

Waterkracht uit Getijdenbassins

Bedrijfsbezoek KIVI NIRIA
26-10-2010

Norit
leading in purification

Nijhuis



Inhoud

- Principe
- Turbines
- Model
- Vispassage
- Nijhuis concepten
- Grevelingen
- Conclusie

Principe

Turbines

Model

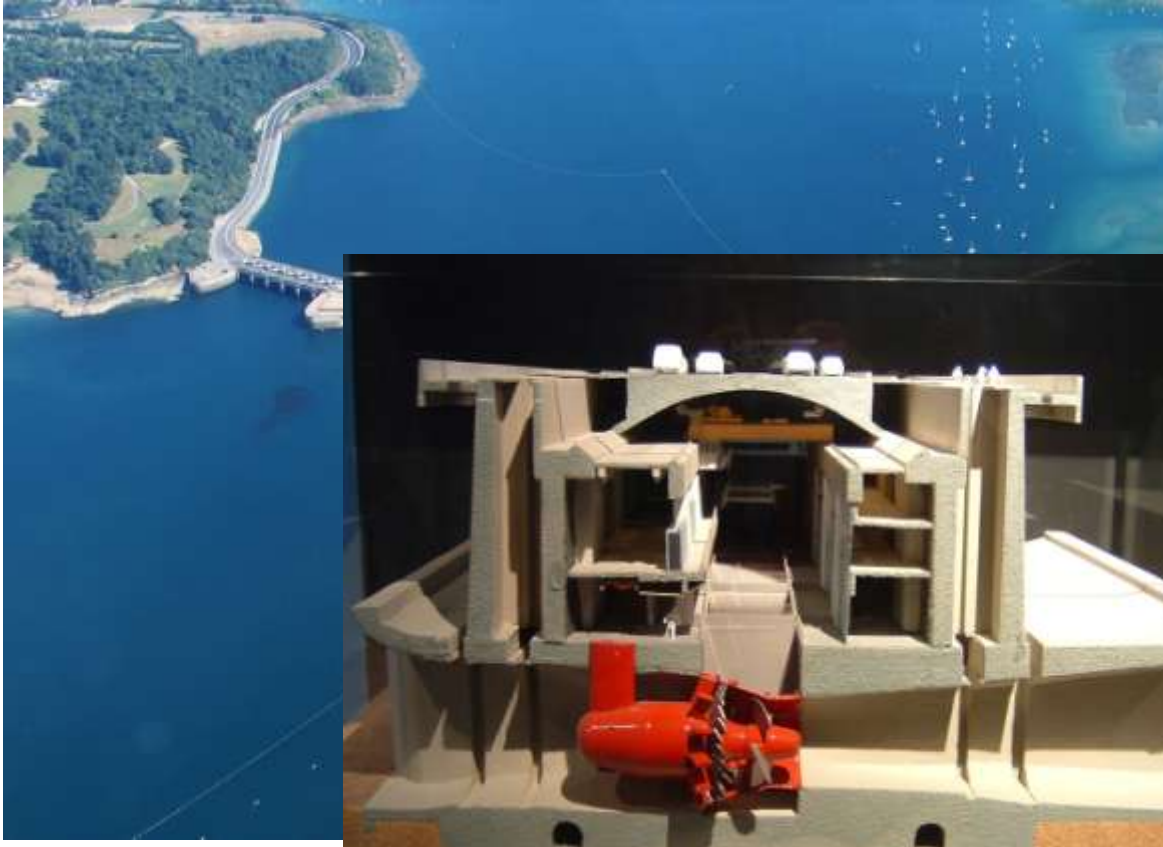
Vispassage

Concepten

Grevelingen

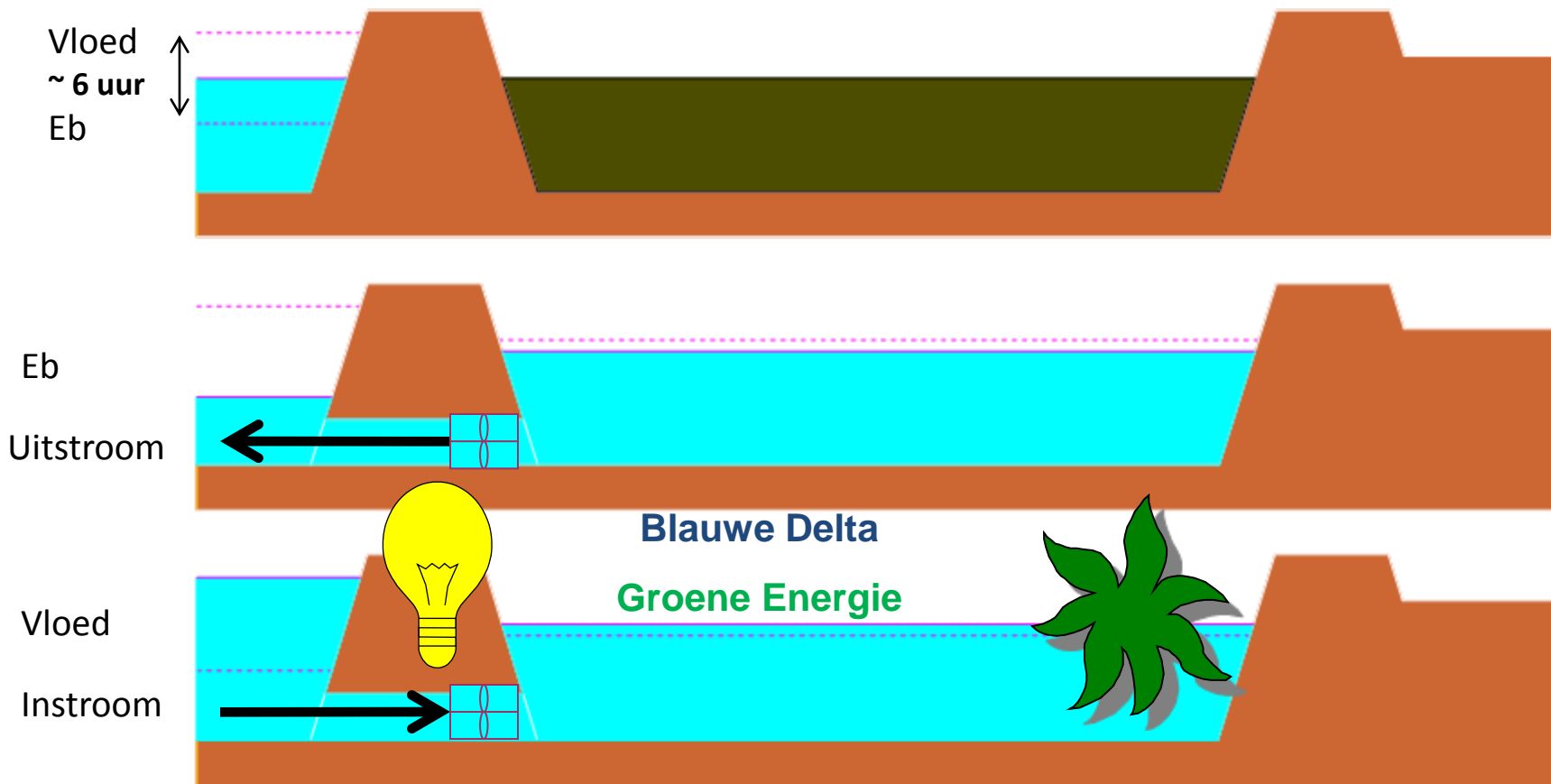
Conclusie

La Rance (Frankrijk)



Principe Turbines Model Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Getijden energie



Principe

Turbines

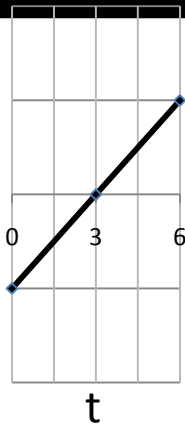
Model

Vispassage

Concepten

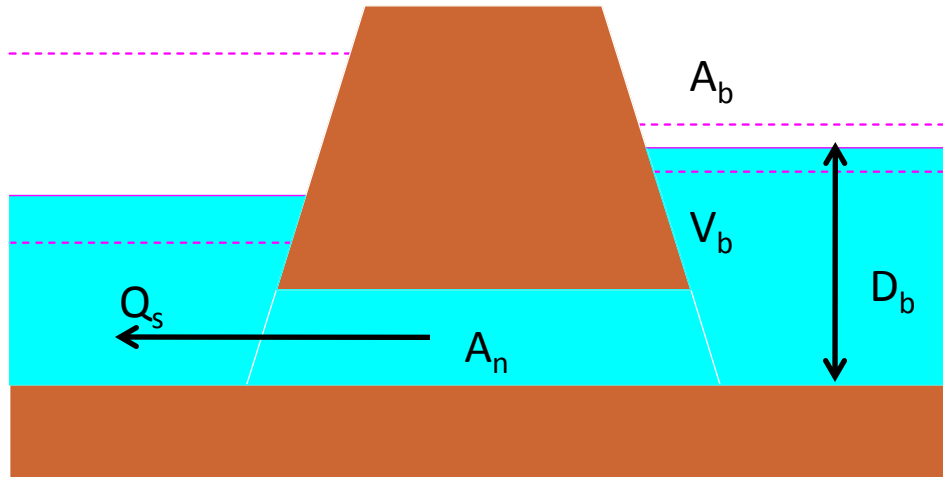
Grevelingen

Conclusie

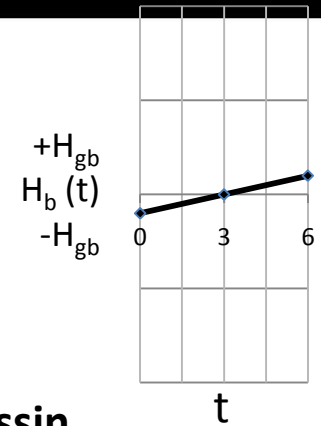


$+H_{gz}$
 $H_z(t)$
 $-H_{gz}$

Zee



Bassin



$+H_{gb}$
 $H_b(t)$
 $-H_{gb}$

t

$$H_s = H_z - H_b [m]$$

$$T_{\text{verv}} = \frac{D_b}{16n(3600)\sqrt{2gH_{gz}/C}} \left[\frac{A_b}{A_n} \right] [d]$$

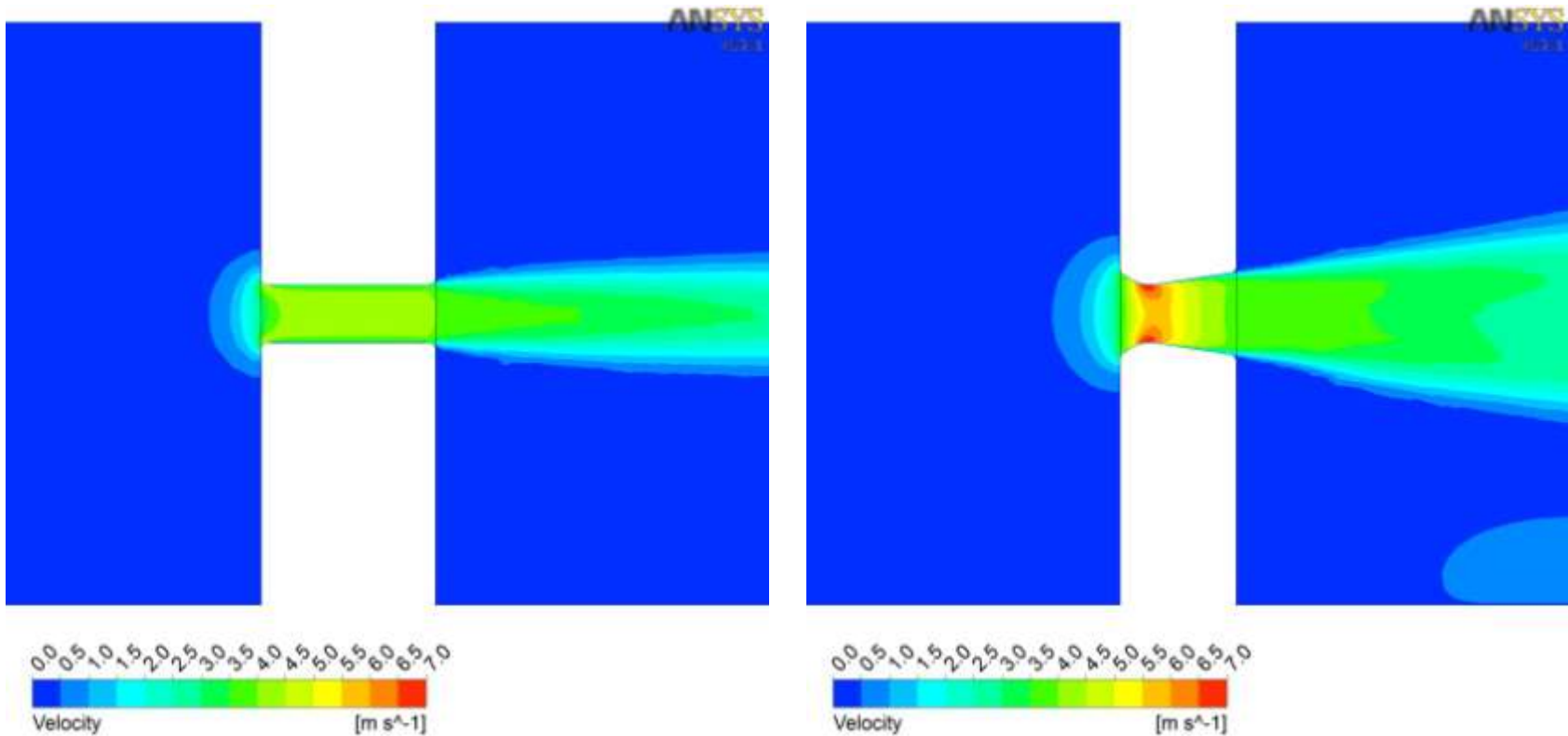
$$Q_s = nA_n(3600)\sqrt{\frac{2gH_s}{C}} [m^3/h]$$

$$H_{gb} = \pm 2n \left[\frac{A_n}{A_b} \right] (3600)\sqrt{\frac{2gH_{gz}}{C}} [m]$$

$$P_s = \rho g H_s Q_s / (3.6e6) [kW]$$

Principe Turbines Model Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Stromings kanaal



$$C < 1$$

$$V = C \sqrt{2g\Delta H}$$

$$C > 1$$

Principe

Turbines

Model

Vispassage

Concepten

Grevelingen

Conclusie

Getijden energie vs Windenergie

- kosten/opbrengst vergelijkbaar met windturbines
- rendabel met gelijke randvoorwaarden windenergie
- opbrengst ca. 30X hoger per m² rotor-oppervlak
- aantal reeds beschikbare getijdenbassins door openstelling
- wenselijkheid ivm CO₂-reductie

- voorspelbare opbrengst
- niveauregeling van bassins
- mogelijkheden voor energieopslag
- geen horizonvervuiling

- kans op beschadiging aan vissen

Principe

Turbines

Model

Vispassage

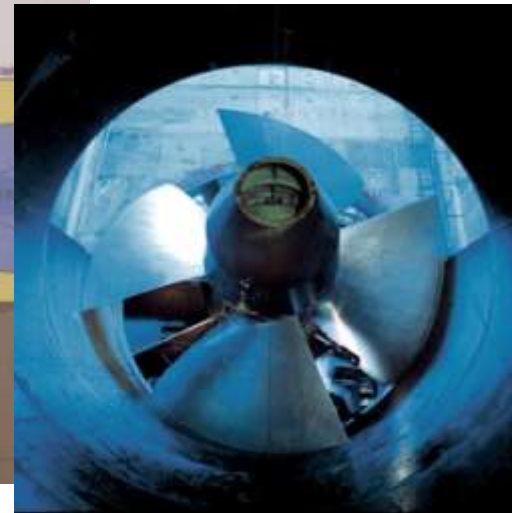
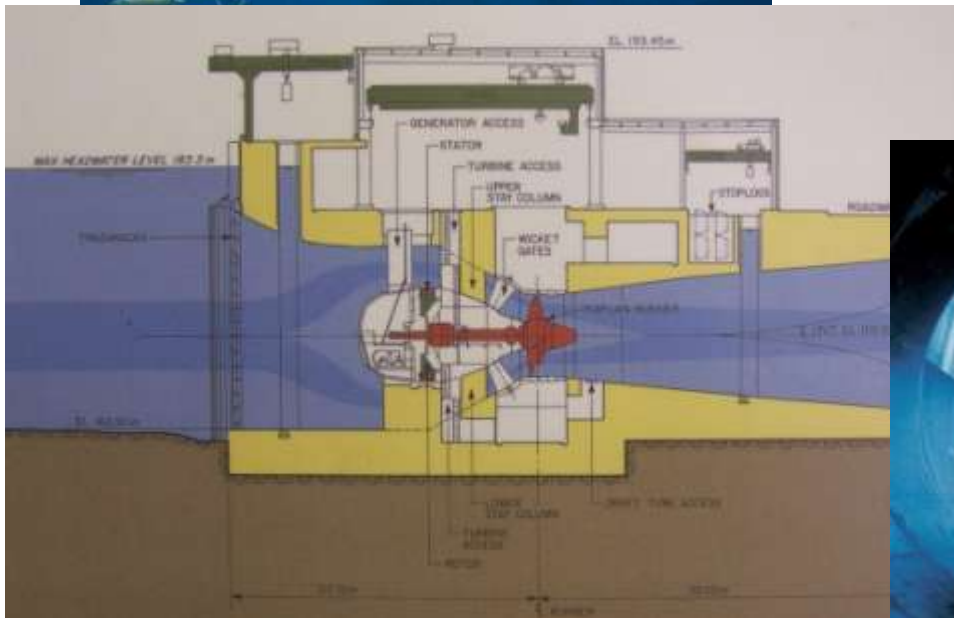
Concepten

Grevelingen

Conclusie

Laagverval Turbines

- vrije stroom waterturbines
- stu



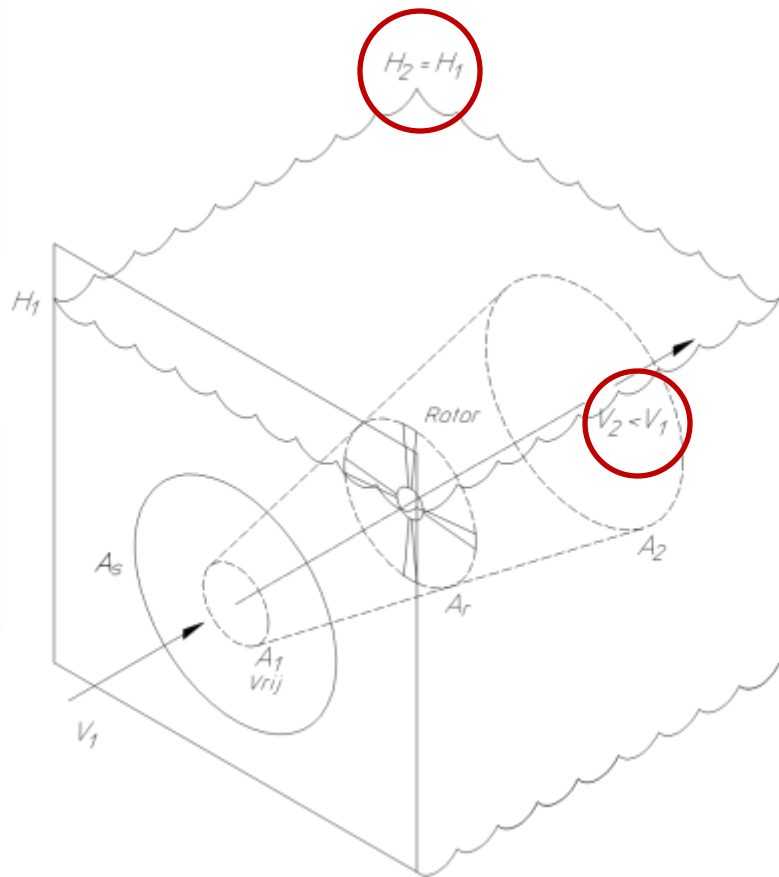
Principe **Turbines** Model Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Kenmerken

Kenmerken	Type	Stuwstroom	Vrije stroom
stuwende energie		totale (druk) energie tgv hoogteverschil	Kinetische energie tgv snelheidsverschil
deelnemende stroming		> rotoroppervlak	2/3 rotoroppervlak
roterende momentum		herwinning dmv diffuser/trap	vernietiging door vermenging
vermogenscoëfficiënt		>> 1	< 0.592 (Betz limiet) max als snelheidsratio = 3:1
steunende constructie		convergerend-divergerend kanaal	pilaar/ponton
werkende richting		tweerichting stroming	draait mee met stroming
pompfunctie		mogelijk	niet mogelijk

Principe **Turbines** Model Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Optimale Vermogen en Debiet reductie



Vrije stroom turbine

$$P_{opt} \approx 0.06 \eta \rho A_r 2g |H_s|^{3/2}$$

$$q_{opt} = 100 \left(1 - \frac{Q_{red}}{Q} \right) = 10 [\%]$$

$$a_{opt} = v_2 / v_1 = 1/3$$

Principe Turbines **Model** Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Optimale Vermogen en Debiet reductie

Vrije stroom turbine

$H_2 < H_1$

$$P_{opt} \approx 0.06 \eta \rho A_r 2g |H_s|^{3/2}$$

$$q_{opt} = 100 \left(1 - \frac{Q_{red}}{Q} \right) = 10 [\%]$$

$$a_{opt} = v_2 / v_1 = 1/3$$

Stuwstroom turbine

$$P_{opt} \approx 0.27 \eta \rho A_r 2g |H_s|^{3/2}$$

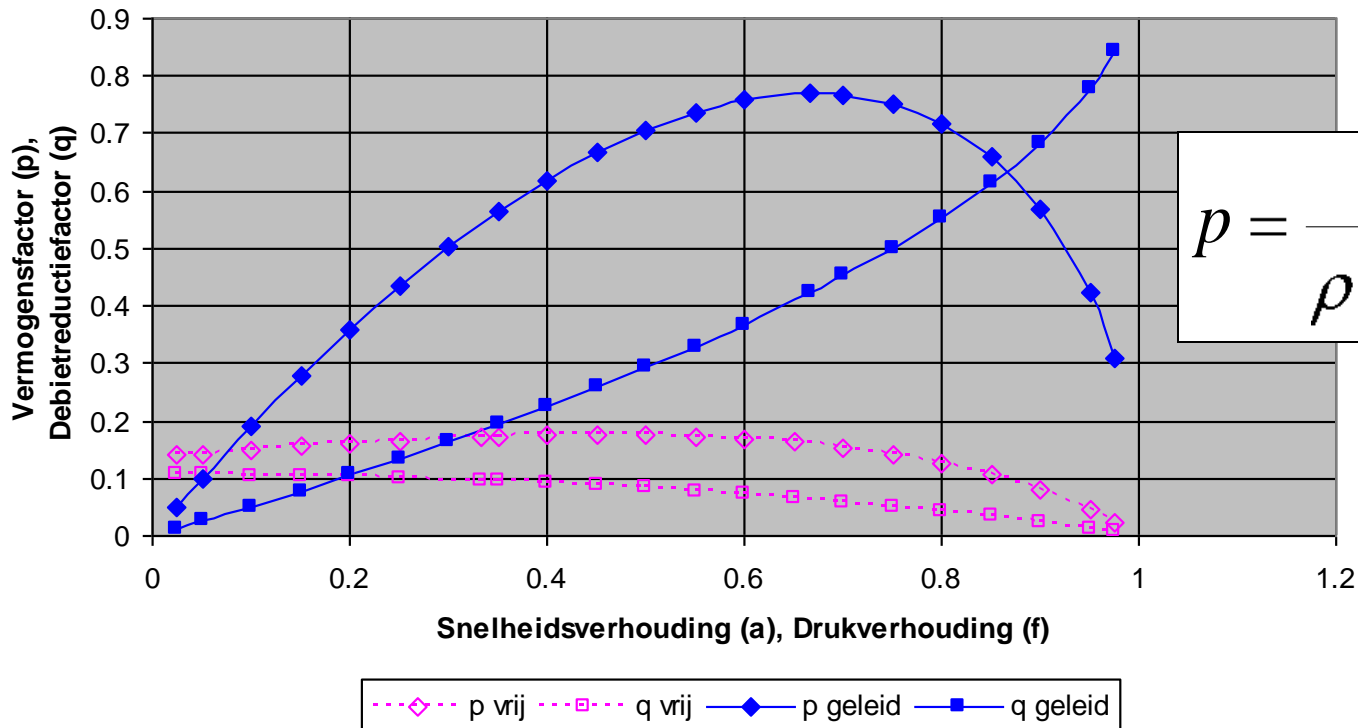
$$q_{opt} = 100 \left(1 - \frac{Q_{red}}{Q} \right) = 42 [\%]$$

$$f_{opt} = H_r / H_s = 2/3$$

Principe Turbines **Model** Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Theoretisch Vermogen en Debietreductie

Vrijstroom versus Geleidstroom Turbines [C = 2]



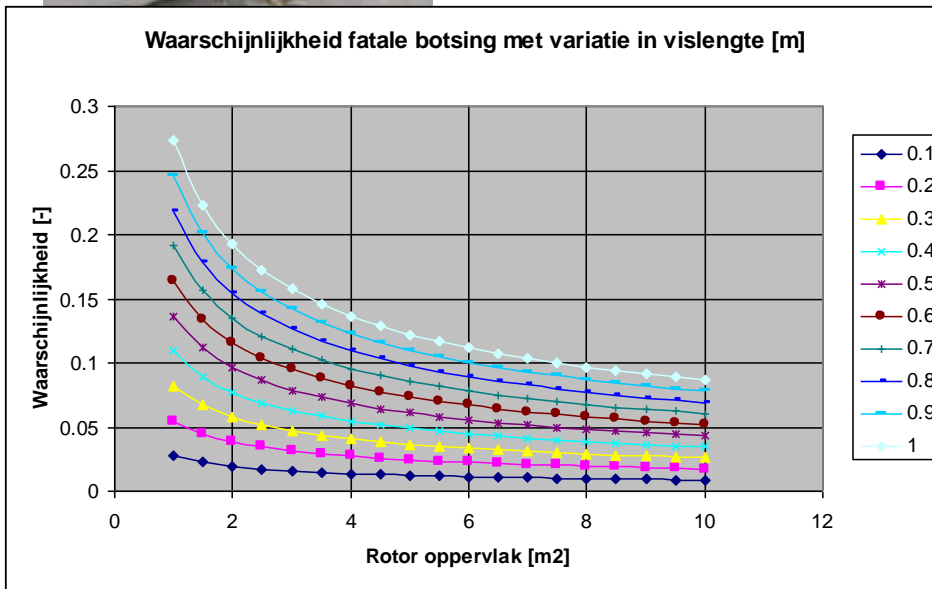
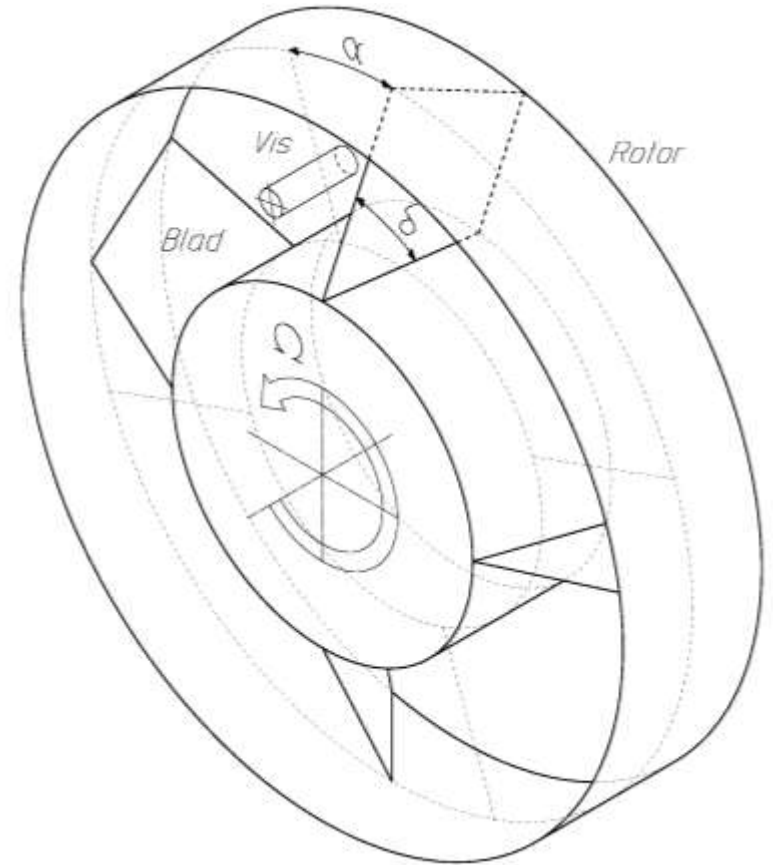
$$p = \frac{P}{\rho A_r g |H_s|_{-}^{3/2}}$$

Vispassage



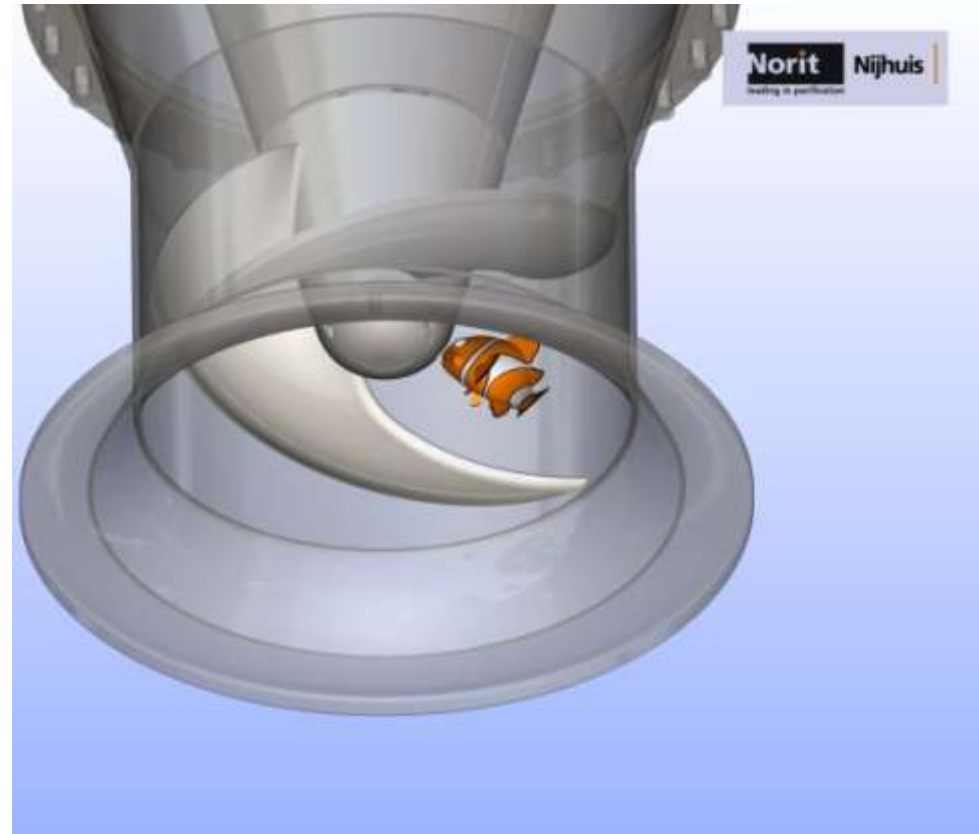
$$p_b = \min \left[\frac{n_b \Omega L}{6\pi v_w}, 1 \right]$$

$$p_f = 1 - e^{-u/u_c^2}$$



Principe Turbines Model **Vispassage** Concepten Grevelingen Conclusie

Visveilig



Principe Turbines Model **Vispassage** Concepten Grevelingen Conclusie

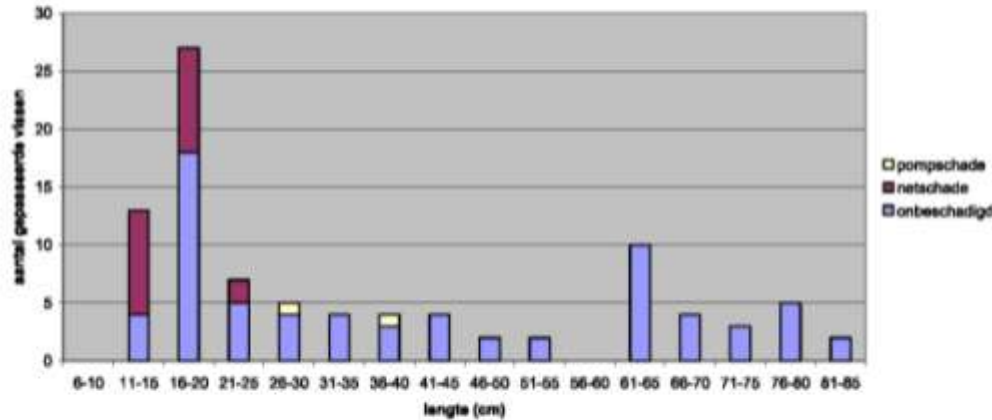
Testen Vispassage



Principe Turbines Model **Vispassage** Concepten Grevelingen Conclusie

Tabel 4.1 Door de axiaalpompe gepasseerde vissen en schade

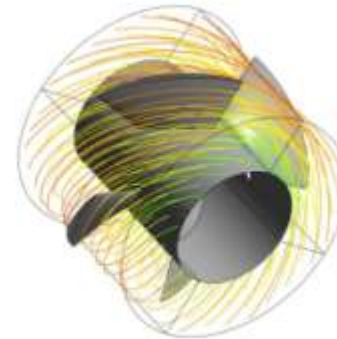
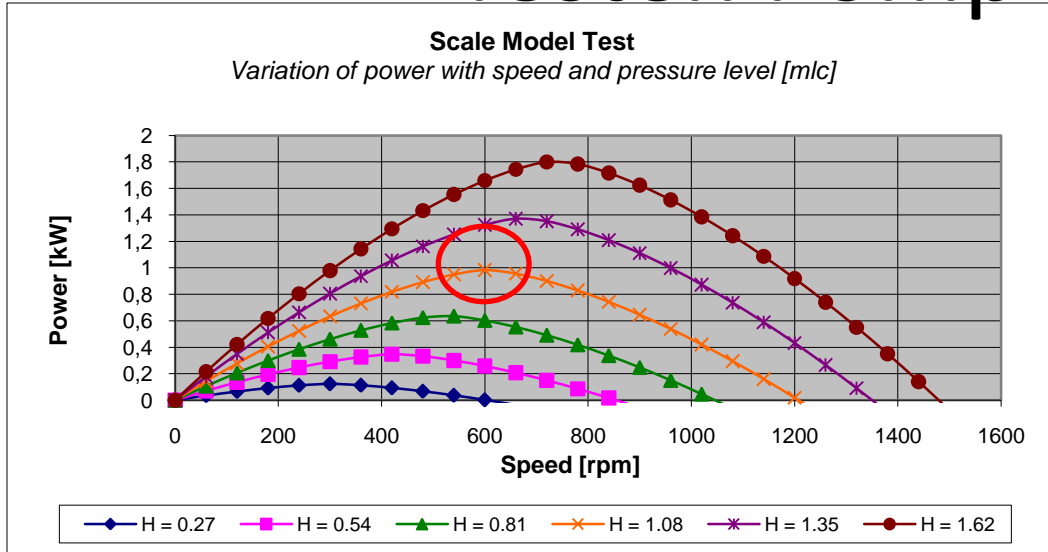
Vissoort	Lengte (cm)	Geen schade	Schubschade		Totaal aantal
			door pomp	door netwerk	
Blankvoorn	13-23	16		16	32
Brasem	14-50	23	2	3	28
Kolblei	14-24	3		1	4
Baars	17-18	2			2
Aal	55-82	25			25
Totaal		69	2	20	91



figuur 4.1 Door de axiaalpompe gepasseerde vissen naar lengte en schade

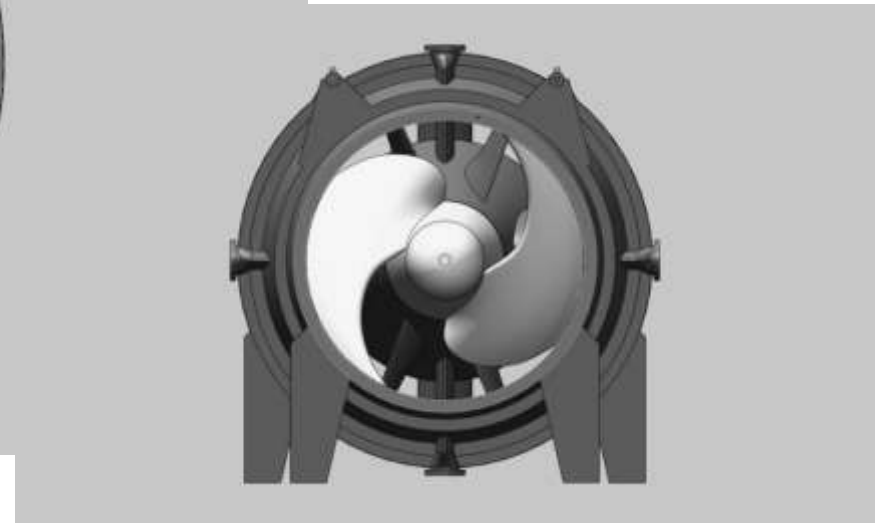
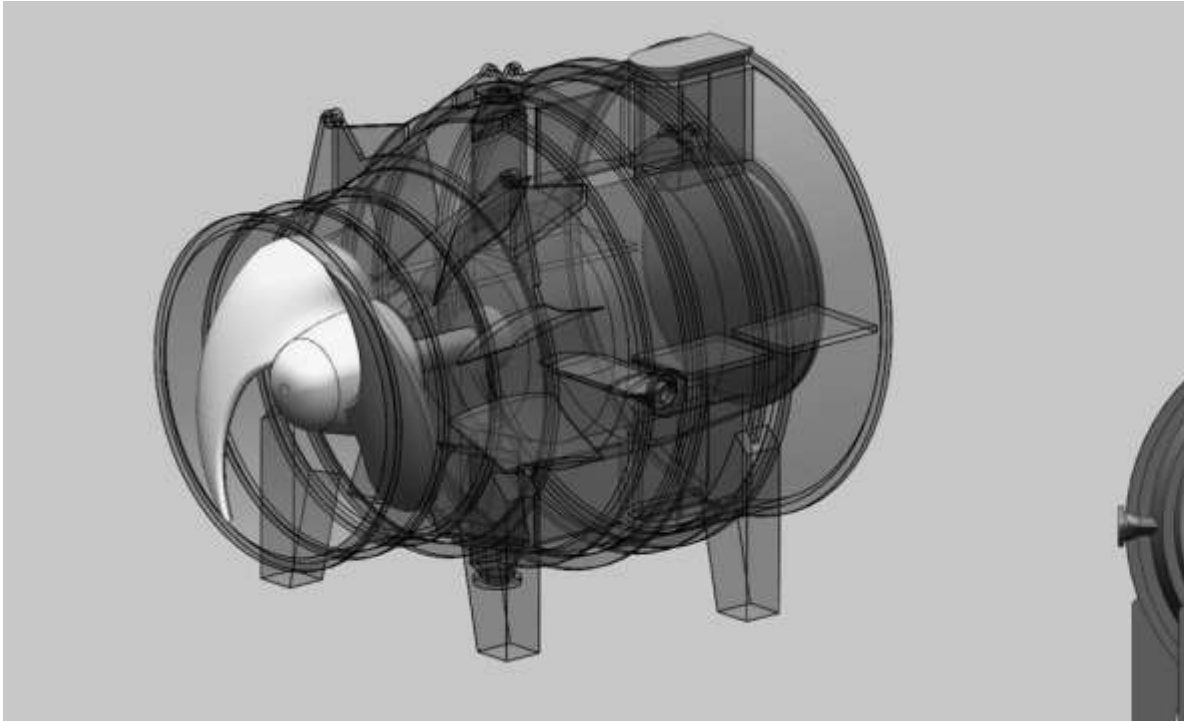
Schubvis: 97 [%]
Paling: 100 [%]

Testen Pomp-Turbines



Principe Turbines Model Vispassage **Concepten** Grevelingen Conclusie

Visvriendelijk



Principe

Turbines

Model

Vispassage

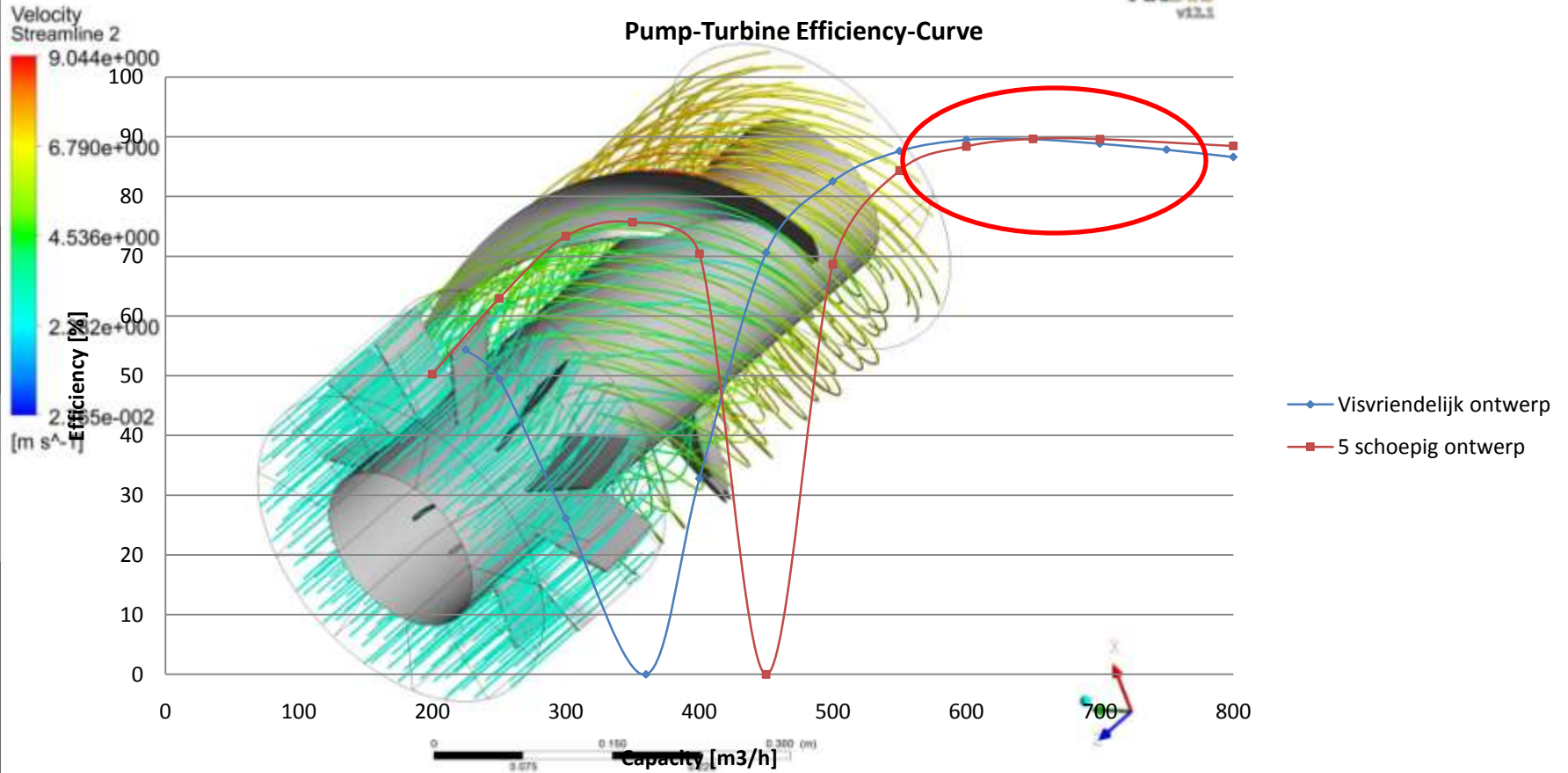
Concepten

Grevelingen

Conclusie

CFD-Simulaties

ANSYS
v12.1



Principe

Turbines

Model

Vispassage

Concepten

Grevelingen

Conclusie

Grevelingenmeer



Principe

Turbines

Model

Vispassage

Concepten



Grevelingen

Conclusie

Grevelingenmeer

Grote oestersterfte in Grevelingen

door Mieke van der Jagt. vrijdag 11 augustus 2006 | 07:02 | Laatst bijgewerkt op: vrijdag 11 augustus 2006 | 07:07

Tekstgrootte  

YERSEKE - In de visserijwereld is grote verontrusting ontstaan over oestersterfte in de Grevelingen. Vermoedelijk door het warme weer van de afgelopen julimaand is op sommige plekken in het Grevelingenbekken de totale oestervoorraad gestorven. Ook vissen leggen het loodje door een groot tekort aan zuurstof in het water.

Het ministerie van LNV heeft afgelopen week naar aanleiding van berichten van oesterkwekers onderzoek gedaan op de Grevelingen. Op de plekken met veel dode vissen, schaal- en schelpdieren zijn monsters genomen, die nu worden onderzocht.

„Het gaat er vooral om dat we kunnen uitsluiten dat het door een ziekte wordt veroorzaakt“, zegt Visserijkundig ambtenaar H. Heidekamp. „Bijna iedereen houdt er echter rekening mee dat het door de weersomstandigheden is veroorzaakt.“

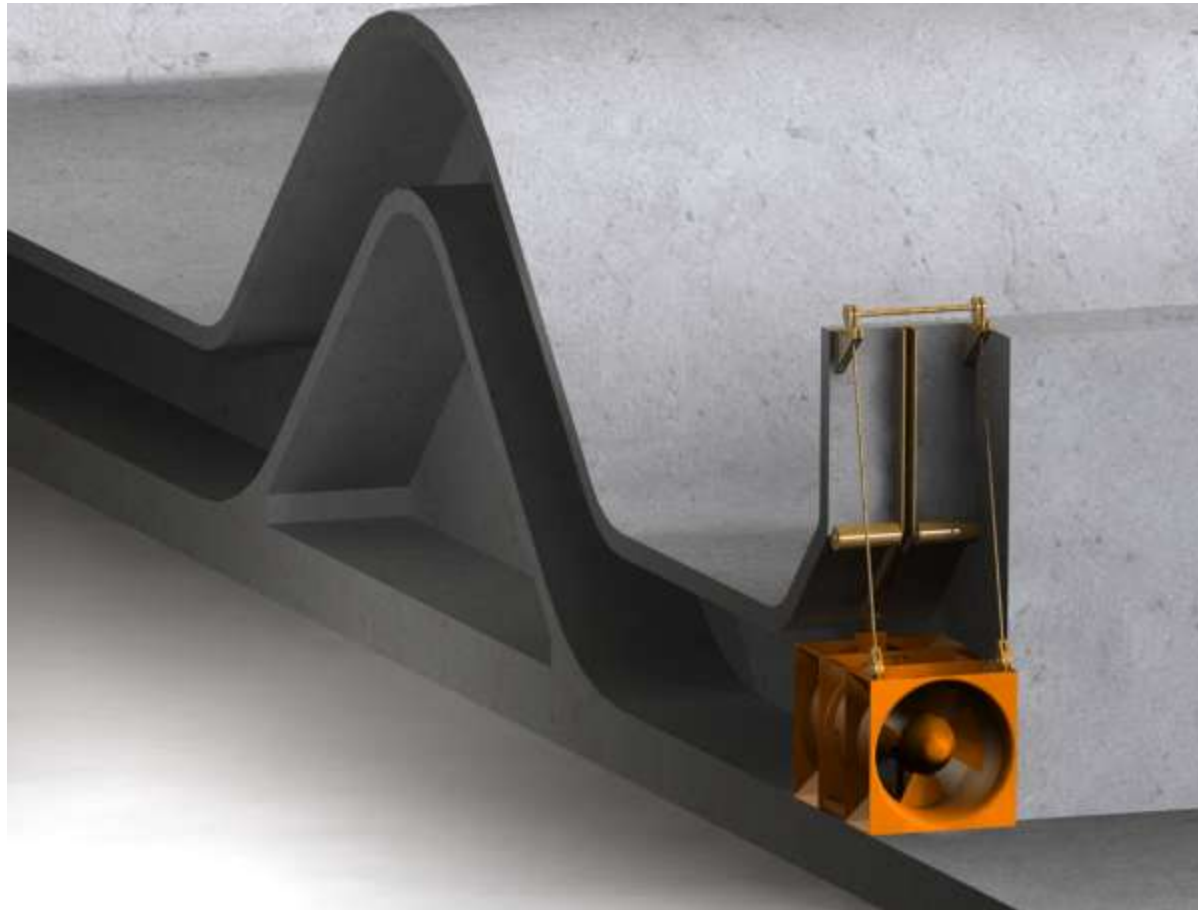
H. Verwijs van Piet Verwijs-van der Endt BV weet bijna zeker dat er geen ziekte in het spel is. Hij stelde met een aantal collega-oesterkwekers vast dat door de bank genomen zestig tot negentig procent van oesters is gestorven. „Op sommige plaatsen is zelfs alles dood.“ Verwijs denkt dat het warme weer extra bloei van zeesla heeft veroorzaakt. „Dat spul sterft op een bepaald moment af, zinkt naar de bodem en verstikt vervolgens de oesters die op de banken liggen te groeien. Door het rottingsproces wordt nog meer zuurstof verbruikt, waarmee het alleen maar erger wordt.“

Verwijs denkt dat het dramatische scenario min of meer had kunnen worden voorkomen door het opvoeren van het spuiregime. „Nu wordt er wel meer gespuid om de gevolgen nog enigszins te beperken, maar het is te laat voor dit seizoen. Ook een deel van de platte oesters, die alleen nog mondjesmaat in de Grevelingen groeien, is verloren gegaan.“

De oesterboeren verwachten van de overheid een tegemoetkoming in de vorm van toewijzing van oesterpercelen in de Waddenzee.

Principe Turbines Model Vispassage Concepten **Grevelingen** Conclusie

Flakkeese spuisluis



Principe

Turbines

Model

Vispassage

Concepten

Grevelingen

Conclusie

Huidige Situatie

Aantal open kanalen BrD	2
Aantal turbines BrD	0
Aantal open kanalen GrD	0
Aantal turbines GrD	0
Streefpeil [cm]	-20
Niveauschommeling [cm]	± 1.5
Verversingstijd [dagen]	50.9
Gemiddeld debiet [m3/s]	122
Maximum debiet [m3/s]	229
Gemiddeld vermogen [kW]	0
Maximum vermogen [kW]	0
Energieproductie [kWh/jaar]	0
Energielevering [aantal huishoudens]	0

Flakkeese sluizen open

Aantal open kanalen BrD	2	2
Aantal turbines BrD	0	0
Aantal open kanalen GrD	6	6
Aantal turbines GrD	0	0
Streefpeil [cm]	-20	+11.5
Niveauschommeling [cm]	± 1.5	± 2
Verversingstijd [dagen]	23.7	17.7
Gemiddeld debiet [m3/s]	264	352
Maximum debiet [m3/s]	476	474
Gemiddeld vermogen [kW]	0	0
Maximum vermogen [kW]	0	0
Energieproductie [kWh/jaar]	0	0
Energielevering [aantal huishoudens]	0	0

Principe Turbines Model Vispassage

Concepten Grevelingen Conclusie

Flakkeese spuisluis met turbines

Aantal open kanalen BrD	2	2	2	2	2
Aantal turbines BrD	0	0	0	0	0
Aantal open kanalen GrD	6	6	6	6	6
Aantal turbines GrD	1	1	6	6	6
Strefpeil [cm]	-20	+11.5	-20	+11.5	0
Niveauschommeling [cm]	±3	±4	± 2.5	± 3.3	± 2.9
Verversingstijd [dagen]	24.3	18.2	27.7	20.7	21.0
Gemiddeld debiet [m3/s]	257	344	225	303	298
Maximum debiet [m3/s]	464	462	406	510	380
Gemiddeld vermogen [kW]	54	85	322	415	452
Maximum vermogen [kW]	155	152	925	913	1106
Energieproductie [kWh/jaar]	470 000	740 000	2 800 000	4 440 000	4 000 000
Energielevering [aantal huishoudens]	134	211	800	1260	1140

Principe Turbines Model Vispassage Concepten **Grevellingen** Conclusie

Turbines Grevelingendam + Brouwersdam

Turbine regeling (f;x)	0.5;1	0.25;0.25
Aantal open kanalen BrD	2	2
Aantal turbines BrD	2	2
Aantal open kanalen GrD	6	6
Aantal turbines GrD	6	6
Streefpeil [cm]	-20	-20
Niveauschommeling [cm]	± 2.1	± 2.6
Verversingstijd [dagen]	33.5	26.6
Gemiddeld debiet [m3/s]	186	234
Maximum debiet [m3/s]	336	363
Gemiddeld vermogen [kW]	649	1012
Maximum vermogen [kW]	1 849	2 655
Energieproductie [kWh/jaar]	5 630 000	8 900 000
Energielevering [aantal huishoudens]	1 608	2 542

Uitbreiding met 2 turbines in Brouwersdam

Aantal open kanalen BrD	4
Aantal turbines BrD	4
Aantal open kanalen GrD	6
Aantal turbines GrD	6
Streefpeil [cm]	-20
Niveauschommeling [cm]	+ 3.3
Verversingstijd [dagen]	21.9
Gemiddeld debiet [m3/s]	285
Maximum debiet [m3/s]	445
Gemiddeld vermogen [kW]	1 612
Maximum vermogen [kW]	3 684
Energieproductie [kWh/jaar]	14 100 000
Energielevering [aantal huishoudens]	4 028

Principe Turbines Model Vispassage Concepten **Grevelingen** Conclusie

Uitgangspunten IRR:

Aantal turbines 1,3 en 6 [-]

Levensduur turbines 15,25 en 40 [jaar]

Belasting op winst 25 [%]

Looptijd investering 15 [jaar]

Inflatie 2 [%]

Rente 5 [%]

Verzekering waarde kapitaalgoederen van 1 [%]

Subsidie energieopbrengst (MEP) 0.089 [euro/kWh] (Aanbeveling ECN)

Looptijd (MEP) subsidie 15 [jaar] (Aanbeveling ECN)

Subsidie investering 0.25minimum[0.44xInvestering,47 200 000] (Senter Novem EIA)

Energieprijs (grijs) 0.056 [euro/kWh] (Rapport ECN)

Energieverbruik (elektrisch) per huishouding 3500 [kWh] (opgave Delta)

CO2 uitstoot fossiele brandstof 0.56 [kg/kWh] (opgave Delta)

Principe Turbines Model Vispassage Concepten **Grevelingen** Conclusie

Opbrengst/Investering (IRR)

Flakkeese Spuisluis

IRR [%]		Aantal		
		1	3	6
Levensduur	15	-30.5	-12.4	-4.4
	25	-13.9	+8.7	+18.5
	40	+13.3	+43.4	+56.6

Brouwerssluis

IRR [%]		Aantal		
		1	2	10
Levensduur	15	+4.0	+12.6	+23.4
	25	+28.9	+39.7	+53.0
	40	+70.1	+84.6	+102.5

Energieprijs [euro/kWh]		Aantal		
		1	3	6
Levensduur	15	0.0207	0.172	0.161
	25	0.181	0.147	0.136
	40	0.140	0.106	0.095

Energieprijs [euro/kWh]		Aantal		
		1	2	10
Levensduur	15	0.151	0.143	0.133
	25	0.126	0.117	0.108
	40	0.086	0.077	0.068

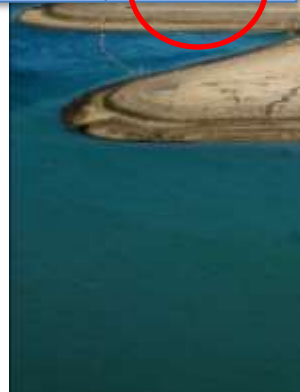
Principe Turbines Model Vispassage

Concepten Grevelingen Conclusie

Getijdencentrale Brouwersdam

Energieprijs [euro/kWh]*	Aantal			
	1	2*	100**	
Levensduur	15	0.169	0.143	0.177
	25	0.157	0.130	0.152
	40	0.142	0.116	0.111

*incl 2 miljoen euro per kanaal civiel



Aantal open kanalen BrD	0
Aantal turbines BrD	100
Aantal open kanalen GrD	0
Aantal turbines GrD	0
Streefpeil [cm]	-20
Niveauschommeling [cm]	± 35
Verversingstijd [dagen]	1.4
Gemiddeld debiet [m3/s]	4440
Maximum debiet [m3/s]	8530
Gemiddeld vermogen [MW]	30
Maximum vermogen [MW]	74
Energieproductie [GWh/jaar]	205
Energielevering [aantal huishoudens]	58500

Principe Turbines Model Vispassage Concepten **Grevelingen** Conclusie

Conclusie

Bestaande spuikanalen in Grevelingenmeer zijn uitermate geschikt voor produceren van hoeveelheid energie vergelijkbaar met windpark

Geoptimaliseerd twee-richting systeem kan qua kosten concurreren met alternatieve groene energiebronnen

Bij uitgebreide exploitatie van het Grevelingenmeer dalen de kosten voor energieproductie naar grijze energie-niveau

Principe

Turbines

Model

Vispassage

Concepten

Grevelingen

Conclusie

Einde

Model Getijdencentrale

Debiet:

$$Q = \sum_i A_i (1 - q_i) \sqrt{\frac{2g|H_s|}{C_i}} \left(\frac{H_s}{|H_s|} \right)$$

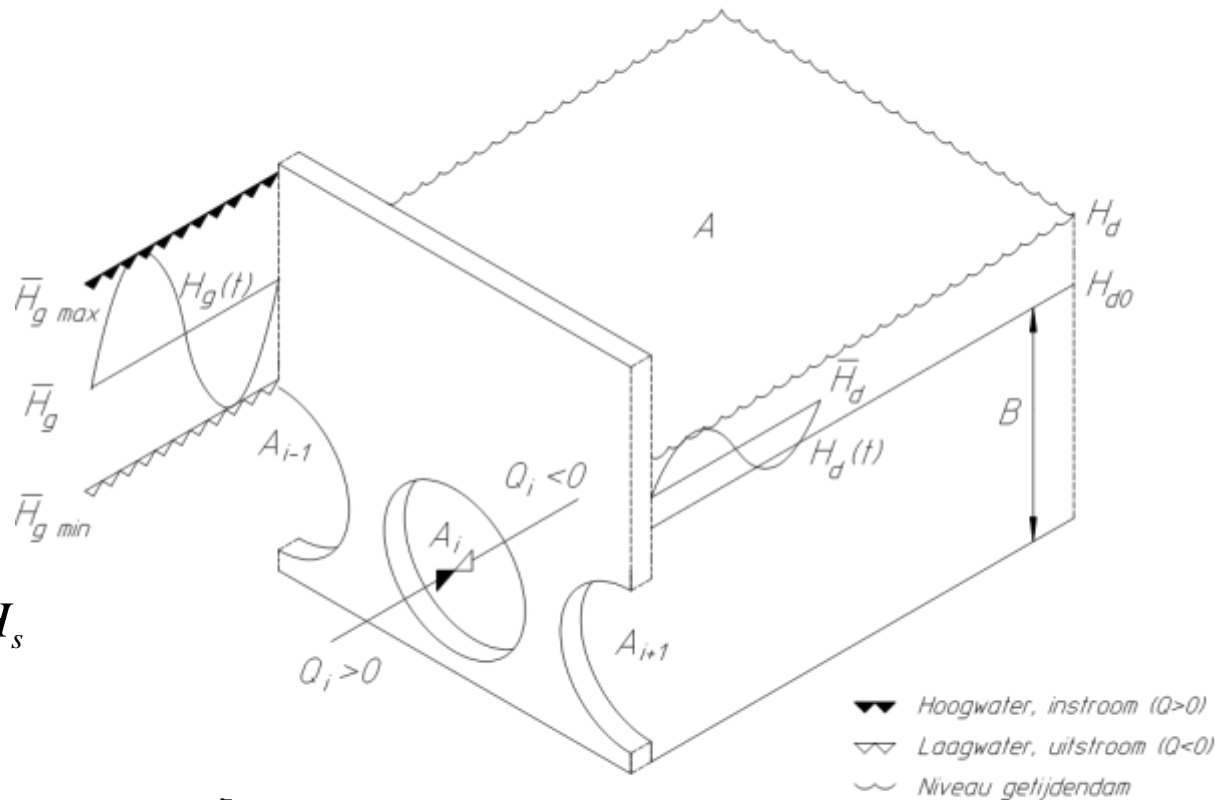
Debietreductie:

Stuwstroomturbine:

$$q = 1 - (1 - f)^{1/2}, \quad f = H_r / H_s$$

Vrije stroomturbine:

$$q = 1 - \left(1 + \frac{3}{2} \eta_\infty \right)^{-1/2}, \quad \eta_\infty = \frac{1}{2} \left[1 + a - \sqrt{1 + a^2} \right], \quad a = v_2 / v_1$$



Principe Turbines **Model** Vispassage Concepten Grevelingen Conclusie

Aannames IRR:

Project wordt 100 [%] gefinancierd.

Geen afschrijving.

Kosten civiele aanpassingen uitgesloten.

Operationele kosten hevel en sluis uitgesloten (RWS).

Symmetrische in- en uitstroomcondities.

Randvoorwaarden (RWS):

Verversingstijd < 30 [dagen] (debietreductie < 20 [%]).

Uitval t.b.v. beheer 15 [%].