




**Vlaanderen**  
is wetenschap

# Onderzoek naar de visveiligheid van de turbine aan het sluis-stuw complex van de Leie in Harelbeke

Pieterjan Verhelst, David Buysse, Nico De Maerteleire, Franky Dens, Yves Maes, Sébastien Pieters, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Thomas Terrie, Jan Vanden Houten & Johan Coeck

INSTITUUT  
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

**Auteurs:**

Pieterjan Verhelst , David Buysse, Nico De Maerteleire, Franky Dens, Yves Maes, Sébastien Pieters, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Thomas Terrie, Jan Vanden Houten & Johan Coeck  
*Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*

**Reviewer:**

Lore Vandamme

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

**Vestiging:**

Herman Teirlinckgebouw  
INBO Brussel  
Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel  
[vlaanderen.be/inbo](https://vlaanderen.be/inbo)

**e-mail:**

[pieterjan.verhelst@inbo.be](mailto:pieterjan.verhelst@inbo.be)

**Wijze van citeren:**

Verhelst, P., Buysse, D., De Maerteleire, N., Dens, F., Maes, Y., Pieters, S., Plaetinck, S., Rosseel, D., Terrie, T., Vanden Houten, J., Coeck, J. (2024). Onderzoek naar de visveiligheid van de turbine aan het sluis-stuw complex van de Leie in Harelbeke. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (4). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.  
DOI: [doi.org/10.21436/inbor.101502384](https://doi.org/10.21436/inbor.101502384)

**D/2024/3241/039**

**Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2024 (4)**

**ISSN: 1782-9054**

**Verantwoordelijke uitgever:**

Hilde Eggermont



Dit werk valt onder een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

**ONDERZOEK NAAR DE VISVEILIGHEID VAN DE  
TURBINE AAN HET SLUIS-STUW COMPLEX VAN  
DE LEIE IN HARELBEKE**

**Pieterjan Verhelst, David Buysse, Nico De Maerteleire, Franky Dens, Yves Maes,  
Sébastien Pieters, Simon Plaetinck, Diederik Rosseel, Thomas Terrie, Jan  
Vanden Houten & Johan Coeck**

[doi.org/10.21436/inbor.101502384](https://doi.org/10.21436/inbor.101502384)

## Dankwoord

Voor dit onderzoek willen we de medewerkers van De Vlaamse Waterweg danken voor de vlotte samenwerking, in het bijzonder projectingenieur Bart Callaert en de sluiswachters van het sluisencomplex te Harelbeke. Ook danken we de medewerkers van FABRICOM voor het sturen van de turbinesnelheden op onze vraag om onze proeven succesvol uit te voeren.



## Samenvatting

In het najaar van 2021 en 2022 werd onderzocht of de turbine van het sluiscomplex in Harelbeke op de Leie schade berokkent aan passerende vissen. Hiervoor keken we naar twee algemene vissoorten voor de Leie, brasem en blankvoorn, en een diadrome vissoort die ook in de Leie voorkomt en ernstig bedreigd is, de Europese paling. Het percentage beschadigde vissen van de geforceerde proeven varieerde van 4% tot 24%. Het effect verschilde echter per soort, maar niet tussen toerental (halve kracht versus volle kracht): de hoogste percentages in beschadigde individuen werd geobserveerd bij paling (halve kracht en volle kracht: 24% en 23%, respectievelijk). Voor brasem lag de kans op beschadiging iets lager (23% en 16%, respectievelijk) en voor blankvoorn was die het laagst (5% en 3%, respectievelijk). Hoewel er slechts 11 zilverpalingen werden gevangen onder de proefopzet voor natuurlijke uittrek, waren de resultaten in lijn met de geforceerde proeven. Namelijk 36% van de palingen liepen verwondingen op. De resultaten van de natuurlijke uittrek zijn daarenboven mogelijk een onderschatting. Niet alleen visten we slechts op één van de twee turbines, onze afvissing was beperkt tot tien dagen.

De meeste vissen, zilverpaling in het bijzonder, migreren stroomafwaarts tijdens verhoogde afvoer en volgen daarbij de hoofdstroom met de hoogste stroomsnelheid. Wanneer de hoofdstroom over de stuwen gaat in plaats van door de turbines, wordt de kans aanzienlijk verkleind dat vissen via de turbines stroomafwaarts migreren. We raden daarom aan om de turbines enkel te activeren wanneer de hoofdstroom over de stuwen gaat. Een bijkomende maatregel kan zijn om rubberen strips op de rand van de turbines te plaatsen, zodat de opening tussen de schroeven en opvoergoot wordt verkleind. Het meest voorkomende type schade over alle vissoorten was namelijk knijpschade: vissen raakten gekneld tussen de vijzelbladen en de behuizing. Door de rubberen strips verkleint de kans dat een vis tussen deze opening gekneld komt te zitten.

De set-up van deze studie liet het echter niet toe om na te gaan welke proportie van de vissen de turbine effectief gebruiken als migratieroute. Vermoedelijk migreert een deel van de vissen stroomafwaarts via de stuw, maar dit deel zal afhankelijk zijn van het debiet dat over de stuw versus door de turbine gaat. Dit kan onderzocht worden aan de hand van een telemetriestudie, waarbij gezenderde vissen in het studiegebied gevolgd worden tijdens hun migratie. Zo kan nagegaan worden welke routes ze nemen, of ze passage van het sluiscomplex overleven en onder welke condities ze migreren. Informatie over de migratiecondities kan toegepast worden voor het sturen van de turbine-activiteit. Bijvoorbeeld als blijkt dat vissen 's nachts in het najaar migreren onder verhoogde afvoer, kan geopteerd worden om op die momenten de turbine uit te schakelen of enkel te activeren als de hoofdstroom over de stuwen gaat.



## Aanbevelingen voor beheer en/of beleid

Uit ons onderzoek bleek de passage van de turbines risicovol voor vis, met schade tot zelfs sterfte als gevolg en geen verschil tussen half en vol toerental. Omdat stroomafwaarts migrerende vissen voornamelijk de hoofdstroom van de rivier gebruiken, bevelen we aan om de turbine alleen te activeren wanneer de hoofdstroom over de stuwen gaat. Daarnaast raden we ook aan om rubberen strips op de vijzelbladen te plaatsen. De schade wees immers voornamelijk op knijpschade doordat vissen tussen de vijzelbladen en de behuizing gekneld kwamen te zitten. Rubberen strips verkleinen de opening tussen de vijzelbladen en behuizing waardoor de kans op knijpschade verkleind kan worden.

Verder willen we ook opmerken dat we via de huidige set-up van het onderzoek niet konden nagaan welke proportie van de vissen in de Leie, zilverpaling in het bijzonder, de turbine gebruikt als stroomafwaartse migratieroute. Aan de hand van een telemetriestudie kunnen we hierover een beter beeld krijgen en mogelijk de periodes aflijnen wanneer vismigratie voor verschillende soorten plaatsvindt en via welke routes van een sluizencomplex (i.e. sluis, turbine, stuw of vistrap). Dit kan het beleid helpen om de periodes af te lijnen wanneer de turbines moeten worden uitgeschakeld of enkel worden aangeschakeld als het hoofddebiet over de stuw gaat.



## English abstract

In autumn 2021 and 2022, we studied whether the turbine of the Harelbeke shipping lock complex on the Lys harms passing fish. For this purpose, two commonly-occurring fish species for the Lys were examined, namely bream and roach, and a diadromous fish species that also occurs in the Lys and is critically endangered, namely the European eel. The percentage of damaged fish from the forced trials ranged from 4% to 24%. However, the effect differed by species, but not between rpm (half force versus full force): the highest percentages in damaged individuals were observed in eel (half force and full force: 24% and 23%, respectively). The probability of damage was slightly lower for bream (23% and 16%, respectively) and lowest for roach (5% and 3%, respectively). Although only 11 silver eels were caught under the natural haul-out trial design, the results were in line with the forced trials. Namely, 36% of the eels suffered injuries. In addition, the results of the natural, unforced emigration may be an underestimation. Not only did we fish on just one of the two turbines, our fishing effort was limited to ten days.

Most fish, silver eels in particular, migrate downstream during increased discharge, going down the main current with highest flow velocity. When the main current passes over the weirs instead of through the turbines, the probability of fish migrating downstream through the turbines is substantially reduced. We therefore recommend activating the turbines only when the main current passes over the weirs. An additional measure can be to place rubber strips on the edge of the turbines to reduce the gap between the screws and upstream channel. Indeed, the most common type of damage across all fish species was pinch damage: fish got pinched between the turbine blades and the casing. The rubber strips reduced the likelihood of a fish getting pinched between this opening.

However, the set-up of this study did not allow us to ascertain what proportion of fish effectively use the turbine as a migration route. Presumably, a proportion of fish migrate downstream through the weirs, but this proportion will depend on the flow over the weirs versus through the turbine. This can be investigated using a telemetry study, in which tagged fish in the study area are followed during their migration. In this way, it can be ascertained which routes they take, whether they survive passage of the shipping lock complex and under what conditions they migrate. Information on migration conditions can be applied to control turbine activity. For example, if it turns out that fish migrate at night in autumn under increased discharge, it can be opted to turn off the turbine at those times or to activate it only if the main current passes over the weirs.



## Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
2	Methode	9
2.1	Studiesite	9
2.2	Proefopzet	10
2.2.1	Geforceerde proef	11
2.2.2	Natuurlijke uittrek	12
2.3	Data analyse	14
3	Resultaten	15
3.1	Geforceerde proef	15
3.1.1	Brasem	15
3.1.2	Blankvoorn	17
3.1.3	Paling	20
3.2	Natuurlijke uittrek	22
4	Bespreking	25
4.1	Schadelijkheid van de turbine	25
4.2	Aanpassingen en oplossingen	25
4.3	bedenkingen en suggesties voor onderzoek	26
5	Referenties	28





# 1 INLEIDING

Migratie bij dieren is geëvolueerd om de kans op overleving en voortplanting te verhogen door de verplaatsing tussen essentiële habitats te stimuleren. Het speelt een cruciale rol in het functioneren van het ecosysteem door, bijvoorbeeld, nutriëntenfluxen tussen verschillende habitats geassocieerd met de beweging van grote groepen dieren, en het behoud van biodiversiteit (Dingle & Drake 2007). Echter, door menselijke activiteit staat habitatconnectiviteit sterk onder druk wat resulteerde in de daling van heel wat migrerende diersoorten (Wilcove & Wikelski 2008). Aquatische systemen in het bijzonder zijn sterk onderhevig aan antropogene activiteiten die habitatconnectiviteit in het gedrang brengen. Veel waterlopen zijn tegenwoordig namelijk ingedijkt en hebben water-regelende structuren zoals sluizen, stuwen en waterkrachtturbines. Zo staan er in Europa ongeveer 1 miljoen vismigratiebarrières (Belletti et al. 2020).

Tijdens de afgelopen eeuw zijn heel wat migrerende vissoorten achteruitgegaan en zelfs lokaal uitgestorven. Eén van de belangrijke oorzaken daarvan is het ontstaan van bovenvermelde migratieknelpunten door waterbeheer (bv. stuwen en dammen). Recent werd de balans opgemaakt in de 'Living Planet Index'. Daaruit bleek dat sinds de jaren 70 diadrome vissoorten 73% zijn achteruitgegaan en potamodrome vissoorten 83% (Deinet et al., 2020). Diadrome vissoorten moeten tussen de zee en zoetwater kunnen migreren om hun levenscyclus te voltooien (vb. Atlantische zalm (*Salmo salar*) en Europese paling (*Anguilla anguilla*)). Potamodrome vissoorten migreren tussen verschillende habitats binnen zoetwater (vb. snoek (*Esox lucius*) en winde (*Leuciscus idus*)).

Om de biologische toestand van migrerende vissoorten te verbeteren, werden verschillende internationale wettelijke kaders en richtlijnen in het leven geroepen, zoals de Benelux Beschikking, de Kaderrichtlijn Water en de Europese Palingverordening. De Benelux Beschikking stelt dat elke nieuwe constructie in een waterloop vispasseerbaar moet zijn. De Kaderrichtlijn Water stelt dat een waterloop hersteld moet worden naar een goede biologische status tegen 2027. De Europese Palingverordening is soortspecifiek en pleit dat 40% van de zeewaarts migrerende palingen (zilverpalingen genaamd) volgens een situatie zonder menselijke invloed de zee moeten kunnen bereiken.

Hoewel vispassages een vaak toegepaste maatregel zijn om vissen voorbij een vismigratiebarrière te helpen, werken die enkel voor stroomopwaarts migrerende vissen (Silva et al. 2018). Stroomopwaarts migrerende vissen botsen op het knelpunt en kunnen de lokstroom van een vispassage vinden om bijgevolg het knelpunt te passeren en zo stroomop hun tocht verder te zetten. Stroomafwaarts migrerende vissen zwemmen vaak met de hoofdstroom mee en zullen een vispassage met een perifere waterstroom niet vinden (Jansen et al. 2007).

Een bepaald type kunstwerk dat reeds in verschillende onderzoeken een dodelijk knelpunt bleek voor stroomafwaarts migrerende vissen, zijn waterkrachtturbines. Op basis van een studie in de Maas werd een sterftepercentage voor stroomafwaarts migrerende zilverpalingen van 9% berekend, maar stelde dat dit aantal mogelijk hoger is door uitgestelde sterfte van gewonde palingen (Winter et al. 2006). Nog andere studies toonden aan dat het aantal verwonde zilverpalingen varieerde tussen 12 en 35% (Haddingh en Bakker 1998; Bruijs et al. 2003). De impact op jonge stroomafwaarts migrerende zalmen in een studie in Noorwegen was lager, maar nog steeds substantieel: 5 – 8% (Thorstad et al. 2017). De sterfte is uiteraard cumulatief



wanneer meerdere waterkrachtturbines opeenvolgend in een rivier staan, zeker voor vissen zoals paling en zalm die de volledige rivier stroomafwaarts moeten afzwemmen om de zee te bereiken. Merk op dat de impact van waterkrachtcentrales op potamodrome vissoorten veel minder bestudeerd werd dan voor de economisch belangrijkere vissoorten paling en zalm. Nochtans moet er gestreefd worden naar een constructie die veilig passeerbaar is voor alle vissoorten in een stroomgebied (Silva et al. 2018).

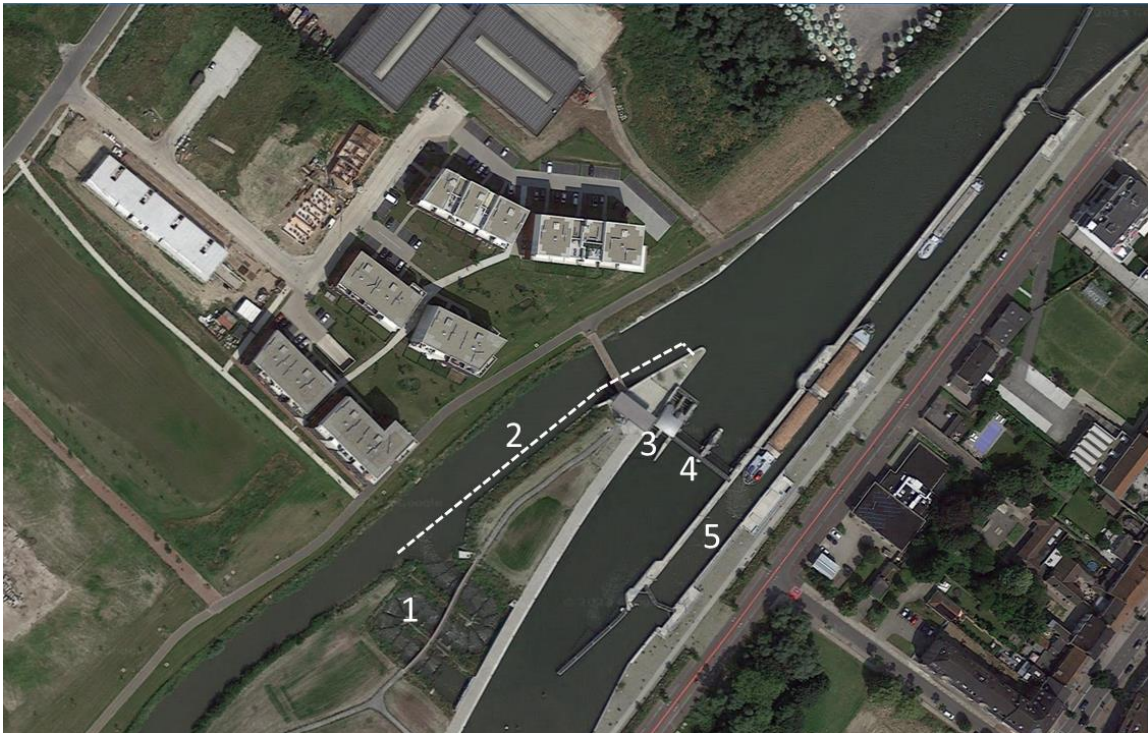
De impact van een waterkrachtturbine is niet enkel specifiek per vissoort, maar ook volgens het type turbine, het toerental en de setting waarin ze opereert (vb. staat ze centraal in een waterloop of op de rand, gaat het hoofddebiet door de turbine of over de stuw, etc.). In deze studie onderzochten we de impact van een waterkrachtturbine in de Leie in Harelbeke op passerende vissen. De turbine betreft een klassieke open vijzel en draait ofwel op halve snelheid (11 rpm) ofwel volle snelheid (21 rpm) afhankelijk van het debiet en waterpeil in het stroomopwaartse pand 'Harelbeke – Menen' van de Leie. De proefopzet bestond uit twee delen. Het eerste deel omvatte een geforceerde proef waarbij we aangekochte vissen door de turbine lieten zwemmen. We kozen voor paling als voorbeeld van een diadrome soort, en blankvoorn en brasem als potamodrome soorten. Blankvoorn en brasem hebben een verschillende lichaamsbouw (spoelvormig versus hoog en zijdelings afgeplat, respectievelijk). Omdat de vorm visveilige passage kan beïnvloeden, kozen we dan ook om beide op te nemen in de test. In het tweede deel onderzochten we de natuurlijke uittrek van stroomafwaarts migrerende zilverpaling omdat we van deze soort in dit levensstadium zeker zijn dat ze afwaarts moet migreren om zich voort te planten. De reden voor deze twee testen op paling is omdat we bij de aanvang van het onderzoek niet wisten of we voldoende palingen gingen vangen bij natuurlijke uittrek om sluitende conclusies te trekken. Tot slot komen alle gekozen vissoorten voor in de Leie en zijn dus representatief voor het visbestand.



## 2 METHODE

### 2.1 STUDIESITE

Het onderzoek vond plaats aan het sluisencomplex van Harelbeke in de Leie (**Fig. 1**). Dit is het tweede complex stroomop van de verbinding met de Ringvaart en de Schelde te Gent. Het sluisencomplex te Harelbeke bestaat uit een scheepvaartsluis tegen de rechteroever met daarnaast twee kantelstuwen. Tegen de linkeroever staan twee waterkrachtturbines met een klassieke open vijzel. De turbines draaien ofwel op halve snelheid (11 rpm) ofwel op volle snelheid (21 rpm) afhankelijk van het waterpeil en het debiet in het stroomopwaartse pand 'Harelbeke – Menen' van de Leie. Rond het sluisencomplex ligt een vistrap die uit twee delen bestaat, namelijk een bekkenvistrap (stroomopwaarts) waarop een begeleidingsgeul aansluit dat net stroomaf van de turbines in het onderste pand uitmondt. Merk op dat de damwanden van de begeleidingsgeul momenteel te diep zitten, waardoor er water overheen stroomt en de functie om een lokstroom te genereren vervalt. Deze lokstroom is essentieel om stroomopwaarts migrerende vissen die op het sluisencomplex botsen naar de ingang van de vispassage te begeleiden.



**Figuur 1.** Het sluisencomplex van Harelbeke heeft een bekkenvistrap (1) gevolgd door een lokstroomkanaal (2) waarvan de damwanden momenteel onder water zitten (witte stippellijn). Het complex bestaat uit twee open vijzels (3), twee stuwen (4) en een scheepvaartsluis (5).

## 2.2 PROEFOPZET

Om de visveiligheid van de waterkrachtturbines na te gaan, werd een fuik met leefnet (maaswijdte 8 mm) gemonteerd aan de stroomafwaartse zijde van de turbine tegen de linkeroever (Fig. 2). De fuik was bevestigd aan een kader dat in de sponning werd gestoken. Vervolgens werd de visveiligheid aan de hand van twee proeven getest: een geforceerde proef waarbij aangekochte vissen door de turbine werden gevoerd en een proef waarbij de natuurlijke passage van paling werd onderzocht.



**Figuur 2.** Aan de stroomafwaartse zijde van de turbine op linkeroever werd via een kader in de sponning een fuik gemonteerd om passerende vissen op te vangen.

Opgevangen vissen werden nauwkeurig gecontroleerd op schade volgens de richtlijn van de Nederlandse Normcommissie (NEN-richtlijn) (Tabel 1). Omdat het aantal verschillende types schade minder extensief was dan de opgegeven lijst, hebben we voor de helderheid volgende klassen gehanteerd: snijschade (3.2) en knijpschade (2.3, 3.5 en 3.6). We voegden daar nog een extra klasse 'bloeduitstorting' aan toe omdat dit frequent voorkwam en we deelden de hoeveelheid schubverlies zelf onder naar geschatte percentage schubverlies.

**Tabel 1.** Indeling in schadeklassen volgens de NEN-richtlijn.

<b>CATEGORIE</b>	<b>SUBCATEGORIE</b>	<b>TYPE SCHADE</b>
<b>1</b>		Gezonde, onbeschadigde vis
<b>2</b>		Licht beschadigde vis
	2.1	Rode en/of beschadigde ogen
	2.2	Rode en/of beschadigde vinnen
	2.3	Lichte krassen, kneuzingen en/of schubverlies < 20%
<b>3</b>		Zwaar (terminaal) beschadigde vis
	3.1	Aanzienlijk schubverlies > 20%
	3.2	Insnijdingen, doorsnijdingen, afgesneden lichaamsdelen
	3.3	Breuken
	3.4	Zwaar beschadigde of ontbrekende ogen
	3.5	Zwaar beschadigde kieuwen/kieuwdeksels
	3.6	Zware kneuzingen en/of bloedingen
	3.7	Abnormaal zwemgedrag
<b>4</b>		Dode vis

### 2.2.1 Geforceerde proef

Voor de geforceerde proef werden aangekochte vissen door de turbine gevoerd. Om te voorkomen dat de vissen stroomopwaarts zouden wegzwemmen van de turbine, werd een rooster geplaatst. Drie vissoorten werden gebruikt voor de geforceerde proeven, namelijk paling, brasem en blankvoorn. Per soort werden 700 vissen gebruikt, verdeeld over twee scenario's: 300 individuen werden bij halve kracht doorgevoerd en 300 bij volle kracht. Per scenario werden 50 vissen onderaan de turbine losgelaten als controle groep om bijvoorbeeld effecten van het leefnet in beschouwing te kunnen nemen zoals schubverlies. De proeven voor paling werden in het najaar van 2021 uitgevoerd en die voor blankvoorn en brasem in het najaar van 2022 (**Tabel 2**).

Aan de hand van een vin-knip werden de vissoorten in verschillende scenario's (i.e. test of controle) onderverdeeld, zodat na het opvangen van de vis hun oorsprong bepaald kon worden. Omdat bij de proeven op paling in 2021 bleek dat het niet evident is om alle doorgevoerde vis binnen de 24u terug te vangen, lasten we voor de proeven in 2022 een extra dag in na het doorvoeren om te turbineren.

**Tabel 2.** Een overzicht van de dagen waarop de proeven werden uitgevoerd met per soort de vermelding van het aantal dieren dat per scenario werd ingezet. Het getal in de scenariocodes T100, T50, C100 en C50 duidt op de snelheid waarbij de turbines draaiden, respectievelijk op volle (100%) en halve (50 ) snelheid. Een effectieve test betrof het doorvoeren van vissen door de turbine, terwijl controle vissen onderaan in de uitstroom van de turbine werden los gelaten.

DATUM	TURBINESNELHEID	TEST OF CONTROLE	SCENARIO	SOORT	AANTAL
20/12/2021	100%	test	T100	paling	300
20/12/2021	100%	controle	C100	paling	50
21/12/2021	50%	test	T50	paling	300
21/12/2021	50%	controle	C50	paling	50
06/12/2022	50%	test	T50	brasem	300
06/12/2022	50%	controle	C50	brasem	50
08/12/2022	100%	test	T100	brasem	300
08/12/2022	100%	controle	C100	brasem	50
13/12/2022	50%	test	T50	blankvoorn	300
13/12/2022	50%	controle	C50	blankvoorn	50
15/12/2022	100%	test	T100	blankvoorn	300
15/12/2022	100%	controle	C100	blankvoorn	50

### 2.2.2 Natuurlijke uittrek

Naast geforceerde proeven, werd ook de natuurlijke uittrek van paling onderzocht. Het voordeel van proeven op natuurlijke uittrek is dat de palingen geen invloed ondervonden van menselijke tussenkomst (i.e. transport van een centrum naar de testlocatie, bijhouden in netten en bakken, vin-knippen en het loslaten bovenaan de turbine) die mogelijk een impact hebben op de resultaten. Het nadeel is echter dat we niet op voorhand kunnen voorspellen of er voldoende uittrekkende palingen zullen gevangen worden om statistisch onderbouwde conclusies te kunnen trekken omtrent de veiligheid van de turbines bij de twee operationele toerentallen. Palingen werden als zilverpaling geïdentificeerd op basis van diagnostische uiterlijke kenmerken, namelijk een vergroot oog (mondhoek reikt niet voorbij het oog), donkergrijze rug, zilverwitte buik, donkergrijze borstvissen en zwarte stippen langs de zijlijn op de flank (**Fig. 3**).





**Figuur 3.** Bovenaan een paling in niet-migrerende vorm (i.e. gele paling) en onderaan een paling in zeewaarts migrerende vorm (i.e. zilverpaling). Een zilverpaling wordt gekenmerkt door een groter oog, donkergrijze bovenkant, zilverwitte onderkant en vergrote, donkere borstvinnen.

Palingen die naar zee trekken, migreren voornamelijk in het najaar, 's nachts en op momenten van verhoogde afvoer. We kozen er dan ook voor om onder die omstandigheden natuurlijke uittrek te bemonsteren in 2023. Een overzicht van de dagen waarop de fuik opgesteld stond op de uitstroom van de turbine wordt gegeven in **tabel 3**. De periode dat de netten aan de turbine bevestigd waren, varieerde van 17 tot 89 uur.

**Tabel 3.** Overzicht van de dagen waarop de fuik aan de stroomafwaartse zijde van de turbine werd bevestigd (start) en er terug werd uitgehaald (stop). De totale tijdsduur is eveneens weergegeven.

Meetnummer	Start	Stop	Tijdsduur (in uur)
1	27/09/2022 11:00	29/09/2022 9:00	46
2	29/09/2022 9:40	30/09/2022 9:00	23
3	30/09/2022 9:30	3/10/2022 9:20	72
4	21/11/2022 9:00	23/11/2022 9:00	48
5	23/11/2022 11:00	24/11/2022 9:00	22



6	5/12/2022 12:30	6/12/2022 8:45	20
7	9/12/2022 16:00	12/12/2022 16:00	72
8	12/12/2022 16:00	13/12/2022 9:00	17
9	16/12/2022 16:00	20/12/2022 9:00	89
10	20/12/2022 10:00	23/12/2022 9:00	71

## 2.3 DATA ANALYSE

Het percentage per schadeklasse werd berekend door het aantal beschadigde vissen voor een bepaalde klasse te delen door het totaal aantal teruggevangen vissen. Een one-way Analysis of Variance (ANOVA) werd uitgevoerd per vissoort om na te gaan of de gemiddelde totale lengte van de vissen verschilde per scenario.





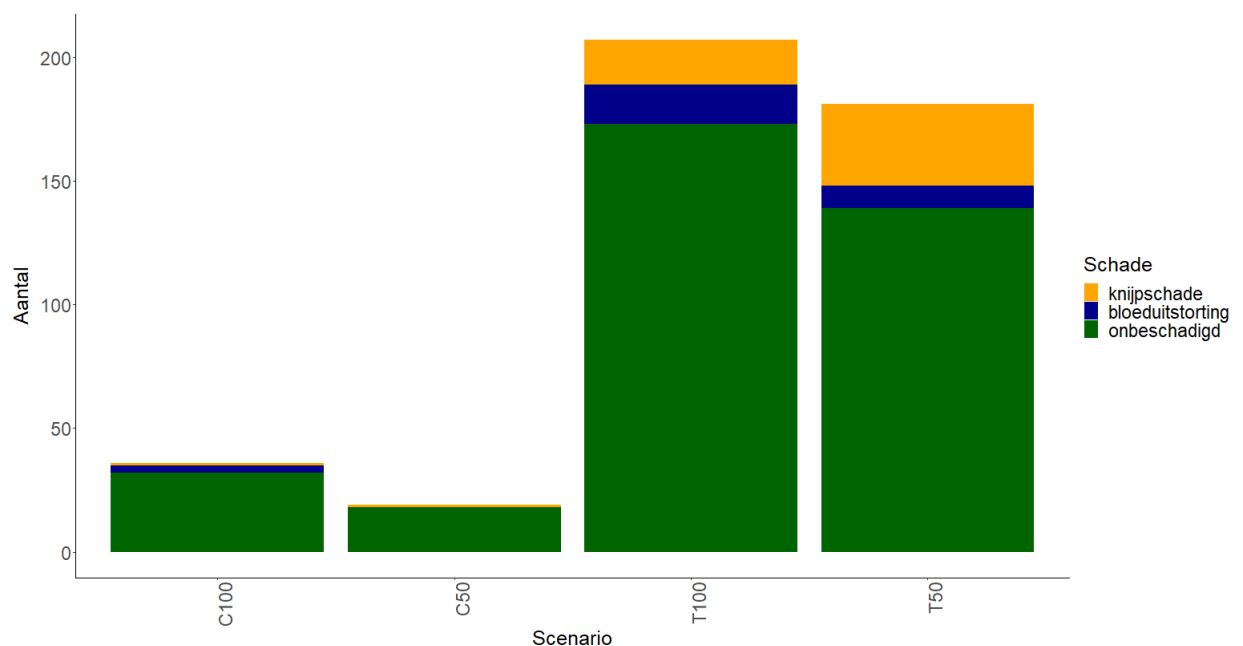
### 3 RESULTATEN

#### 3.1 GEFORCEERDE PROEF

##### 3.1.1 Brasem

Van de 300 doorgevoerde brasems onder het T50 scenario werden er 181 teruggevangen (**Fig. 4**). Daarvan was 77% onbeschadigd, 18% had knijpschade (**Fig. 5**) en 5% had bloeditstoringen (**Fig. 6**). Van de 50 brasems uit de controlegroep C50 die onderaan de turbine werden losgelaten, werden er 19 teruggevangen. Hiervan had één vis knijpschade. Onder het T100 scenario werden 207 van de 300 doorgevoerde vissen teruggevangen. Daarvan was 84% onbeschadigd, maar had 9% knijpschade en 7% bloeditstoringen. Van de 50 controlevissen uit groep C100 werden er 36 teruggevangen, waarvan 3% knijpschade had en 8% bloeditstoringen; 89% was onbeschadigd.

De gemiddelde totale lengte  $\pm$  standaarddeviatie (min – max) van de teruggevangen brasems was  $33 \pm 3$  cm (26 – 43 cm) en dit verschilde niet significant tussen de vier scenario's (one-way ANOVA,  $F = 1.07$ ,  $p > 0.05$ ) (**Fig. 7**).



**Figuur 4.** Het aantal teruggevangen brasems na het uitvoeren van de proeven T100 (turbine op volle kracht), T50 (turbine op halve kracht), C100 (controle groep onder T100) en C50 (controle groep onder T50).

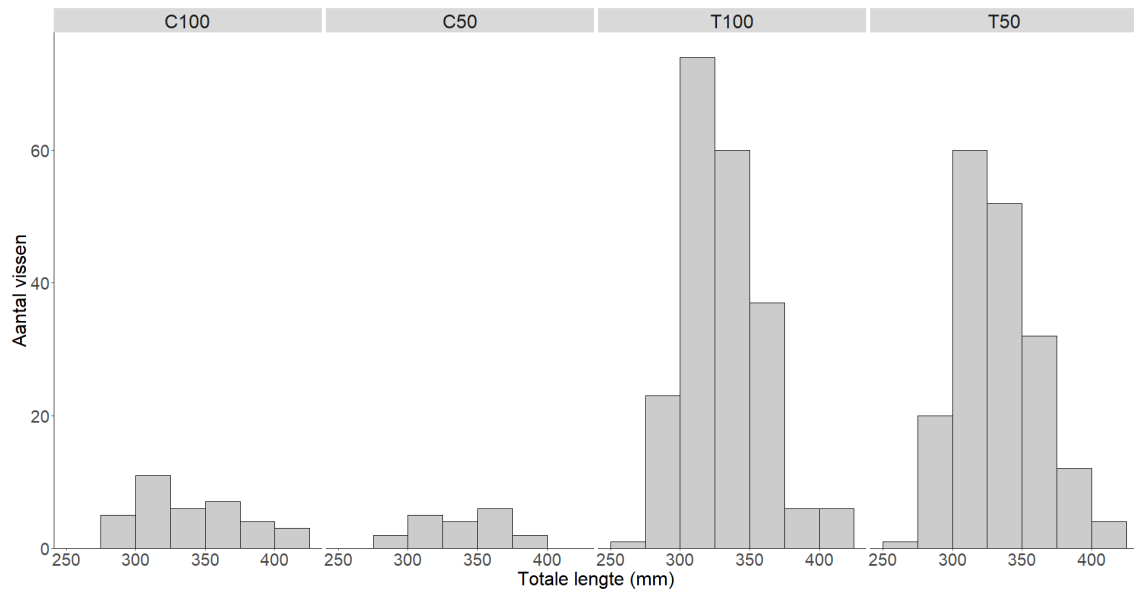


**Figuur 5.** Een voorbeeld van een brasem met knijpschade na de geforceerde proef.



**Figuur 6.** Een voorbeeld van een brasem met bloeduitstortingen na de geforceerde proef.



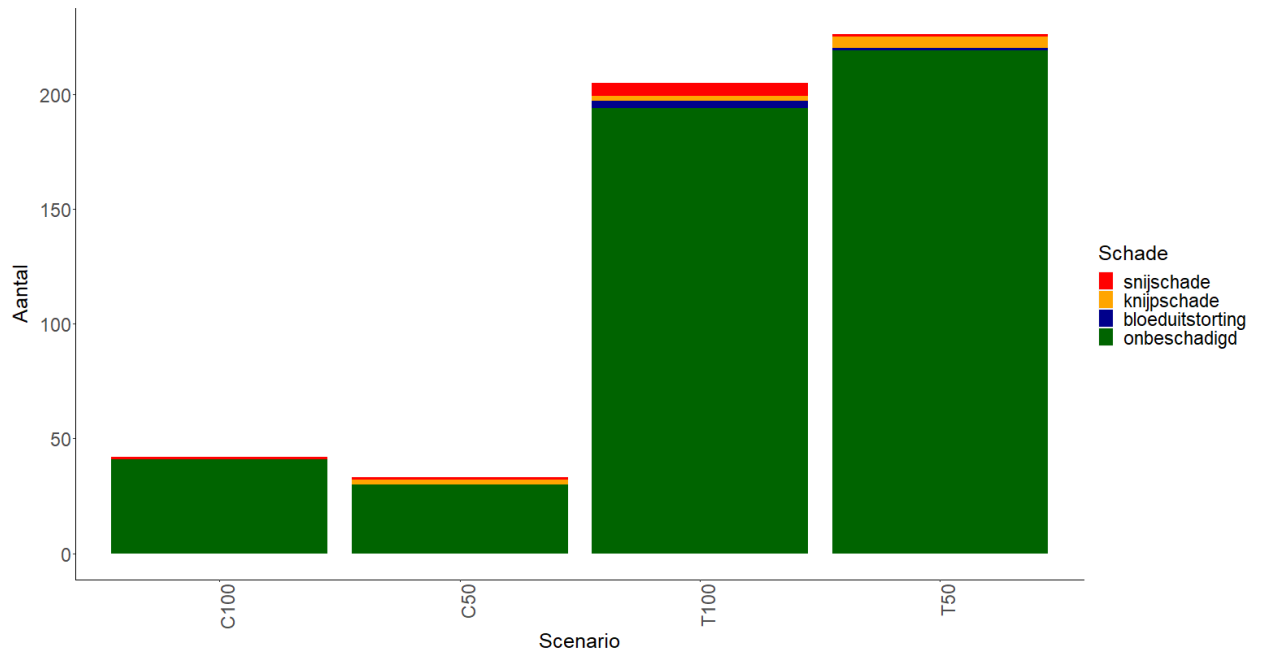


**Figuur 7.** Lengte-frequentie distributies van de teruggevangen brasems onder de verschillende scenario's (C50, C100, T50 en T100).

### 3.1.2 Blankvoorn

Van de 300 doorgevoerde blankvoorns onder het T50 scenario werden er 226 teruggevangen (**Fig. 8**). Daarvan was 97% onbeschadigd, minder dan 1% had snijschade (**Fig. 9**), 2% had knijpschade en minder dan 1% had bloeditstoringen. Van de 50 blankvoorns uit de controlegroep C50 die onderaan de turbine werden losgelaten, werden er 33 teruggevangen. Hiervan had 3% snijschade en 6% knijpschade. Onder het T100 scenario werden 205 van de 300 doorgevoerde vissen teruggevangen. Daarvan was 95% onbeschadigd, had 3% snijschade, 1% knijpschade en 1% bloeditstoringen. Van de 50 controlevissen uit groep C100 werden er 42 teruggevangen, waarvan 2% snijschade had; 98% was onbeschadigd.

Ook voor blankvoorn waren de totale lengtes gelijkaardig voor de verschillende scenario's (one-way ANOVA,  $F = 0.76$ ,  $p > 0.05$ ) (**Fig. 10**). De gemiddelde totale lengte  $\pm$  standaarddeviatie (min – max) voor de teruggevangen blankvoorns was  $19 \pm 2$  cm (14 – 28 cm).

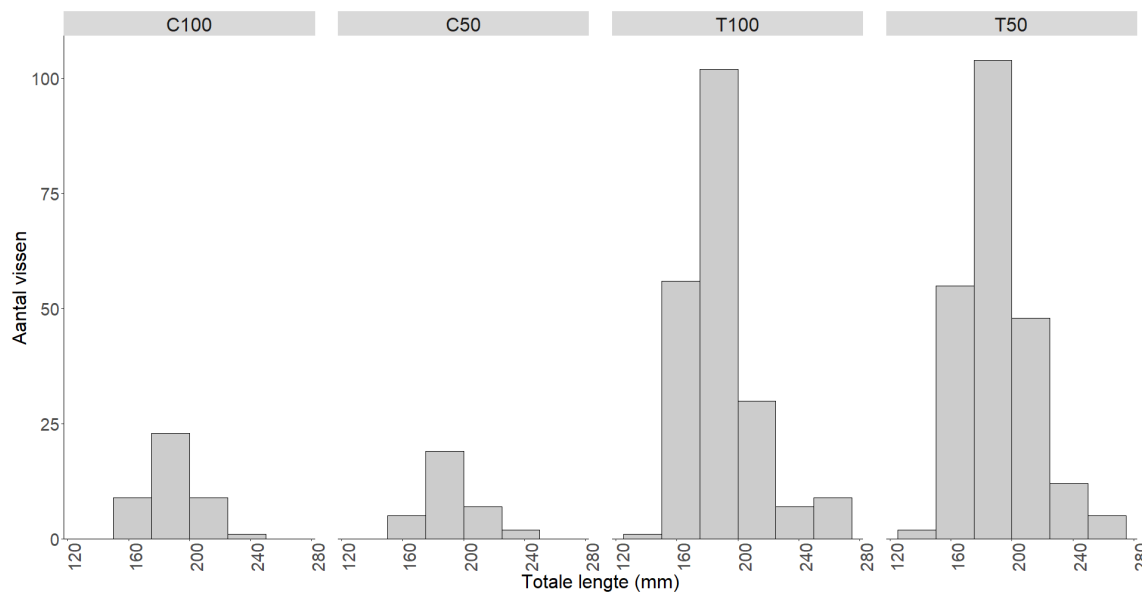


**Figuur 8.** Het aantal teruggevangen blankvoorns na het uitvoeren van de proeven T100 (turbine op volle kracht), T50 (turbine op halve kracht), C100 (controle groep onder T100) en C50 (controle groep onder T50).





**Figuur 9.** Een voorbeeld van een blankvoorn met snijschade na de geforceerde proef.

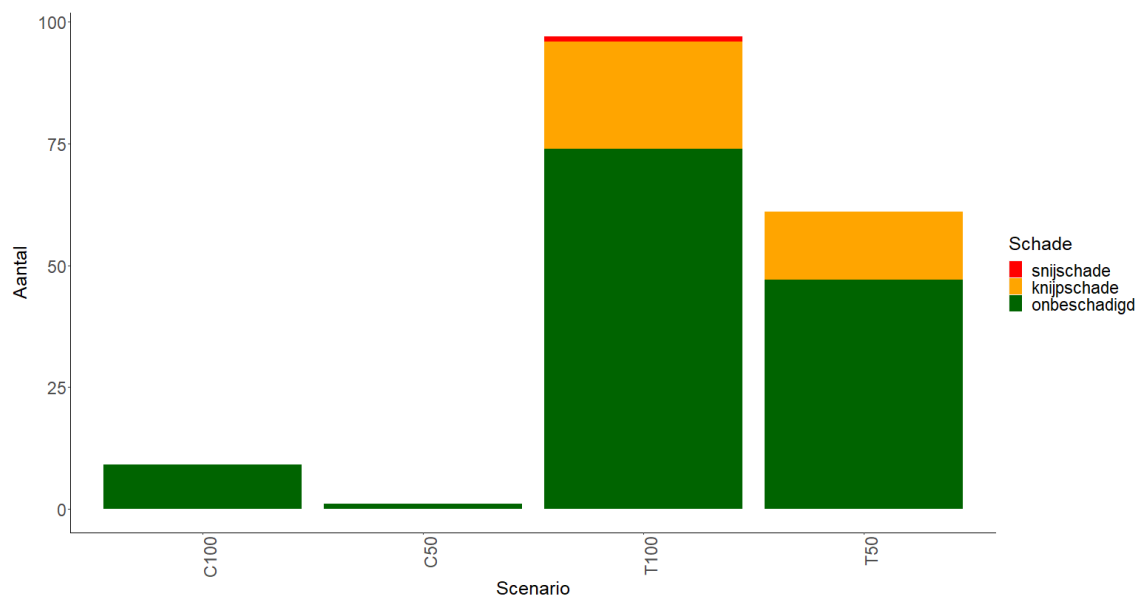


**Figuur 10.** Lengte-frequentie distributies van de teruggevangen blankvoorns onder de verschillende scenario's (C50, C100, T50 en T100).



### 3.1.3 Paling

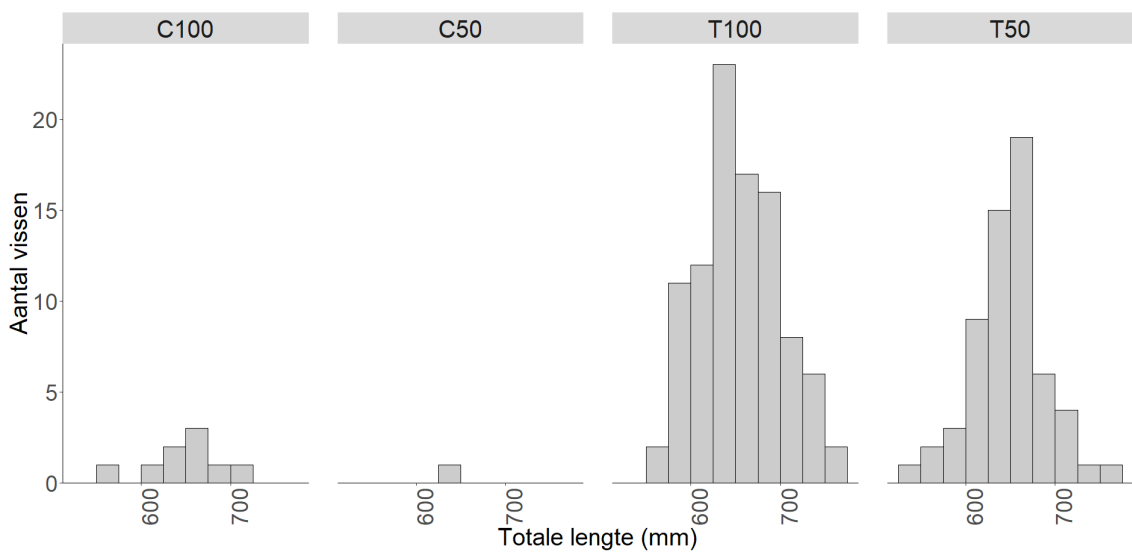
Van de 300 doorgevoerde palingen onder het T50 scenario werden er 61 teruggevangen (Fig. 11). Daarvan was 77% onbeschadigd, maar had 23% knijpschade (Fig. 12). Van de 50 palingen uit de controlegroep C50 die onderaan de turbine werden losgelaten, werd er slechts één individu teruggevangen; deze was onbeschadigd. Onder het T100 scenario werden 97 van de 300 doorgevoerde palingen teruggevangen. Daarvan was 76% onbeschadigd, had 1% snijpschade, maar 23% knijpschade. Van de 50 controlevissen uit groep C100 werden er 9 teruggevangen, die allen onbeschadigd waren. De gemiddelde totale lengte  $\pm$  standaarddeviatie (min – max) van de teruggevangen palingen was  $66 \pm 8$  cm (55 – 77 cm). Ook bij de teruggevangen palingen was er geen verschil in totale lengte tussen de verschillende scenario's (one-way ANOVA,  $F = 0.26$ ,  $p > 0.05$ ) (Fig. 13).



**Figuur 11.** Het aantal teruggevangen palingen na het uitvoeren van de proeven T100 (turbine op volle kracht), T50 (turbine op halve kracht), C100 (controlegroep onder T100) en C50 (controlegroep onder T50).



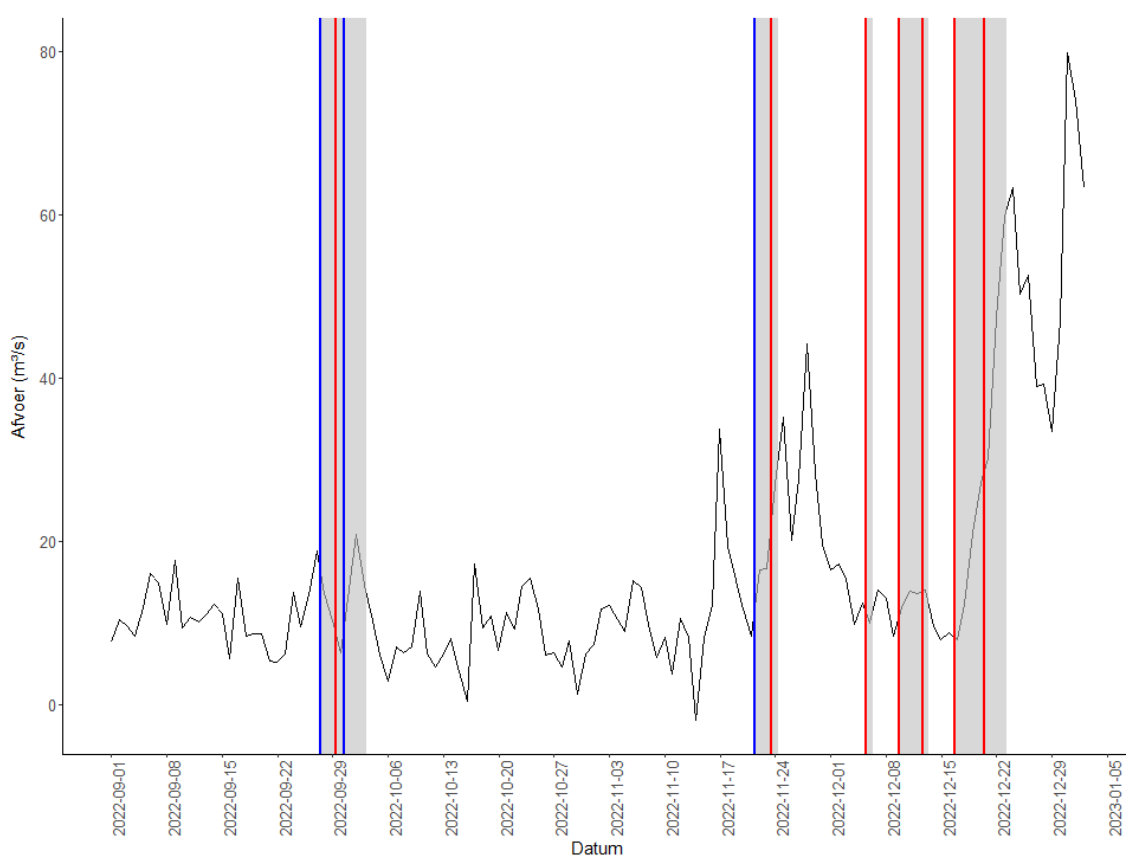
**Figuur 12.** Een voorbeeld van een paling met knijpschade na de geforceerde proef.



**Figuur 13.** Lengte-frequentie distributies van de teruggevangen palingen onder de verschillende scenario's (C50, C100, T50 en T100).

## 3.2 NATUURLIJKE UITTREK

In totaal werden 11 zilverpalingen gevangen met een gemiddelde totale lengte van  $76 \pm 7$  cm (64 – 89 cm): twee tijdens de eerste meting, drie tijdens de derde en zes tijdens de vierde meting (Fig. 14). Vier van de 11 palingen (36%) hadden knijpschade die varieerde van heel ernstige knijpschade met palingen die bijna dood waren (twee palingen uit de eerste meting; Fig. 15) tot lichte knijpschade, maar wel nabij de gevoelige kieuwregio (twee palingen uit de derde meting; Fig. 16).



**Figuur 14.** De afvoer van de Leie (data bekomen via waterinfo.be; station Menen) voor het najaar 2022. De momenten wanneer de natuurlijke uittrek bevestigd werd, is aangeduid in het grijs. Het moment wanneer de fuik in het water werd geplaatst, is aangegeven met een verticale lijn. Rode lijnen zijn de afvissingen wanneer geen zilverpalingen werden gevangen en blauwe lijnen wanneer dat wel het geval was.





**Figuur 15.** Ernstige knijpschade tot diep in het vlees van twee palingen. Deze palingen vertoonden weinig teken van leven en waren vrij waarschijnlijk stervende.





**Figuur 16.** Lichte knijpschade vlak achter de kieuwregio ter hoogte van de borstvin.



## 4 BESPREKING

### 4.1 SCHADELIJKHEID VAN DE TURBINE

Het percentage beschadigde vissen van de geforceerde proeven varieerde van 4% tot 24%, wat betekent dat het passeren door de turbine niet zonder gevaar is voor vissen. Het effect verschilde echter per soort, maar niet tussen toerental (halve kracht versus volle kracht): de hoogste percentages in beschadigde individuen werd geobserveerd bij paling (halve kracht en volle kracht: 24% en 23%, respectievelijk). Voor brasem lag de kans op beschadiging iets lager (23% en 16%, respectievelijk) en voor blankvoorn was die het laagst (5% en 3%, respectievelijk). Hoewel er slechts 11 zilverbalingen werden gevangen onder de proefopzet voor natuurlijke uittrek, waren de resultaten in lijn met de geforceerde proeven. Namelijk 36% van de palingen liepen verwondingen op. De resultaten van de natuurlijke uittrek zijn daarenboven mogelijks een onderschatting. Niet alleen visten we slechts op één van de twee turbines, onze afvissing was beperkt tot tien dagen. Daarenboven is het effect cumulatief indien er meerdere turbines op de stroomafwaartse vismigratieroute liggen. Stroomafwaarts van Harelbeke staan geen turbines meer, maar wanneer turbines voorzien worden op de vernieuwde sluis in Menen, is dit wel het geval voor vissen die stroomopwaarts van Menen naar stroomafwaarts Harelbeke wensen te migreren zoals zilverbalingen.

Merk op dat ook enkele controlevissen van brasem en blankvoorn schade opliepen. We vermoeden dat een deel van de vissen in de onderste omwenteling van de turbine gezogen werd na invoer en daardoor beschadigingen opliep. Ook willen we nog meegeven dat we niet alle doorgevoerde vis konden terugvangen. Vermoedelijk zwemt een deel van de ingevoerde vissen naar de ruimtes onder de turbine. Dit kan zowel in de ruimte stroomop- als stroomafwaarts van de turbine gebeuren, waardoor ze niet in het net eindigen. Desalniettemin hebben we een voldoende aantal vissen teruggevangen om een goede inschatting te maken over de impact van de turbine.

Het meest voorkomende type schade over alle vissoorten was knijpschade. Snijschade was enkel bij blankvoorn relatief het hoogst wanneer de turbines op volle kracht draaiden. Verder was bij brasem het aandeel bloeditstoringen opmerkelijk. Dit wijst er op dat de voornaamste verwondingen veroorzaakt worden doordat vissen gekneld geraken tussen de randen van de vijzel, meer bepaald tussen de vijzelbladen en de opvoergoot.

### 4.2 AANPASSINGEN EN OPLOSSINGEN

Een mogelijke oplossing kan gevonden worden door te kijken naar het moment waarop vissen stroomafwaarts migreren. De meeste vissen, zilverbaling in het bijzonder, migreren stroomafwaarts tijdens verhoogde afvoer en gaan daarbij de hoofdstroom met hoogste stroomsnelheid gebruiken (Coutant en Whitney 2000; Larinier en Travade 2003; Verhelst et al. 2018). Wanneer de hoofdstroom over de stuwen gaat in plaats van door de turbines, wordt de kans aanzienlijk verkleind dat vissen via de turbines stroomafwaarts migreren met mogelijke ernstige beschadigingen en zelfs sterfte tot gevolg. Een bijkomende maatregel kan zijn om rubberen strips op de rand van de turbines te plaatsen, zodat de opening tussen de schroeven en opvoergoot wordt verkleind. Bijgevolg verkleint de kans dat een vis tussen deze opening gekneld komt te zitten. Het gunstig effect van plaatsing van rubberen strips op klassieke vijzels



werd voor vissen aangetoond in een evaluatiestudie van de visveiligheid van vijzels van het Pompemaal Groot Schijn op de rivier Groot Schijn in Deurne (Broos et al., 2023).

Er bestaan ook mogelijkheden om te voorkomen dat vissen in de turbine zwemmen aan de hand van roosters zoals 'bar racks' en 'eel racks' (Calles et al. 2013). Echter, de afstand tussen de spijlen om te voorkomen dat er vis doorgaat is klein en in de grootteorde van 2 tot 5 cm. Dit betekent dat heel wat afval tegen gehouden zal worden en er een grote druk op het rooster zal ontstaan. Dit kan bijgevolg risico's met zich meebrengen zoals het plooiën of zelfs loskomen van de rooster. Ook worden screens met licht toegepast om specifiek zilverpaling te weren, aangezien die in het donker migreren (Haddingh et al. 1999). Echter, de effectiviteit van zo'n licht screen is niet eenduidig en is afhankelijk van de heersende condities zoals de helderheid van het water, de sterkte van de waterstroom en de beschikbaarheid van een nevengeul om zilverpaling stroomafwaarts te begeleiden (Bruijs & Durif 2009). Zo'n licht screen raden we daarom af.

Tenslotte willen we nog aangeven dat vismigratie waarschijnlijk niet via scheepvaartsluizen gebeurt. In een studie aan het Albertkanaal bleken de scheepvaartsluizen een vismigratiebarrière te zijn (Vergeynst et al. 2018; Verhelst et al. 2018). Vissen gebruiken een continue waterstroom om zich te oriënteren en zodoende te navigeren. Schuttingen van sluizen zijn echter onregelmatig en hebben dus geen zo'n continue waterstroom. Daarenboven bestaat het risico dat vissen in een scheepvaartsluis beschadigd worden door de schroeven van schepen.

### 4.3 BEDENKINGEN EN SUGGESTIES VOOR ONDERZOEK

Via deze studie toonden we aan dat de turbine een risicovolle migratieroute is voor verschillende vissoorten. De set-up liet het echter niet toe om na te gaan welke proportie van de vissen de turbine effectief gebruiken als migratieroute. Vermoedelijk migreert een deel van de vissen stroomafwaarts via de stuw, maar dit deel zal afhankelijk zijn van het debiet dat over de stuw versus door de turbine gaat. Omdat het onmogelijk is om fuiken stroomaf van de stuw te plaatsen, kan dit onderzocht worden aan de hand van akoestische telemetrie: vissen worden voorzien van zenders die één tot drie jaar meegaan en gedetecteerd kunnen worden door akoestische detectiestations (formaat van een 1,5 liter fles) die in het water hangen en autonoom functioneren. Gedurende de studieperiode kan het migratiegedrag van de vissen doorheen het studiegebied gevolgd worden. Door een netwerk aan detectiestations in het studiegebied te plaatsen (in dit geval de Leie en eventueel Schelde) kan nagegaan worden in welke periode de vissen migreren, onder welke condities (vb. 's nachts en onder verhoogde afvoer) en of ze sluiscomplexen zonder vertragingen kunnen passeren en overleven. Door detectiestations nabij verschillende uitgangsroutes te plaatsen (i.e. de vistrap, turbines, stuwen en eventueel ook de sluizen) kan onderzocht worden welke route de stroomafwaarts migrerende vissen nemen. Dit kan ook gekoppeld worden aan omgevingsdata zoals afvoer van de Leie of de bedrijvigheid van de turbines. Telemetrie-onderzoek kan daarom helpen de specifieke migratiecondities van vissen te bepalen, wat toegepast kan worden in het beheer door de turbinewerking te sturen in functie van die migratiecondities (vb. 's nachts in het najaar geen turbinewerking indien blijkt dat zilverpaling dan migreert). Dergelijk onderzoek werd in het verleden reeds toegepast op de Maas om inzicht te krijgen op de impact van de waterkrachtcentrales op de stroomafwaartse migratie van zilverpaling (Winter et al. 2006). In België is sinds 2014 een groot netwerk aanwezig in het Schelde-estuarium, enkele zijrivieren en het Belgisch deel van de Noordzee om het bewegingsgedrag van verschillende vissoorten te bestuderen (Reubens et al. 2019). Dit netwerk kan uitgebreid worden naar de Leie en Schelde. Het voordeel van dit onderzoek is dat het een gedetailleerd beeld geeft over het

bewegingsgedrag van vissen in relatie tot waterregulerende kunstwerken, maar ook mitigerende maatregelen zoals vispassages, op een stroomgebied niveau.



## 5 REFERENTIES

Belletti, B., Garcia de Leaniz, C., Jones, J., Bizzi, S., Börger, L., Segura, G., Castelletti, A., van de Bund, W., Aarestrup, K., Barry, J., Belka, K., Berkhuisen, A., Birnie-Gauvin, K., Bussettini, M., Carolli, M., Consuegra, S., Dopico, E., Feierfeil, T., Fernández, S., Fernandez Garrido, P., Garcia-Vazquez, E., Garrido, S., Gianico, G., Gough, P., Jepsen, N., Jones, P.E., Kemp, P., Kerr, J., King, J., Lapinska, M., Lazaro, G., Lucas, M.C., Marcello, L., Martin, P., McGinnity, P., O’Hanley, J., Olivo del Amo, R., Parasiewicz, P., Pusch, M., Rincon, G., Rodriguez, C., Royte, J., Schneider, C.T., Tummers, J.S., Vallesi, S., Vowles, A., Verspoor, E., Wanningen, H., Wantzen, K.M., Wildman, L. & Zalewski, M. (2020). More than one million barriers fragment Europe’s rivers. *Nature* 588, 436-441.

Broos, S. Buysse, D., Pauwels, I., Bruneel, S., Verhelst, P., De Maerteleire, N., Pieters, S., Gelaude, E., Vanden Houten, J., De Pauw, B., Rosseel, D., Plaetinck, S., Vandamme, L. & Johan Coeck (2023). M.m.v. Tuhtan, J.A. & Toming, G. (TalTech University – Estland). Evaluatie van de visveiligheid van een pompgemaal met ‘open stormvijzels’ en ‘gesloten buisvijzels’. Het Pompgemaal Groot Schijn (PGGS) op de rivier Groot Schijn in Deurne. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (in druk). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Bruijs, M.C.M. & Durif, C.M.F. (2009). Silver eel migration and behaviour. Spawning migration of the European eel: Reproduction index, a useful tool for conservation management, 65-95.

Bruijs, M.C.M., Polman, H.J.G., van Aerssen, G.H.F.M., Hadderingh, R.H., Winter, H.V., Deerenberg, C., Jansen, H.M., Schwevers, U., Adam, B., Dumont, U. & Kessels, N. (2003). Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. EU-Report Contract Q5RS-2000–31141.

Calles, O., Karlsson, S., Vezza, P., Comoglio, C., & Tielman, J. (2013). Success of a low-sloping rack for improving downstream passage of silver eels at a hydroelectric plant. *Freshwater Biology* 58, 2168-2179.

Coutant, C.C. & Whitney, R.R. (2000) Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: *Transactions of the American Fisheries Society* 129, 351–380.

Dingle, H. & Drake, V.A. (2007). What is migration? *BioScience* 57, 113-121.

Drouineau, H., Durif C., Castonguay, M., Castonguay, M., Mateo, M., Rochard, E., Verreault, G., Yokouchi, K. & Lambert, P. (2018). Freshwater eels: a symbol of the effects of global change. *Fish and Fisheries* 19, 903–30.

Hadderingh, R.H. & Bakker, H. D. (1998). Fish mortality due to passage through hydroelectric power stations on the Meuse and Vecht rivers. In: Jungwirth M., Schmutz S. & Weiss S. eds. *Fish migration and fish bypasses*. Oxford, UK: Fishing News Books, Blackwell Science Ltd, pp. 315–328.

Hadderingh, R.H., Van Aerssen, G.H.F.M., De Beijer, R.F.L.J. & Van Der Velde, G. (1999). Reaction of silver eels to artificial light sources and water currents: an experimental deflection study. *Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management* 15, 365-371.



Hale, R., Swearer, S.E. & Downes, B.J. (2009). Separating natural responses from experimental artefacts: habitat selection by a diadromous fish species using odours from conspecifics and natural stream water. *Oecologia*, 159, 679-687.

Jansen, H.M., Winter, H.V., Bruijs, M.C. & Polman, H.J. (2007). Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. *ICES Journal of marine Science* 64, 1437-1443.

Larinier, M. & Travade, F. (2002). Downstream migration: Problems and facilities. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 181-207.

Limburg, K.E. & Waldman, J.R. (2009). Dramatic declines in North Atlantic diadromous fishes. *BioScience* 59, 955-65.

Mouton, A., Buysse, D., Van den Neucker, T., Gelaude, E., Baeyens, R., De Maerteleire, N., Robberechts, K., Stevens, M. & Coeck, J. (2013). Optimalisatie van omgekeerd spui-beheer voor glasaalmigratie vanuit de Ganzepoot te Nieuwpoort naar de IJzer. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2013 (INBO.R.2013.46). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Mouton, A., Gelaude, E., Buysse, D., Stevens, M., Van den Neucker, T., Martens, S., Baeyens, R., Jacobs, Y. & Coeck, J. (2009). Onderzoek naar glasaalmigratiemogelijkheden in de Ganzepoot (IJzermonding) in Nieuwpoort. Studie in opdracht van W&Z, Afdeling Bovenschelde. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (INBO.R.2009.62). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Mouton, A. M., Stevens, M., Van den Neucker, T., Buysse, D. & Coeck, J. (2011). Adjusted barrier management to improve glass eel migration at an estuarine barrier. *Marine ecology progress series* 439, 213-222.

Reubens, J., Verhelst, P., van der Knaap, I., Wydooghe, B., Milotic, T., Deneudt, K., Hernandez, F. & Pauwels, I. (2019). The need for aquatic tracking networks: the Permanent Belgian Acoustic Receiver Network. *Animal Biotelemetry* 7, 1-6.

Silva, A.T., Lucas, M.C., Castro-Santos, T., Katopodis, C., Baumgartner, L.J., Thiem, J.D., Aarestrup, K., Pompeu, P.S., O'Brien, G.C, Braun, D.C., Burnett, N.J., Zhu, D.Z., Fjeldstad, H.-P., Forseth, T., Rajaratnam, N., Williams, J.G. & Cooke, S. J. (2018). The future of fish passage science, engineering, and practice. *Fish and Fisheries* 19, 340-362.

Thorstad, E.B., Havn, T.B., Sæther, S.A., Heermann, L., Teichert, M.A.K., Diserud, O.H., Tambets, M., Borcherding, J. & Økland, F. (2017). Survival and behaviour of Atlantic salmon smolts passing a run-of-river hydropower facility with a movable bulb turbine. *Fisheries Management and Ecology* 24, 199-207.

Verhelst, P., Buysse, D., Reubens, J., Pauwels, I., Aelterman, B., Van Hoey, S., Goethals, P., Coeck, J., Moens, T. & Mouton, A. (2018). Downstream migration of European eel (*Anguilla anguilla* L.) in an anthropogenically regulated freshwater system: Implications for management. *Fisheries Research*, 199, 252-262.

Verhelst, P., Reubens, J., Buysse, D., Goethals, P., Van Wichelen, J. & Moens, T. (2021). Toward a roadmap for diadromous fish conservation: the Big Five considerations. *Frontiers in Ecology and the Environment* 19, 396-403.



Wilcove, D. S. & Wikelski, M. (2008). Going, going, gone: is animal migration disappearing. *PLoS biology* 6, e188.

Winter, H.V., Jansen, H.M. & Bruijs, M.C.M. (2006). Assessing the impact of hydropower and fisheries on downstream migrating silver eel, *Anguilla anguilla*, by telemetry in the River Meuse. *Ecology of Freshwater Fish* 15, 221-228.

