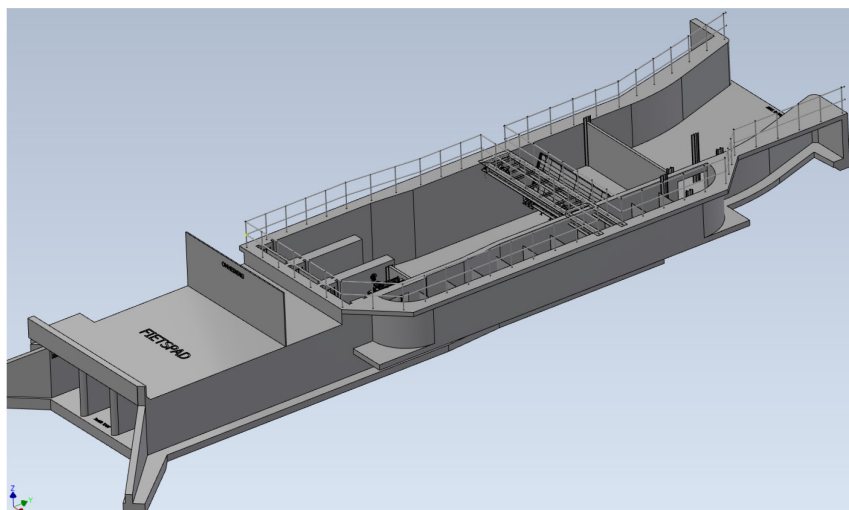
Ten behoeve van de aanvraag van een omgevingsvergunning vraagt Van Hooste aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) het volgende:

1. Algemene dimensionering De Wit-vispassage:
 - a) Uitwerken en onderbouwen bekken- en vensterdimensies;
 - b) Bepalen of de voorziene lengte voldoende is voor inpassing.
2. Optimale positie van de stuw ten opzichte van de monding van de vispassage.
3. Eventueel voorstel voor optimalisatie ruimtelijke inpassing (indien nodig op basis van voorgaande twee punten).



Bron: VMM, 2022

Figuur 1 – Locatie en luchtfoto huidige pompstation tussen de Lieve en waterloop 2.17 te Lievegem



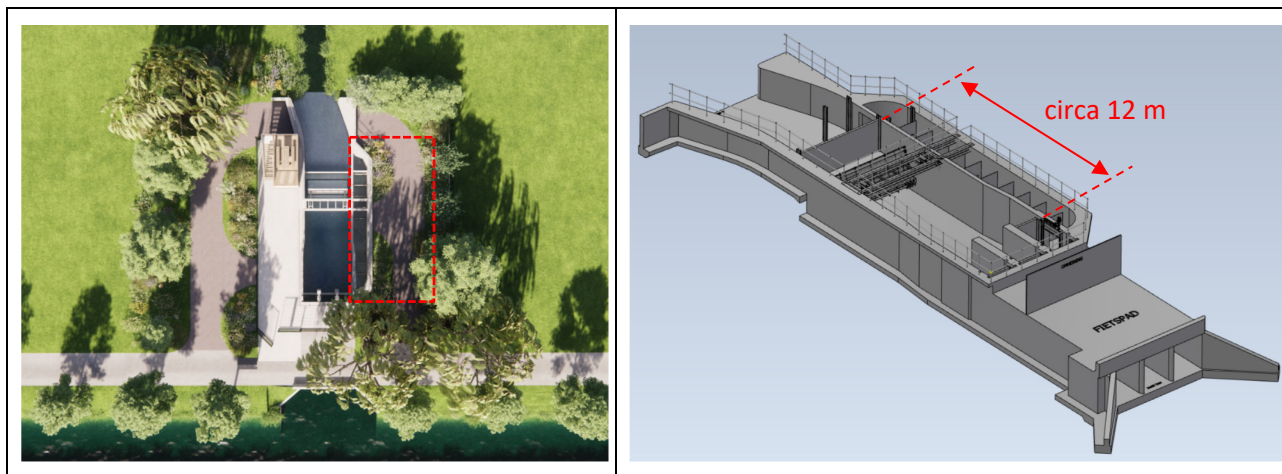
Bron: Van Hooste

Figuur 2 – Huidig ontwerp nieuwe stuwen en vispassage

2 Randvoorwaarden en ontwerpcriteria

2.1 Ruimtelijke randvoorwaarden

Figuur 3 toont de beschikbare ruimte voor de inplanting van de vispassage binnen het huidige ontwerp. Het rode kader geeft een indicatie van de beschikbare ruimte. De huidige inpassing gebruikt al de maximaal beschikbare lengte, er is dus geen mogelijkheid tot verlenging in lengterichting. In de breedte is wel nog enige ruimte beschikbaar.

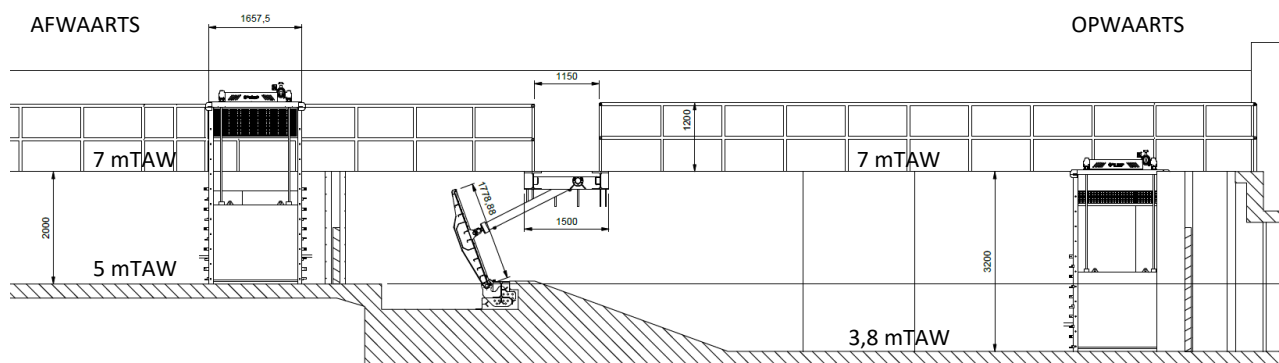


** rode gestippeld kader geeft indicatie beschikbare ruimte voor de vispassage*

Figuur 3 – Indicatie van de beschikbare ruimte voor inpassing vispassage

Figuur 4 toont de lengtedoorsnede in de stuwgeul in het huidige ontwerp. Het opwaartse bodempeil (aan zijde Lieve) bevindt zich op 3,8 mTAW, het afwaartse bodempeil (zijde waterloop) bevindt zich op 5 mTAW. De betonnen zijwanden hebben een kruinhoogte van 7 mTAW.

De as van de nieuwe stuw bevindt zich op 5 mTAW en de stuw zelf heeft een breedte van 5 m en een lengte van 1,78 m. De natte breedte van het kanaal ter plaatse van de stuwen is circa 5,7 m.



Figuur 4 – Lengtedoorsnede met bodemhoogtes in het huidige ontwerp

2.2 Ontwerpcriteria

2.2.1 Doelsoorten

Via het INBO werden beschikbare visstandgegevens voor zowel de Lieve (of anders gezegd 't Liefken) als Brakeleiken uit de VIS-databank verkregen (zie <https://vis.inbo.be>). Tabel 1 geeft een overzicht van de gevangen soorten in elk van de waterlopen. Deze zijn nagenoeg gelijk (14 à 15 soorten) alleen de kolbei werd enkel in de Brakeleiken gevangen, terwijl het vetje enkel in 't Liefken werd gevangen.

Tabel 1 – Afgewangen vissoorten uit de VIS-databank

nr	soort	Lieve ('t Liefken)	Brakeleiken
1	baars	x	x
2	blankvoorn	x	x
3	blauwbandgrondel	x	x
4	brasem	x	x
5	driedoornige stekelbaars	x	x
6	giebel	x	x
7	karper	x	x
8	kolbei		x
9	paling	x	x
10	rietvoorn	x	x
11	riviergrondel	x	x
12	snoek	x	x
13	tiendoornige stekelbaars	x	x
14	vetje	x	
15	zeelt	x	x

2.2.2 Minimale werkingsperiode

Uit onderzoek naar het migratiegedrag van de doelsoorten uit het Scheldebekken (inclusief de doelsoorten uit Tabel 1) blijkt dat het van belang is om in principe te streven naar een 100% werkingspercentage (i.e. het jaar rond). De soorten die leven in verschillende delen van het stroomgebied van een waterloop zullen namelijk op verschillende momenten in het jaar migreren waarbij ook verschillen optreden in duur en omvang van deze migraties.

Niet enkel (seizoensgebonden) paaïmigratie maar ook de stroomopwaartse 'feeding'-migratie en migratie naar overwinteringsgebieden van juveniele en subadulte vissen kan heel omvangrijk zijn. Daarenboven migreren een aantal soorten vooral overdag (vb. blankvoorn, baars en karper) terwijl andere soorten vooral tijdens de schemering en/of nacht actief worden (vb. paling). Vismigratie moet dus 24 uur per dag en het jaar rond mogelijk zijn om de verschillende vissoorten de kans te geven stroomopwaarts te migreren (Buyse & Coeck, 2014).

Vanwege andere randvoorwaarden (zoals bijv. peilbeheer) is het daarentegen niet altijd mogelijk om een 100% werkingspercentage te halen. Voor het minimale percentage van de tijd waarbij de vispassage dient te kunnen werken wordt daarom vaak het "**Q_{30d}-Q_{330d}-richtlijn**" (Schwevers, 2006) toegepast. Deze richtlijn stelt dat de vispassage optimaal dient te kunnen werken tussen een debiet op de waterloop dat 90% van de tijd (= circa 330 dagen per jaar) beschikbaar is of wordt overschreden en een rivierdebiet dat 10% van de tijd (= circa 30 dagen van het jaar) wordt overschreden. Dit komt overeen met een minimaal percentage van 80% van het jaar.

In deze studie wordt voor de genoemde boven- en ondergrens de percentage-notatie " $Q_{10\%}$ - $Q_{90\%}$ " gebruikt (in plaats van de dag-notatie " Q_{30d} - Q_{330d} ");

- $Q_{90\%} \rightarrow 90\%$ (= circa 330 dagen) van het jaar is het debiet groter;
- $Q_{10\%} \rightarrow 10\%$ (= circa 30 dagen) van het jaar is het debiet groter.

Met oog op het peilbeheer in de Lieve wordt aan de opwaartse zijde van de vispassage een automatisch gestuurde afsluitconstructie voorzien. Deze kan de vispassage afsluiten wanneer het waterpeil niet gehandhaafd kan worden vanwege te weinig beschikbare afvoer op de Lieve. In dit kader is de $Q_{90\%}$ waarde van belang voor het maximaal toelaatbare basisdebiet door de vispassage. Als deze te hoog wordt gekozen zal de vispassage relatief snel sluiten en daardoor een relatief laag openingspercentage halen.

Aan de andere kant dient het vispassagedebiet hoog genoeg te worden gekozen om ook bij het de gemiddelde afvoer en enigszins verhoogde afvoer nog voldoende lokstroom te realiseren. In dit kader zijn de $Q_{50\%}$ waarde en de $Q_{10\%}$ waarde van belang. Ook speelt de locatie van de monding ten opzicht van de turbulente zone net afwaarts van de stuwoverstort een belangrijke rol.

2.2.3 Passeerbaarheid

Gezien de soortenrijkdom in zowel het Scheldebekken als in de betreffende waterlopen wordt naast het streven van een 100% werkingspercentage ook ingezet op een zgn. multi-species vispassage. Met andere woorden de vispassage dient ontworpen te worden om voor alle doelsoorten optimaal te kunnen functioneren en idealiter ook het herstel van bepaalde verdwenen soorten mogelijk te maken.

De passeerbaarheid van de vispassage wordt voornamelijk bepaald door de volgende factoren:

- Maximale stroomsnelheden;
- Minimale doorzwemdieptes en -breedtes;
- Maximale energie/turbulentie per bekken.

Voor elk van deze factoren kunnen verschillende typen van de doelsoorten bepalend zijn.

Met oog op de maximale stroomsnelheden zijn vooral de zwakkere zwemmers van belang. Een belangrijke soort in dit kader is de paling, die ook in het bestek wordt genoemd als een belangrijke doelsoort (VMM, 2022). Er wordt meestal onderscheid gemaakt tussen twee zwemsnelheden van vissen: de kruissnelheid en de sprintsnelheid (AMINAL, 2005). De kruissnelheid is de snelheid die een vis langdurig kan aanhouden (> 200 minuten) zonder uitgeput te raken. De sprintsnelheid is slechts van korte duur (< 15 seconden) en kan worden aangewend om bijvoorbeeld een hindernis te nemen. Logischerwijs zijn de waarden voor de kruis- en sprintsnelheid verschillend per vissoort/doelsoort. AMINAL (2005) geeft een overzicht van empirisch bepaalde waarden voor enkele soorten.

Op basis van deze empirisch bepaalde richtlijnen voor de doelsoorten en richtlijnen uit de literatuur voor laaglandrivieren (Coenen *et al.*, 2013; Kroes & AMINAL, 2005; Riemersma, 1994) wordt gekozen om de volgende criteria voor maximale stroomsnelheden te hanteren bij het ontwerp van de vispassage:

- Maximale stroomsnelheid over korte afstand/korte duur (sprintsnelheid): 1 m/s;
- Maximale stroomsnelheid over langere afstand/langere duur (kruissnelheid): 0,5 m/s.

De sprintsnelheid is in het geval van een bekkenpassage (zoals een De Wit-vispassage) gekoppeld aan het verval per bekken. Aangezien De Wit-vispassages meestal toegepast worden op locaties met relatief lage afvoeren en ook stroomsnelheden, wordt geadviseerd om het verval per bekken niet groter te maken dan 5 cm (AMINAL, 2005; Boiten, 2004). In dat geval ligt de gemiddelde stroomsnelheid in de vensters rond de 0,90 m/s.

Met oog op de minimale doorzwembreedtes en dieptes spelen de grotere vissoorten een bepalende rol. Van de doelsoorten uit Tabel 1 zijn vooral de snoek, karper, brasem en bijkomend zeelt de grootste soorten die moeten kunnen passeren. Na overleg met INBO en uitgaande van deze soorten werd gesteld dat de vensterbreedte best minimaal 0,20 m is en de vensterhoogte minimaal 0,30 m, maar indien het beschikbare debiet dit toelaat best zo hoog mogelijk. Voor de minimale waterdiepte in de bekkens wordt 0,50 m geadviseerd (AMINAL, 2005).

Bij bekkenpassages wordt bij elke bekkenovergang energie doorgeven naar het afwaartse bekken en daar gedissipeerd. Deze toegevoegde energie is evenredig met het debiet en verval per bekkenovergang. Dissipatie van energie leidt tot een bepaalde mate van turbulentie. De wijze waarop deze energie in de bekkens terug gedissipeerd wordt en de mate van turbulentie die hierbij ontstaat speelt een belangrijke rol in de passeerbaarheid.

Om te beoordelen of de bekkens voldoende volume hebben voor de nodige dissipatie, wordt in de literatuur de relatie tussen de energie van de stroming tot het volume van het bekken beschouwd (Larinier, 2002b). De maximaal toelaatbare verhouding van de toegevoegde energie per bekkenovergang tot het bekkenvolume (= toelaatbare energie per bekken $E_{\max}$) wordt in de literatuur gekoppeld aan drie categorieën van doelsoorten (AMINAL, 2005):

- < 200 W/m³ voor zalmachtigen;
- < 150 W/m³ voor elft, fint en karperachtigen;
- < 100 W/m³ voor snoek en snoekbaars.

De doelsoorten uit de betreffende waterlopen (zie Tabel 1) bevinden zich in de categorie 'snoek en snoekbaars'. De maximaal toelaatbare turbulentie is daarmee 100 W/m³.

Tabel 2 geeft een samenvatting van de ontwerpcriteria met betrekking tot de passeerbaarheid zoals toegepast bij het ontwerp van de vispassage.

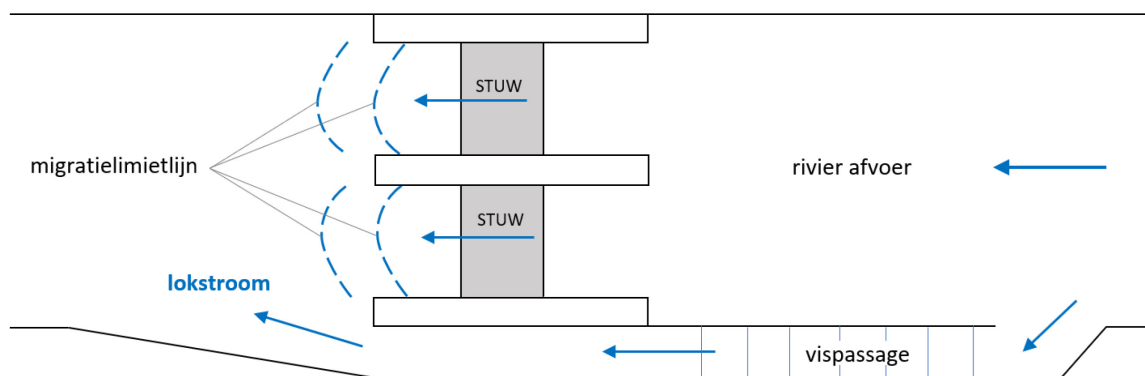
Tabel 2 – Ontwerpcriteria passeerbaarheid vispassage

Omschrijving	parameter	Waarde en eenheid
Maximale stroomsnelheid over korte afstand (venster)	Vmax_sprint	1 m/s
Maximale stroomsnelheid over langere afstand (bekkens)	Vmax_kruis	0,5 m/s
Maximaal verval per bekken/ venster	dh-max	0,05 m
Minimale lokale doorzwembreedte over korte afstand (slot)	bmin	0,20 m
Minimale doorzwemdiepte over korte afstand (venster)	dmin	0,30 m
Minimale doorzwemdiepte over langere afstand (bekkens)	dbmin	0,5 m
Maximaal toelaatbare turbulentie	E _{max}	100 W/m ³

2.2.4 Attractiviteit

De attractiviteit van de vispassage is een zeer belangrijk aspect met oog op de effectiviteit van de vispassage en wordt gedefinieerd als de mate waarin vissen de passage kunnen vinden tijdens hun stroomopwaartse migratiebeweging. Hierbij spelen naast het lokstroomdebiet ook de locatie en oriëntatie van de monding en lokstroom ten opzichte van de zogenaamde migratielimietslijn een belangrijke rol.

De migratielimietlijn (Figuur 5) is de grens van het gebied waarin de turbulenties of stroomsnelheden voor de vis te hoog zijn om nog te kunnen optrekken. Vanaf deze lijn zoekt de vis naar een alternatieve trekroute.



Figuur 5 – Relatie migratielimietlijn en monding vispassage

Gezien het verschil in sprintsnelheid is de ligging van de migratielimietlijn verschillend per vissoort. Voor een gegeven stuw is deze ligging tevens afhankelijk van het debiet, het afwaarts waterpeil en de toegepaste stuwregeling (overstort, onderstroming of een combinatie). Aangezien de stroomsnelheid in het midden van de stroom meestal hoger is dan aan de oevers; heeft de migratielimietlijn meestal een zekere bolling. Vissen kunnen hierdoor de stuw vaak dicht naderen aan de oevers en zullen zich daar dan ook verzamelen.

Aangezien de ligging van de limietlijn varieert met de grootte van het debiet over de stuwen kan eerder gesproken worden van een 'migratielimietzone'. De monding wordt idealiter best in en/of net afwaarts van migratielimietzone gekozen (zie verder in hoofdstuk 4). De boven- en ondergrenzen van deze zone zijn verbonden met het debietcriterium voor optimale werking zoals beschreven in paragraaf 2.2.2, het zogenaamde $Q_{10\%}$ - $Q_{90\%}$ -criterium. Wanneer de monding van de vispassage te ver afwaarts gelegen is, bestaat het risico dat vissen de ingang niet vinden en zich nabij de migratielimietzone (net afwaarts van het knelpunt) blijven verzamelen.

Zoals aangegeven speelt naast de locatie en oriëntatie van de monding ook het lokstroomdebiet een belangrijke rol. Idealiter is dit zo hoog mogelijk zonder dat gemiddelde stroomsnelheden te hoog worden. Aan de andere kant moet op deze locatie ook rekening worden gehouden met het risico op een te hoog sluitingspercentage wanneer het vispassagedebiet te hoog wordt gekozen. De beschikbare afvoer op de Lieve is relatief gering en aan opwaartse zijde van de vispassage wordt een automatische afsluiter voorzien met oog op peilbeheer. Er zal dus gezocht moeten worden naar een optimum tussen een zo hoog mogelijke lokstroom (=basisdebiet vispassage) met toch een zo hoog mogelijk openingspercentage (zie verder in hoofdstuk 3).

2.3 Hydraulische randvoorwaarden

Het bestek geeft en huidige en toekomstige streefpeilen op- en afwaarts van de nieuwe stuw en vispassage (VMM, 2022).:

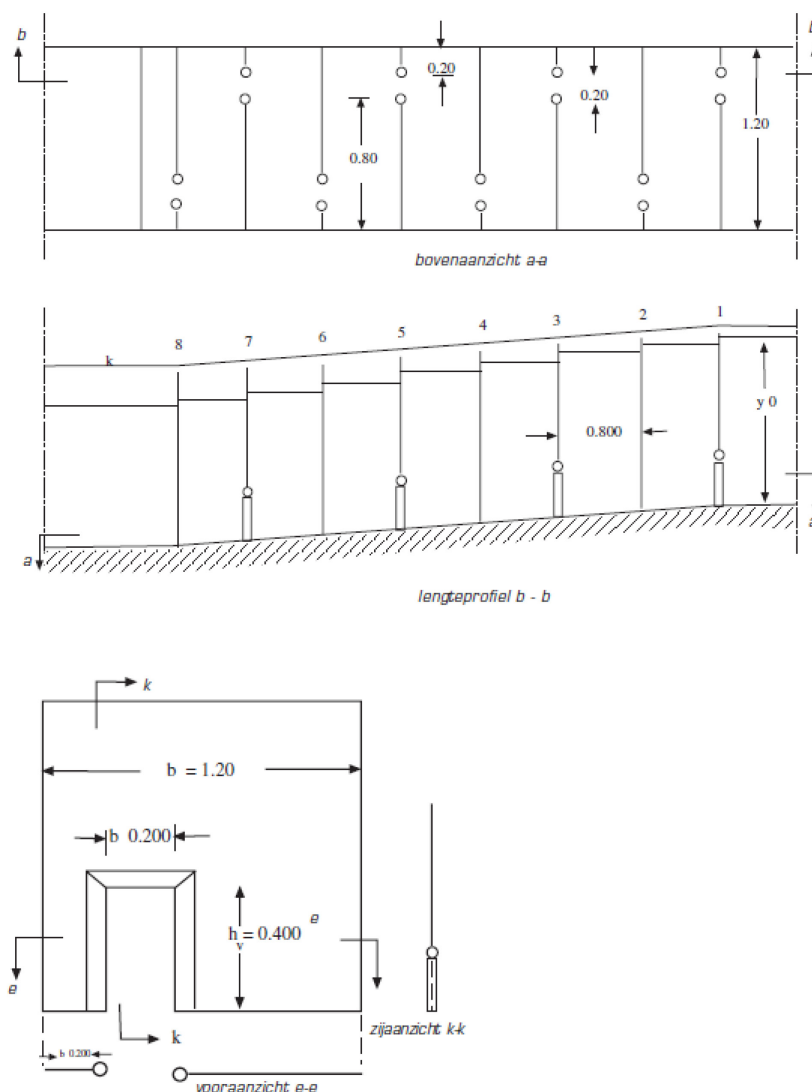
- Huidig opwaarts streefpeil (Lieve): 5,60 mTAW
- Toekomstig opwaarts streefpeil (Lieve): 6,00 mTAW
- Afwaarts streefpeil (Brakeleiken): 5,30 mTAW

Daarnaast werden via de VMM ook de indicatieve waarden voor de maatgevende afvoeren verkregen (zie ook paragraaf 2.2.2):

- $Q_{10\%}$: circa 0,8 – 1 m³/s;
- $Q_{50\%}$: circa 0,2 m³/s;
- $Q_{90\%}$: circa 0,04 m³/s.

3 Dimensionering vispassage

Het principe van een De Wit-vispassage is afgeleid van de vertical slot-vispassage. De constructie bestaat uit een compact kanaal met daarin tussenschotten die het tracé verdelen in bekkens. In ieder tussenschot is aan de onderzijde een onderwateropening aangebracht (zgn. vensters). Deze vensters verspringen ten opzichte van elkaar. Er wordt geen gebruik gemaakt van overlaten. De stroomsnelheid door de vensters hangt alleen af van het verschil tussen de waterpeilen stroomopwaarts en stroomafwaarts van het schot. Doordat elk van de vensters dezelfde dimensies heeft, zijn stroomsnelheden per venster nagenoeg gelijk, ongeacht variatie in op- en/of afwaartse waterpeil. Peilverschillen worden namelijk volgens het principe van de communicerende vaten over de kamers uitgemiddeld. Bij een hoger totaal verval nemen stroomsnelheden (in de vensters) toe, bij een verlaging van het totale verval nemen de vervallen per venster af waardoor ook de stroomsnelheden afnemen. Figuur 6 toont het schematisch voorbeeldontwerp van een De Wit-vispassage.



Figuur 6 – Schematisch ontwerp van een De Wit-vispassage (bron: AMINAL, 2005)

Met oog op de zwakkere zwemmers wordt uitgegaan van het geadviseerde verval per bekken/venster van 0,05 m (zie paragraaf 2.2.3). Aangezien het toekomstige opwaartse streefpeil circa 6 mTAW zal worden en het afwaartse streefpeil circa 5,3 mTAW is, moet in het ontwerp van de vispassage te Lievegem uitgegaan worden van een maximaal totaal verval van 0,70 m. Dit betekent dat minimaal 14 schotten/vensters nodig zijn. Bij de benodigde aanpassing van de ruimtelijke inpassing bleek echter dat één schot extra nodig is om een optimaal hydraulisch stroompatroon te bekomen (zie verder in paragraaf 5.3). Voor de verdere berekeningen wordt daarom uitgegaan van **15 schotten**.

Het standaardontwerp van een De Wit-vispassage gaat uit van een vensterbreedte van 0,20 m, en een bijbehorende bekkenlengte en breedte van respectievelijk 0,80 m en 1,20m. Het begin van het venster bevindt zich daarbij op 0,20 m vanaf de zijwand, en zoals gezegd verspringt het slot steeds van zijde per bekken (zie Figuur 6). In principe zou afgeweken kunnen worden van deze slotbreedte (of bekkenbreedte en -lengte), maar daarbij wordt dan geadviseerd om de andere parameters met de zelfde factor hierop aan te passen (AMINAL, 2005; Boiten, 2004). In het geval van de vispassage te Lievegem komt de breedte van het standaardontwerp echter goed overeen met de minimale breedte gesteld voor de doelsoorten (zie paragraaf 2.2.3). Voor het verdere ontwerp en de verdere berekeningen wordt daarom uitgegaan van een **vensterbreedte van 0,20 m**.

De optimale vensterhoogte wordt bepaald door een optimum van aan de ene kant een zo hoog mogelijke doorzwemdiepte en bijbehorend (lokstroom)debiet en aan de andere kant een niet te hoog (vispassage)debiet met oog op het risico van (te snelle) sluiting bij lagere afvoeren. Daarnaast is een belangrijke randvoorwaarde dat de vensters altijd voldoende verdronken zijn (zie y_0 in Figuur 6). Hierbij geldt dat de bovenzijde van het venster zich altijd minimaal 0,25 m onder het waterpeil opwaarts van het slot bevindt. Voor de mogelijke vensterhoogte wordt een range van 0,25 tot circa 0,65 m gegeven. Om de meest optimale vensterhoogte te bepalen dient het bijbehorende debiet bepaald te worden.

De relatie tussen de vensterdimensies, het verval en het debiet doorheen een De Wit-vispassage en de gemiddelde stroomsnelheid die daarbij optreedt in de vensters kunnen berekend worden door middel van de volgende formules (ANIMAL, 2005; Boiten, 2004; Larinier, 2002):

$$Q_{vis} = C * b * h_v * \sqrt{2g * dh} \quad (1)$$

$$V_g = C * \sqrt{2g * dh} \quad (2)$$

Met:

Q_{vis} =	Debiet door opening/venster	[m ³ /s]
V_g =	Gemiddelde stroomsnelheid door het venster	[m/s]
C =	Debietscoëfficiënt (=circa 0,91)	[-]
b =	Vensterbreedte	[m]
h_v =	Vensterhoogte	[m]
g =	Valversnelling (9,81)	[m/s ²]
dh =	Verval over het venster/schot ($dh=h_1-h_2$)	[m]
h_1 =	Waterhoogte opwaarts van het venster/schot	[m]
h_2 =	Waterhoogte afwaarts van het venster/schot	[m]

Met behulp van Formule 1 kan de relatie tussen het debiet en de vensterhoogte in beeld gebracht worden voor zowel de huidige situatie (opwaarts streefpeil 5,6 mTAW) als de toekomstige situatie (opwaarts streefpeil 6 mTAW). Tabel 3 en Tabel 4 geven het debiet voor een aantal maatgevende vensterhoogtes bij respectievelijk het toekomstige opwaartse streefpeil als het huidige opwaartse streefpeil.

Tabel 3 – Resultaten vispassagedebiet bij verschillende vensterhoogtes in de toekomstige situatie (Ho = 6 mTAW)

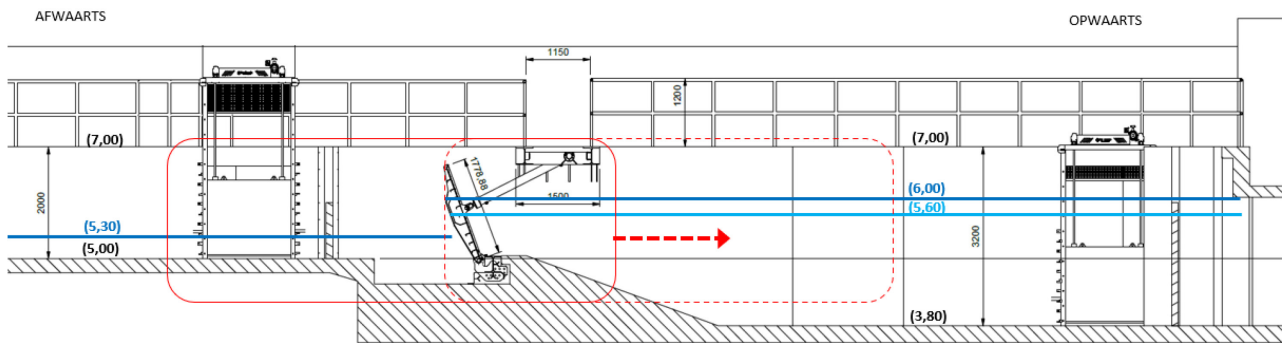
Parameter	Omschrijving	eenheid	Ho = 6 mTAW en Ha = 5,3 mTAW			
dH	totaal verval	[m]	0,7	0,7	0,7	0,7
N	aantal bekkens/vensters	[st]	15	15	15	15
dh	verval per bekken/venster	[m]	0,047	0,047	0,047	0,047
Cd	debietcoëfficiënt	[-]	0,91	0,91	0,91	0,91
b0	vensterbreedte	[m]	0,20	0,20	0,20	0,20
h0	vensterhoogte	[m]	0,65	0,40	0,30	0,25
Qv	vispassagedebiet	[m ³ /s]	0,113	0,070	0,052	0,044
vg	gemiddelde stroomsnelheid	[m/s]	0,871	0,871	0,871	0,871

Tabel 4 – Resultaten vispassagedebiet bij verschillende vensterhoogtes in de huidige situatie (Ho = 6 mTAW)

Parameter	Omschrijving	eenheid	Ho = 5,6 mTAW en Ha = 5,3 mTAW			
dH	totaal verval	[m]	0,3	0,3	0,3	0,3
N	aantal bekkens/vensters	[st]	15	15	15	15
dh	verval per bekken/venster	[m]	0,020	0,020	0,020	0,020
Cd	debietcoëfficiënt	[-]	0,91	0,91	0,91	0,91
b0	vensterbreedte	[m]	0,20	0,20	0,20	0,20
h0	vensterhoogte	[m]	0,65	0,40	0,30	0,25
Qv	vispassagedebiet	[m ³ /s]	0,074	0,046	0,034	0,029
vg	gemiddelde stroomsnelheid	[m/s]	0,570	0,570	0,570	0,570

Op basis van de resultaten uit Tabel 3 en Tabel 4 werd in overleg met de opdrachtgever VMM en de aannemer Van Hooste gekozen voor een **optimale vensterhoogte van 0,30 m**, wat overeenkomt met de minimale doorzwemdiepte voor de doelsoorten (zie paragraaf 2.2.3). Hoewel het vispassagedebiet hiermee in de toekomstige situatie iets boven de $Q_{90\%}$ -waarde ligt (0,040 m³/s is maximum met oog op risico sluiting bij lage afvoeren tijdens minimale werkingsperiode), is ook voldoende lokstroomdebet onder normale omstandigheden en licht verhoogde afvoeren belangrijk. Bij deze vensterhoogte wordt in de toekomstige situatie een debiet berekend van circa 0,052 m³/s, en in de huidige situatie 0,034 m³/s.

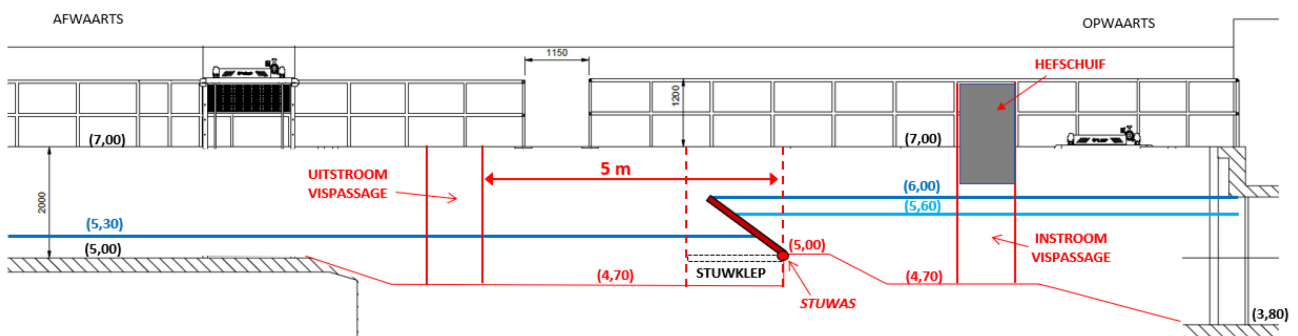
Uitgaande van een vensterhoogte van 0,30 m en een minimale waterhoogte boven het venster van 0,25 m, worden de bekkens minimaal 0,52 m diep. Uit de lengtedoorsnede van het huidige ontwerp (en ook de huidige situatie) blijkt dat de waterdiepte ter plaatse van de monding en de meest afwaartse bekkens in het echter 0,30 m te zijn (zie Figuur 7). Het is dus van belang om de monding meer opwaarts te plaatsen in het deel van het kanaal waar het huidige betonnen bodempeil 3,80 mTAW ligt in plaats van 5 mTAW in het afwaartse deel (zie rode gestippelde lijnen en peil in de Figuur). Dit betekent echter dat ook de stuw mee opwaarts moet schuiven en dat de vispassage in lengte richting niet meer binnen de beschikbare ruimte zal vallen. In paragraaf 5.3 is daarom een voorstel uitgewerkt voor een alternatieve inpassing van de vispassage waarbij zowel de instroom als uitstroom optimaal worden ingepast ten opzichte van de stuw.



Figuur 7 – Schematische weergave bodemhoogtes en zoekrichting optimale ligging monding en stuw

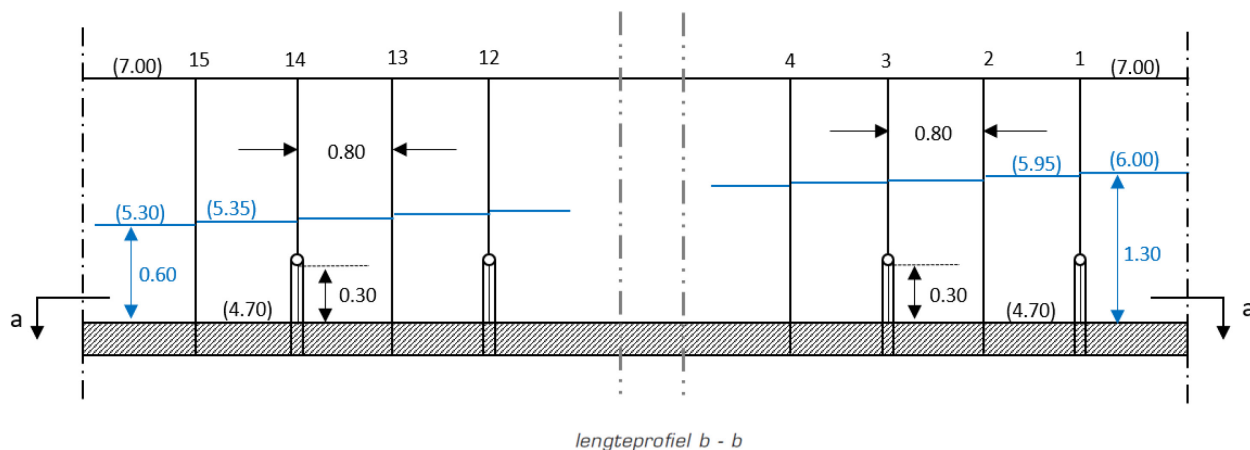
In het huidige ontwerp ligt de bodem van de vispassage horizontaal op een hoogte van 5 mTAW (=gelijk aan afwaarts bodempeil). Dit betekent dat de bodem van de instroom 1,2 m boven het opwaarts bodempeil ligt. Wanneer de hoogte van de monding en afwaartse bekkens worden verlaagd, kan direct ook gezocht worden naar een optimale hoogte en aansluiting van het opwaartse bodempeil op de instroom.

De optimale bodemhoogte voor de vispassage in het alternatieve ontwerp wordt aan de ene kant bepaald door de vereiste minimale waterdiepte in de bekkens van 0,55 m en aan de andere kant door de invloed van de waterdiepte afwaarts van de stuwen op de waterspronglengte en daarmee de ligging van de migratielimiet lijn (zie paragraaf 2.2.4 en hoofdstuk 4). Ten aanzien van dat laatste is er aan de ene kant een minimale waterdiepte nodig om te voorkomen dat bij bepaalde afvoeren een niet gefixeerde vrije watersprong zou ontstaan, terwijl aan de andere kant grotere waterdieptes bij verdronken watersprong zorgen voor een relatief langere watersprong door afname van de mate van energie dissipatie. Op basis van zowel de vereisten voor de minimale bekkendiepte als de waterdieptes voor optimale watersprong wordt voor een bodemhoogte in de vispassage van 4,70 mTAW voorgesteld. Dit zorgt voor een minimale waterdiepte net opwaarts van het meest afwaartse venster/schot van 0,65 m en een waterdiepte net afwaarts van de stuw van 0,60 m. Op basis van de berekeningen uit hoofdstuk 4 werd een meest optimale afstand tussen stuw en monding voorgesteld van 5 m (zie verder in volgend hoofdstuk). Figuur 8 geeft een schematische weergave van het lengteprofiel van de voorgestelde bodemhoogtes. Hierbij is ook een voorstel gedaan voor de locatie en aanloop naar zowel de monding (uitstroom) als de instroom van de vispassage vanuit de stuwgeul om respectievelijk zowel opwaartse als afwaartse migratie zo optimaal mogelijk te maken.



Figuur 8 – Voorstel alternatieve locatie stuw, monding en instroom vispassage met alternatieve bodemhoogtes

Merk op dat net als in het huidige ontwerp ook in het alternatieve ontwerp wordt uitgegaan van een gelijke en dus horizontaal lopende bodemhoogte door de gehele vispassage, enkel dan nu op 4,70 mTAW. Dit betekent dat de waterdiepte in de bekken afneemt in afwaartse richting (zie schematisch lengte profiel in Figuur 9). Hierbij is het tenslotte van belang om ook de energie per bekken te controleren op de maatlat van 100 W/m³ vanuit het oogpunt optimale passeerbaarheid (zie ook paragraaf 2.2.3).



Figuur 9 – Schematisch lengteprofiel vispassage

De energie per bekken kan worden berekent met behulp van de volgende formule uit Larinier (2002):

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot dh}{L_b \cdot B_b \cdot y_b} \quad (3)$$

Met:

E =	Energie per bekken	[W/m ³]
ρ =	Dichtheid zoetwater (998)	[kg/m ³]
g =	Valversnelling (9,81)	[m/s ²]
Q =	Debiet	[m ³ /s]
dh =	Verval over het schot/venster	[m]
L _b =	Bekkenlengte	[m]
B _b =	Bekkenbreedte	[m]
y _b =	Waterdiepte in het bekken	[m]

Tabel 5 en Tabel 6 geven een overzicht van de energie per bekken bij streefpeilen voor respectievelijk de toekomstige situatie en huidige situatie. Hieruit blijkt dat het meest afwaartse bekken logischerwijze altijd de hoogste waarde heeft maar dat deze zowel in de toekomstige situatie (circa 42 W/m³) als de huidige situatie (circa 12 W/m³) nog ruim onder de maatlat van maximaal 100 W/m³ blijven.

Tabel 5 – Resultaten energie per bekken bij streefpeilen in de toekomstige situatie (Ho = 6 mTAW)

N	bekkennummer	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dH	totaal verval	[m]	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
dh	verval per bekken/venster	[m]	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
HN	waterpeil in bekken	[mTAW]	5,953	5,907	5,860	5,813	5,767	5,720	5,673	5,627	5,580	5,533	5,487	5,440	5,393	5,347	5,300
y _b = h ₂	waterdiepte bekken	[m]	1,253	1,207	1,160	1,113	1,067	1,020	0,973	0,927	0,880	0,833	0,787	0,740	0,693	0,647	0,600
h1	waterdiepte opw bekken	[m]	1,300	1,253	1,207	1,160	1,113	1,067	1,020	0,973	0,927	0,880	0,833	0,787	0,740	0,693	0,647
S	verdrinkingsgraad	[-]	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93
Q _v	debiet	[m ³ /s]	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052	0,052
B _b	bekkenbreedte	[m]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
L _b	bekkenlengte	[m]	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
E _b	energie bekken	[W/m ³]	19,84	20,61	21,43	22,33	23,31	24,38	25,55	26,83	28,26	29,84	31,61	33,60	35,86	38,45	41,44

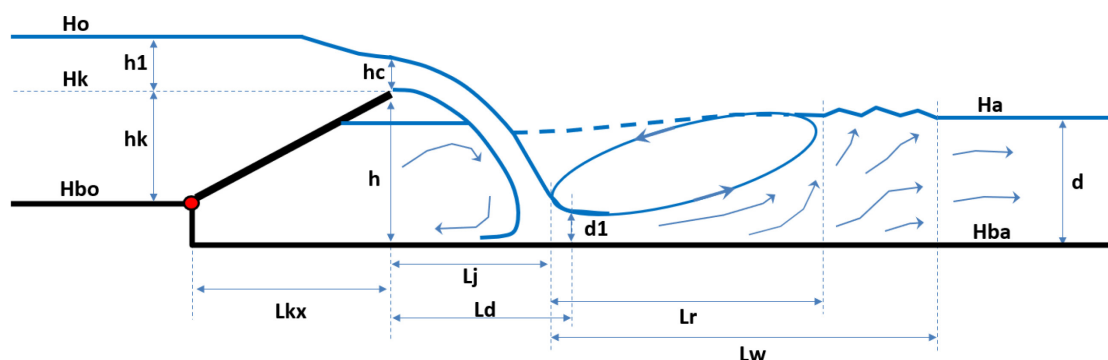
Tabel 6 – Resultaten energie per bekken bij streefpeilen in de huidige situatie (Ho = 5,6 mTAW)

N	bekkennummer	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dH	totaal verval	[m]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
dh	verval per bekken/venster	[m]	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
HN	waterpeil in bekken	[mTAW]	5,580	5,560	5,540	5,520	5,500	5,480	5,460	5,440	5,420	5,400	5,380	5,360	5,340	5,320	5,300
y _b = h ₂	waterdiepte bekken	[m]	0,880	0,860	0,840	0,820	0,800	0,780	0,760	0,740	0,720	0,700	0,680	0,660	0,640	0,620	0,600
h1	waterdiepte opw bekken	[m]	0,900	0,880	0,860	0,840	0,820	0,800	0,780	0,760	0,740	0,720	0,700	0,680	0,660	0,640	0,620
S	verdrinkingsgraad	[-]	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Q _v	debiet	[m ³ /s]	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034
B _b	bekkenbreedte	[m]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
L _b	bekkenlengte	[m]	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
E _b	energie bekken	[W/m ³]	7,93	8,11	8,30	8,51	8,72	8,94	9,18	9,43	9,69	9,97	10,26	10,57	10,90	11,25	11,63

4 Locatie monding t.o.v. de stuw

De locatie van de monding ten opzicht van de zgn. migratielimietlijn speelt een belangrijke rol in de attractiviteit (vindbaarheid) en daarmee de effectiviteit van de vispassage. Wanneer opwaarts migrerende vissen aan een migratieknelpunt komen (zoals bijv. een stuw), zwemmen ze tot het gebied waarin de turbulenties of stroomsnelheden voor de vissen te hoog zijn om nog te kunnen optrekken. Vanaf deze 'migratielimietlijn' zoekt de vis naar een alternatieve trekroute (zie ook paragraaf 2.2.4).

In het geval van stuwen bestaat de turbulente zone uit de zone van de watersprong (zie L_r en L_w in Figuur 10). Bij overstort ontstaat er afwaarts van de stuw een vallende straal (L_d) en een zeer turbulente 'roller' (L_r) met hoge stroomsnelheden aan de bodem (superkritische stroming) en aan het oppervlak een terugstroom naar de vallende straal. Na de zone van de 'roller' is er een overgangszone met relatief veel luchtbubbels naar een normale 'rustige' stroming. De zone van de roller plus deze overgangszone wordt de zone van de watersprong genoemd. In het geval van een verdronken watersprong (lees: waterdiepte $d >$ theoretische evenwichtsdiepte d_2 na de roller) begint de zone van de watersprong al iets opwaarts van de zone van de vallende straal, zie parameter L_j ten opzichte van L_d .



Figuur 10 – Schematische weergave stuwoverstort en afwaartse watersprong

De migratielimietlijn bevindt zich in de zone tussen einde roller en einde watersprong ($L_w - L_r$).

Afhankelijk van de doelsoort (sterke/zwakke zwemmer; reactie op turbulentie) kan de effectieve limietlijn echter dichterbij of verder af van de roller (einde L_r) liggen. Aangezien het debiet over de stuwen kan variëren, varieert de locatie en lengte van de watersprong en dus ook de ligging van de migratielimietlijn.

Om de optimale afstand tussen de stuw en de vispassagemonding te bepalen wordt de ligging van het einde van de roller en het einde van de watersprong berekend met behulp van empirisch bepaalde literatuurformules. Afstanden worden daarbij steeds berekend ten opzichte van de stuwas.

Het debiet over een vrije overlaat kan worden berekend volgens:

$$Q = C_d \cdot B_o \cdot h_1^{3/2} \quad (\text{Nortier \& de Koning, 1996}) \quad (4)$$

Met:

•	Q	Debiet bij vrije overlaat	[m ³ /s]
•	C_d	Debietcoëfficiënt	[-]
•	B_o	Breedte overlaat	[m]
•	h_1	Opwaartse waterdiepte boven klep (= $H_o - H_k$, zie Figuur 10)	[m]
•	H_o	Hoogte opwaarts waterpeil	[mTAW]
•	H_k	Hoogte kruinpeil overlaat	[mTAW]

De lengte van een beluchte vallende straal:

$$\frac{L_d}{h} = 2.171 \left(\frac{h_c}{h} \right)^{0.525} \quad (\text{Chanson, 2002}) \quad (5)$$

Met:

•	L_d	Lengte vallende straal (gemeten vanaf kleppunt tot waterdiepte d_1 , zie Figuur ??)	[m]
•	h_c	Kritische waterhoogte ($h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$)	[m]
•	q	Debiet per strekkende meter (Q / B_o)	[m ² /s]
•	Q	Debiet bij vrije overlaat	[m ³ /s]
•	B_o	Breedte overlaat	[m]
•	g	Valversnelling (= 9,81 m/s ²)	[m/s ²]
•	h	Valhoogte	[m]

De waterdiepte (d_1) voor de sprong:

$$\frac{d_1}{h} = 0.54 \cdot \left(\frac{h_c}{h} \right)^{1.275} \quad (\text{Rand, 1955}) \quad (6)$$

En de corresponderende evenwichtsdiepte (d_2) na de sprong:

$$\frac{d_2}{h} = 1.66 \cdot \left(\frac{h_c}{h} \right)^{0.81} \quad (\text{Rand, 1955}) \quad (7)$$

Met:

•	d_1	Waterdiepte voor de watersprong	[m]
•	d_2	Evenwichtsdiepte na de watersprong	[m]
•	h	Valhoogte	[m]
•	h_c	Kritische waterhoogte ($h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$)	[m]
•	g	Valversnelling (= 9,81 m/s ²)	[m/s ²]
•	q	Debiet per strekkende meter (Q / B_o)	[m ² /s]
•	Q	Debiet bij vrije overlaat	[m ³ /s]
•	B_o	Breedte overlaat	[m]
•	Fr_1	Froude getal vóór sprong $Fr_1 = \frac{q/d_1}{\sqrt{g \cdot d_1}}$	[-]

Afhankelijk van het overstortdebiet, de valdiepte (h) en de afwaartse waterdiepte (d) kan er een vrije of verdrongen watersprong ontstaan. Bij een vrije watersprong is de afwaartse waterdiepte (d) ondieper dan de benodigde evenwichtsdiepte van de watersprong (d_2) waardoor er opwaarts van de watersprong een zone met schietend water ontstaat (Froude-getal > 1). In het geval van de verdrongen watersprong is de afwaartse waterdiepte wel groter dan de evenwichtsdiepte ($d > d_2$) en reikt het afwaarts waterpeil tot aan de vallende straal/ opwaartse wand (zie blauwe stippellijn in Figuur 10).

De lengte van een verdronken watersprong (L_w) wordt zowel bij overstort als onderstroom berekend aan de hand van volgende formulering:

$$\frac{L_w}{d_2} = 6.1 + 4.9 \cdot S_j \quad (\text{Vischer \& Hager, 1995}) \quad (8)$$

Met:

- L_w Lengte verdronken watersprong [m]
- d_2 Evenwichtsdiepte na de watersprong [m]
- S_j Factor verdrinkingsgraad $S_j = (d/d_2) - 1$ voor $S_j > 0$ (Rajaratnam, 1965) [-]
- d Waterdiepte afwaarts pand [m]

Indien de watersprong niet verdronken is ($d \leq d_2$), kan de lengte van de watersprong berekend worden aan de hand van volgende formuleringen:

$$L_w = 6(d_2 - d_1) \quad (\text{Rand, 1955}) \quad (9)$$

$$\frac{L_w}{d_1} = 10 \cdot \alpha_j \cdot \tanh\left(\frac{Fr_1 - 1}{\alpha_j}\right) \quad (\text{Vischer \& Hager, 1995}) \quad (10)$$

Met:

- L_w Lengte vrije watersprong [m]
- d_1 Waterdiepte voor de watersprong [m]
- d_2 Evenwichtsdiepte na de watersprong [m]
- α_j Coëfficiënt (= 22; voor $4 \leq Fr_1 \leq 12$) [-]
- Fr_1 Froude getal vóór sprong $Fr_1 = \frac{q/d_1}{\sqrt{g \cdot d_1}}$ [-]
- g Valversnelling (= 9,81 m/s²) [m/s²]

De lengte van de roller (L_r) is de lengte waarbinnen relatief grote stroomsnelheden aan de bodem en een terugstroom aan het wateroppervlak plaatsvinden (zie ook Figuur 10). De lengte van de roller kan bepaald worden met de volgende formules:

$$\frac{L_r}{d_1} = 8 \cdot \left(\left(\frac{d_c}{d_1} \right)^{3/2} - 1.5 \right) \quad (\text{Chanson, 2002}) \quad (11)$$

$$\frac{L_r}{d_1} = -12 + 8 \cdot \alpha_r \cdot \tanh\left(\frac{Fr_1}{\alpha_r}\right) \quad (\text{Hager et al., 1990}) \quad (12)$$

Met:

- L_r Lengte roller binnen watersprong [m]
- d_1 Waterdiepte voor de watersprong [m]
- h Valhoogte [m]
- d_c Kritische waterhoogte ($d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$) [m]
- g Valversnelling (= 9,81 m/s²) [m/s²]
- q Debiet per eenheidsbreedte (Q / B_s) [m²/s]
- Q Debiet bij vrije overlaat [m³/s]
- B_s Breedte schuifopening [m]
- Fr_1 Froude getal vóór sprong $Fr_1 = \frac{q/d_1}{\sqrt{g \cdot d_1}}$ [-]

Tabel 7 geeft een overzicht van de resultaten van de watersprongberekeningen bij vier maatgevende overstortdebieten over de stuw:

- $Q_{90\%}$: 0,040 m³/s;
- $Q_{50\%}$: 0,200 m³/s;
- $Q_{10\%}$ -ondergrens: 0,800 m³/s;
- $Q_{10\%}$ -bovengrensgrens: 1,000 m³/s.

Uit de resultaten blijkt dat het einde van de watersprong (Lw) binnen de normale werkingsperiode van de vispassage ($Q_{90\%}$ tot $Q_{10\%}$) tussen de circa 5 en 6 meter ten opzichte van de stuwas ligt. Het einde van de roller (Lr) wordt berekend tussen de circa 2 en 4 meter ten opzichte van de stuwas.

Op basis van deze resultaten wordt voorgesteld om het begin van de **monding op 5 meter uit de stuwas** te plaatsen. Daarmee ligt deze altijd buiten de zone van de roller, maar nog wel dicht genoeg aan de stuwen om ook bij lagere afvoeren niet te ver van de stuw af te liggen.

Tabel 7 – Resultaten berekening einde watersprong bij maatgevende overstortdebieten

param.	omschrijving	eenheid	toekomstig opwaarts streefpeil				huidig opwaarts streefpeil			
Ho	Opwaarts waterpeil	mTAW	6,00	6,00	6,00	6,00	5,60	5,60	5,60	5,60
Ha	Afwaarts waterpeil	mTAW	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
Hba	Afwaarts bodempeil	mTAW	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
Bk	Breedte stuwklep(pen)	m	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Hks	Peilhoogte stuwklepas(sen)	mTAW	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Hk	Peilhoogte stuwklep(pen)	mTAW	5,77	5,81	5,92	5,97	5,37	5,41	5,52	5,57
hk	Relatieve hoogte klep tov as	m	0,77	0,81	0,92	0,97	0,37	0,41	0,52	0,57
h1	Waterhoogte opw boven klep	m	0,23	0,19	0,08	0,03	0,23	0,19	0,08	0,03
Ck	Debietcoëfficiënt klep	-	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
Qvrij	Overstort debiet (volkomen overlaat)	m³/s	1,000	0,800	0,201	0,041	1,000	0,800	0,200	0,040
dc	Kritische waterhoogte	m	0,16	0,14	0,05	0,02	0,16	0,14	0,05	0,02
h	Valhoogte	m	1,07	1,11	1,22	1,27	0,67	0,71	0,82	0,87
Lk	Lengte klep	m	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
Lkx	Relatieve kleplengte in stroomrichting	m	1,60	1,59	1,52	1,49	1,74	1,73	1,70	1,69
Ld	Lengte vallende straal (Chanson)	m	0,86	0,80	0,52	0,30	0,69	0,65	0,43	0,25
d1	Waterdiepte voor watersprong (Rand)	m	0,05	0,04	0,01	0,00	0,06	0,05	0,01	0,00
v1	Stroomsnelheid voor watersprong	m/s	3,92	3,82	3,19	2,54	3,44	3,37	2,86	2,28
Fr1	Froudegetal voor watersprong	-	5,53	5,95	9,07	14,28	4,56	4,94	7,71	12,30
d2	Waterdiepte na watersprong (Rand)	m	0,38	0,34	0,16	0,07	0,35	0,31	0,15	0,06
d	Afwaartse waterdiepte	m	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Sj	Verdrinkingsgraad watersprong (Rajar)	-	0,58	0,77	2,66	7,56	0,72	0,93	2,95	8,31
Lws	Lengte verdrongen watersprong (Rajar)	m	3,40	3,35	3,14	3,02	3,36	3,31	3,12	3,02
Lws-E	Einde verdrongen watersprong tov stuwas	m	5,86	5,74	5,18	4,82	5,79	5,70	5,25	4,95
Lr	Lengte roller (Hager)	m	1,59	1,44	0,70	0,28	1,39	1,27	0,66	0,27
Lr	Lengte roller (Chanson)	m	1,65	1,49	0,76	0,33	1,42	1,31	0,70	0,30
LrE	Einde roller (Hager) tov stuwas	m	4,05	3,83	2,75	2,07	3,81	3,65	2,79	2,20
LrE	Einde roller (Chanson) tov stuwas	m	4,11	3,88	2,81	2,12	3,85	3,69	2,83	2,24

In het huidige ontwerp hebben de uitstroom (monding) en de instroom een breedte van 1,5 m. Aangezien het debiet in zowel de toekomstige situatie als de huidige situatie relatief klein zijn, wordt voorgesteld om de **zowel de monding als de instroom een breedte geven van 0,7 m**. Hierdoor wordt de lokstroom iets versterkt ten opzichte van de hoofdstroom en maakt ook dat de opwaartse afsluitconstructie iets minder breed hoeft te worden uitgevoerd.

Bij een breedte van 0,7 m en een bodemhoogte van 4,70 mTAW (waterdiepte bij afwaarts streefpeil is dan 0,6 m) geeft dit de volgende gemiddelde stroomsnelheden in de monding:

- Debiet bij huidig streefpeil = $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$ → gemiddelde stroomsnelheid = $0,08 \text{ m/s}$;
- Debiet bij toekomstig streefpeil = $0,052 \text{ m}^3/\text{s}$ → gemiddelde stroomsnelheid = $0,12 \text{ m/s}$.

Ter vergelijking worden de volgende stroomsnelheden berekend in de afwaartse waterloop (diepte 0,3 m en breedte 5,7 m) bij gemiddelde en hogere afvoer:

- $Q_{50\%} = 0,200 \text{ m}^3/\text{s}$ → gemiddelde stroomsnelheid = $0,12 \text{ m/s}$;
- $Q_{10\%}\text{-ondergrens} = 0,800 \text{ m}^3/\text{s}$ → gemiddelde stroomsnelheid = $0,47 \text{ m/s}$;
- $Q_{10\%}\text{-bovengrens} = 1,000 \text{ m}^3/\text{s}$ → gemiddelde stroomsnelheid = $0,58 \text{ m/s}$.

5 Conclusie

5.1 Ontwerp en dimensionering vispassage

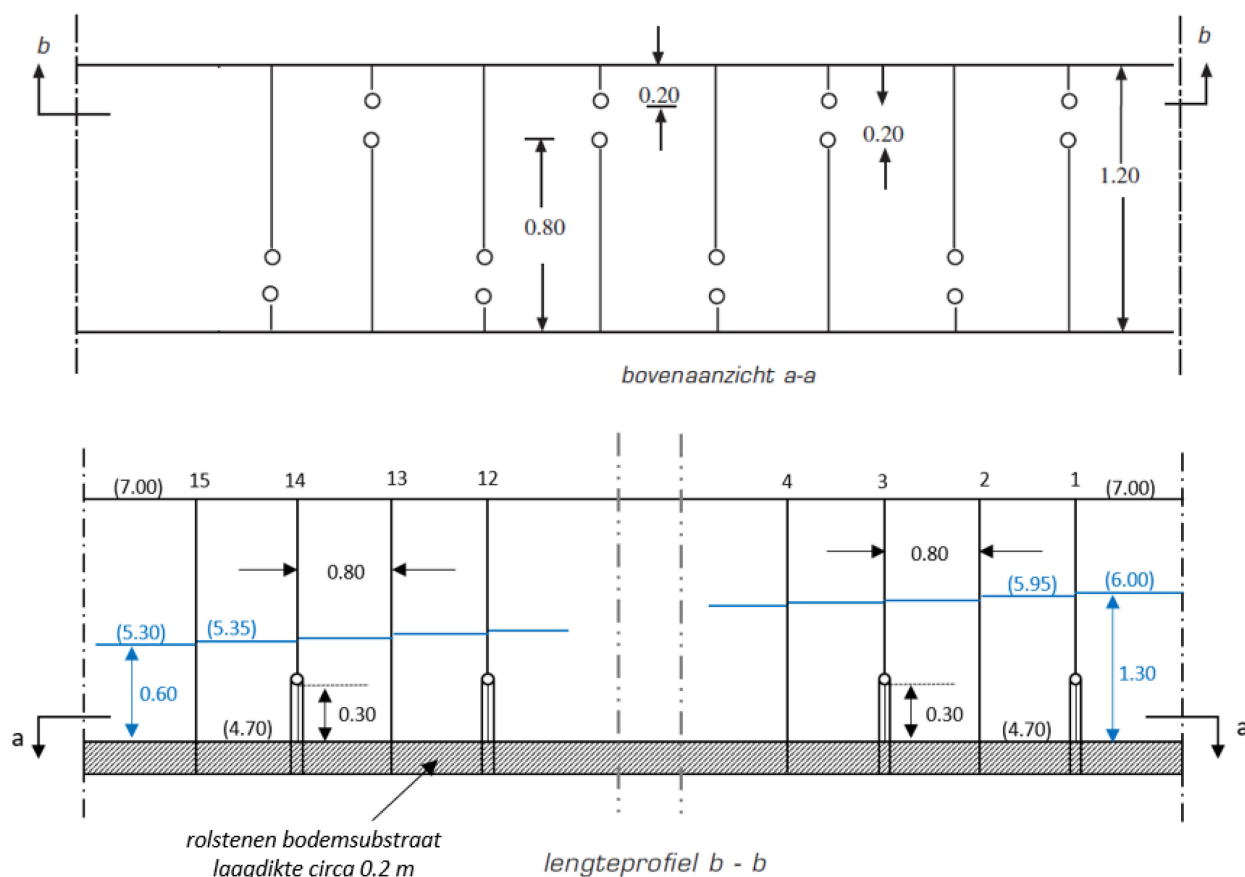
Tabel 8 geeft een overzicht van het voorstel voor de hydraulische dimensionering van de De Wit-vispassage op basis van de doelsoorten, ontwerpcriteria en hydraulische en ruimtelijke randvoorwaarden. Figuur 11 geeft tevens een schematische weergave van deze parameters in een schetsmatig bovenaanzicht en lengtedoorsnede.

Tabel 8 – Maatgevende waarden dimensionering De Wit-vispassage Lievegem

parameter	omschrijving*	aantal / waarde	eenheid
dHs	Totale verval bij toekomstige streefpeilen (= 6,0 – 5,3 mTAW)	0,70	[m]
N	Aantal schotten/vensters	15	[-]
dh	Verval per schot/venster bij dHs	0,05	[m]
b	Vensterbreedte	0,20	[m]
hv	Vensterhoogte (boven bodemsubstraat)	0,30	[m]
L	Bekkenlengte	0,80	[m]
B	Bekkenbreedte	1,20	[m]
x	Afstand (verspringend) venster t.o.v. van de zijwand	0,20	[m]
Hb	Bodemhoogte bodemsubstraat gehele vispassage (=horizontale bodem)	4,70	[mTAW]
ds	Laagdikte rolstenen bodemsubstraat	0,20	[m]
drs	Range diameter rolstenen bodemsubstraat	± 0,05 – 0,10	[m]
Hbb	Hoogte onderliggende betonbodem	4,50	[m]
Dv	Diameter ronde rand vensters	0,09	[m]
Q _{vis}	Vispassagedebiet bij toekomstig opwaarts streefpeil (en C = 0,91)	0,052	[m ³ /s]
V _g	Gemiddelde stroomsnelheid in vensters bij streefpeilen (en C = 0,91)	0,87	[m/s]
E	Max energie per bekken bij streefpeilen (meest afwaartse bekken)	42	[W/m ³]

* Blauwe waarden zijn hydraulische waarden bij streefpeilen en kunnen dus variëren bij waterpeilfluctuaties. Zwarte waarden zijn fysieke waarden van het constructief ontwerp.

Uitgaande van een totaal verval van 0,70 m bij het toekomstige streefpeil en het maximale verval per bekken van 0,05 m waren minimaal 14 schotten nodig. Bij een bekkenlengte van 0,8 m geeft dit een totale lengte van 11,2 m. Dit zou betekenen dat de vispassage binnen de maximaal beschikbaar lengte zou passen zoals reeds ingetekend in het huidige ontwerp (zie Figuur 3). Echter bleek de waterdiepte te plaatse van de monding en de meest afwaartse bekkens niet voldoende om te kunnen voldoen aan de minimale ontwerpcriteria voor waterdiepte ter plaatse van de vensters. De waterdiepte in het afwaartse pand is namelijk slechts circa 0,30 m (bodempel is 5 mTAW en streefpeil is 5,3 mTAW). Daarom wordt een alternatieve ruimtelijke inpassing voorgesteld. Deze alternatieve inpassing is weergegeven in paragraaf 5.3. Merk op dat daarbij 1 schot extra werd toegevoegd met oog op een goed hydraulisch stroompatroon. Dat brengt het totaal aantal schotten op 15.



Figuur 11 – Dimensionering De Wit-vispassage Lievegem

Op de bodem van de vispassage dient een laag rolsteen (diameter circa 5 tot 10 cm) zodanig aangebracht te worden, dat een doorlopende, traploze bedding ontstaat. Een volledig betonnen bodem in de visdoorgang moet worden vermeden. Een ruwe bodem kan de stromingspatronen in de bekkens namelijk gunstig beïnvloeden, en de lagere stroomsnelheid op de bodem staat ook de passage toe van kleine vissen en andere waterdieren. Dit rolstenen bodemsubstraat dient ook in de vensters te worden doorgetrokken, aansluitend op de bodem in de bekkens. Dit betekent dat een eventuele onderliggende betonnen bodemplaat over de laagdikte van dit bodemsubstraat dieper moet worden aangelegd. Boven het bodemsubstraat dient namelijk dezelfde natte vensterhoogte te worden behouden. Uitgaande van de steendiameters van 0,05 tot circa 0,10 m is de laagdikte van de het bodemsubstraat circa 0,2 m. Voor de afronding van de randen van de vensters wordt een ronde vorm geadviseerd met een diameter van circa 0,09 m (AMINAL, 2005).

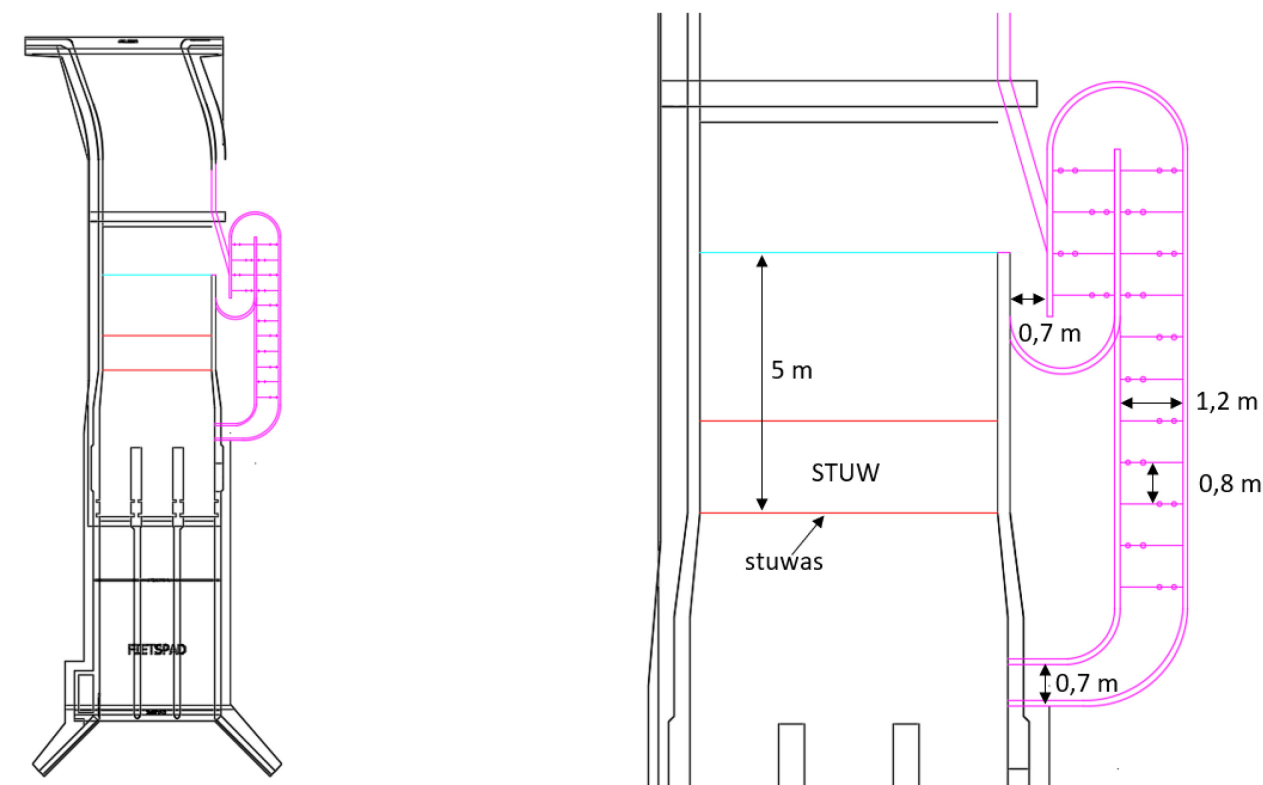
5.2 Optimale afstand monding t.o.v. stuw

Op basis van de watersprongberekeningen bij maatgevende debieten wordt een optimale afstand tussen het begin van de monding en de stuwas voorgesteld van 5 m.

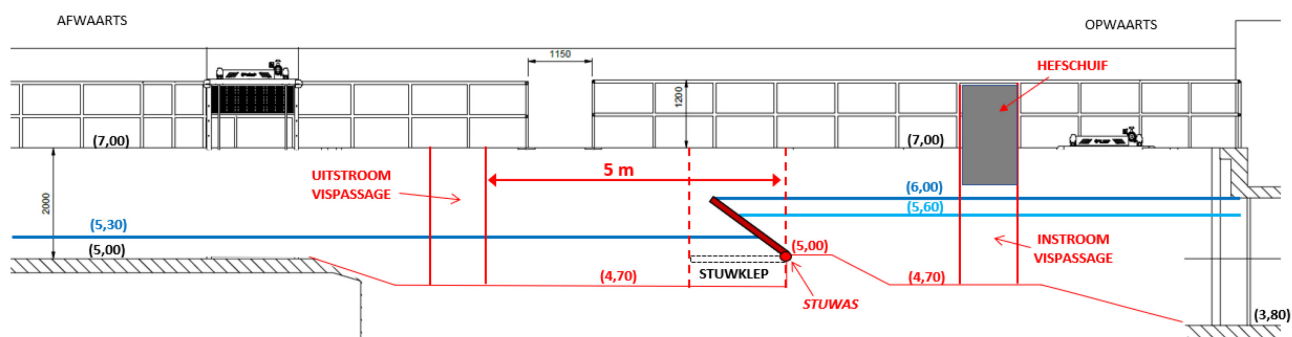
Om de lokstroom in de monding (en ook instroom) iets te versterken wordt voorgesteld om zowel de instroom als de monding uit te voeren met een breedte van 0,7 m (bij een bodemhoogte van 4,70 mTAW).

5.3 Voorstel ruimtelijke inpassing

Figuur 12 toont het voorstel voor de ruimtelijke inpassing van de vispassage op basis van de berekeningen van het hydraulische ontwerp. Figuur 13 geeft tevens een schematische weergave van het lengteprofiel en bijbehorende bodemhoogtes bij dit voorstel.



Figuur 12 – Voorstel ruimtelijke inpassing vispassage en stuw



Figuur 13 – Voorstel alternatieve locatie stuw, monding en instroom vispassage met alternatieve bodemhoogtes

6 Referenties

- AMINAL (2005). Vismigratie – Een handboek voor herstel in Vlaanderen en Nederland. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap: Brussel. ISBN 9080324566. 205 pp.
- Boiten (2004) The Dutch pool and orifice fishway. Wageningen University, The Netherlands
- Buyse, D., Coeck, J., (2014). Advies over het concept van temporele vismigratie om vismigratieknelpunten te saneren. Adviezen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.A.3016.
- Chanson, H. (2002). The hydraulics of stepped chutes and spillways. Swets & Zeitlinger: Lisse. ISBN 90-5809-352-2
- Coenen, J.; Antheunisse, M.; Beekman, J.; Beers, M. (2013). Handreiking vispassages in Noord-Brabant. Waterschap Aa en Maas: [S.I.]
- Hager, W.H.; Bremen, R.; Kawagoshi, N. (1990). Classical hydraulic jump: length of roller. J. Hydraul. Res. 28(5): 591
- Larinier, M., (2002). Pool Fishways, Pre-barrages and Natural Bypass Channels – Bull. Fr. Pêche Piscic. 364 suppl., 54-82. FAO. Boves, France.
- Nortier, I.W.; de Koning, P. (1996). Toegepast vloeistofmechanica – hydraulica voor waterbouwkundigen. Noordhoff Uitgevers B.V. Zevende druk. ISBN 9789040103186.
- Rand, W. (1955). Flow geometry at straight drop spillways. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 81: 1–13
- Rajaratnam, N. (1965). Submerged Hydraulic Jump. ASCE Journal of Hyd. Div., Vol. 91, HY4, April, 1965, pp. 71-96.
- Riemersma, P. (1994). Biologische aspecten bij het ontwerp van vispassages. vismigratie, visgeleiding en vispassages Ned. – Lezingen en posterpresentaties van Stud. Vismigratie, Jaarbeurs Utr. 15 december 1993. Redactie J.P. Raat.
- Schwevers, U. (2006). Allgemeine Anforderungen an Fischaufstiegsanlagen. In: Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna. Int. DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft 03-04 April.
- Vischer, D.L.; Hager, W.H. (Eds.). (1995). Energy dissipators. Hydraulic Structures Design Manual: Hydraulic Design Considerations, 9. A.A. Balkema: Rotterdam. ISBN 90-54109-198-9.
- VMM (2022) Bestek “Gemaal Waarschoot Lieve afbreken en vervangen door stuwconstructie, door middel van een DB&M-opdracht”. L 4680 I 0009 G. Vlaamse Milieumaatschappij, Kern Beheer en Investerings Waterlopen, Dienst Investerings en Renovaties, Brussel.

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