

Hoe getijdenturbines de dwarsstroom te Zeebrugge reduceren

Duchatelet Matthias

Afdeling Weg- en Waterbouwkunde, Civiele Techniek, Universiteit Gent

E-mail: matthias.duchatelet@ugent.be

Energieopwekking uit getijdenstroming is in volle groei. Wereldwijd ontspringen studies en proefprojecten rond deze vorm van duurzame energie. Ook in België liepen onlangs onderzoeken naar de rol van getijdenturbines in het behalen van de Kyotonormen. Helaas bleek dat de getijdenstroming op het Belgisch Continentaal Plat² te zwak is om er op economische wijze elektrische energie uit te winnen. Tot op heden zijn de ontwikkelde toestellen eerder bestemd voor hogere stroomsnelheden. Toch mag het hierbij niet worden gelaten. Op innovatieve wijze kan getijdenenergieopwekking in België zeker nog een kans krijgen. Dit is het uitgangspunt van het eindwerk *Hoe getijdenturbines de dwarsstroom te Zeebrugge reduceren*.

Algemeen

Haven van Zeebrugge

De haven van Zeebrugge is de op één na grootste haven van België en tevens een van de belangrijkste Europese zeehavens. Om deze positie te behouden, zijn continu aanpassingswerken nodig om de maritieme toegankelijkheid te optimaliseren. Rederijen hebben immers de algemene trend om steeds grotere schepen te bouwen en leggen zo een enorme druk op de havens om zich hieraan aan te passen. De Vlaamse overheid heeft hier telkens met vele inspanningen succesvol op geantwoord. Momenteel kan de Zeebrugse haven 's werelds grootste schepen ontvangen, zoals de Emma Maersk met haar horizontale afmetingen $397,7\text{ m} \times 56\text{ m}$ en maximale diepgang van $15,5\text{ m}$.

Deze enorme schepen vragen een grote beschikbare waterdiepte. Rekening houdend met het getij kunnen schepen met diepgang van 16 m de haven gedurende 8 tot 10 uur per dag aanlopen. Bovendien mag de dwarsstroming niet te groot zijn om de bestuurbaarheid van dergelijke kolossen te verzekeren. De havendammen beschermen de haventerreinen en zorgen voor een rustig golfklimaat in de dokken maar ze vormen een obstakel in het stroomveld. Hierdoor concentreert de stroming zich langs de havenmond. Dit resulteert voornamelijk rond hoogwater in hoge stroomsnelheden dwars op de schepen. Om een veilige toegang te garanderen, mag de dwarsstroomsnelheid de waarde van $2,0\text{ knopen}^3$ niet overschrijden voor schepen groter dan 200 m . Voor LNG-schepen⁴ is de eis zelfs strenger en bedraagt de maximale snelheid $1,5\text{ knopen}$. Dit resulteert in een opmerkelijke verkorting van het beschikbare tijdvenster (of vaarvenster) voor de in- en uitvaart van de grootste schepen. Het is duidelijk dat het reduceren van de dwarsstroom een meerwaarde betekent voor de haven van Zeebrugge, zowel nautisch als economisch. Zo kan de haven verder inspelen op de toekomstige schaalvergroting van de schepen.

Projectidee

Het idee van het voorgestelde project is eenvoudig: een getijdenturbinepark naast de vaargeul moet de stroming afremmen, terwijl energie wordt gewonnen. De thesis geeft inzicht in het project en onderzoekt de haalbaarheid ervan.

Gedrag van getijdenturbines

De eerste stap in het onderzoek is het bestuderen van het fysisch gedrag van getijdenturbines in een stroming. Een algemeen aanvaarde theorie voor de beschrijving van windturbines is de axiale impuls-theorie of *actuator disk* theorie (Lanchester, 1915; Betz, 1920). Gegeven de overeenkomst tussen wind- en getijdenturbines, is deze theorie ook een goed vertrekpunt voor

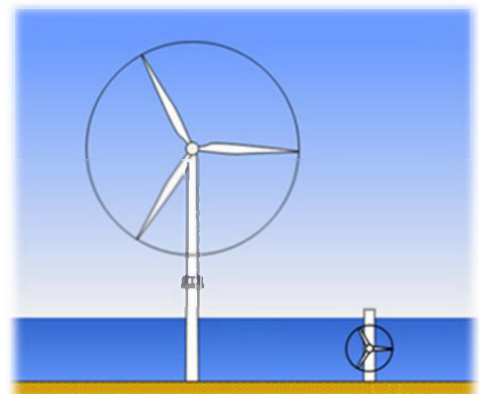


Fig. 1. Vergelijking tussen het stromingsveld van een windturbine en een getijdenturbine

² Het Belgisch Continentaal Plat duidt het gebied in de Noordzee aan waar België het uitsluitend exploratie- en exploitatierecht van niet-levende rijkdommen van bodem en ondergrond heeft.

³ $1\text{ knoop} \approx 0,514\text{ m/s}$

⁴ LNG = vloeibare aardgas (E: Liquefied Natural Gas)

dit werk. Toch zijn aanpassingen noodzakelijk, voornamelijk door het begrensde karakter van het getijdenstroomveld. Windturbines bevinden zich in een quasi onbegrensde omgeving. De getidenturbines zijn daarentegen ingesloten tussen de zeebodem en het wateroppervlak. Dit verschil is geïllustreerd in Fig. 1.

De uitwerking van de thesis is gebaseerd op een stromingsmodel met constant volume, geschematiseerd in Fig. 2. De variatie van het wateroppervlak is met andere woorden genegeerd. Het Froudegetal in deze toepassing is inderdaad voldoende laag om deze aanname te rechtvaardigen. Op die manier kan de weerstandskracht van een turbine geschreven worden als vergelijking (1), met de weerstandscoefficiënt gedefinieerd door vergelijking (2).

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_t \cdot C_D \cdot u_{in}^2 \quad (1)$$

$$C_D = \frac{(1 - B \cdot (1 - a_1))^2}{\left(1 - B \cdot \frac{1 - a_1}{1 - a_2}\right)^2} - (1 - a_2)^2 \quad (2)$$

B is de blokkadecoefficiënt A_t/A_{in} , terwijl a_1 en a_2 gedefinieerd zijn door $u_t = (1 - a_1) u_{in}$ en $u_{cs} = (1 - a_2) u_{in}$. De betekenis van de andere parameters zijn duidelijk uit Figuur 2, waarbij A en u respectievelijk een dwarsdoorsnede en snelheid voorstellen.

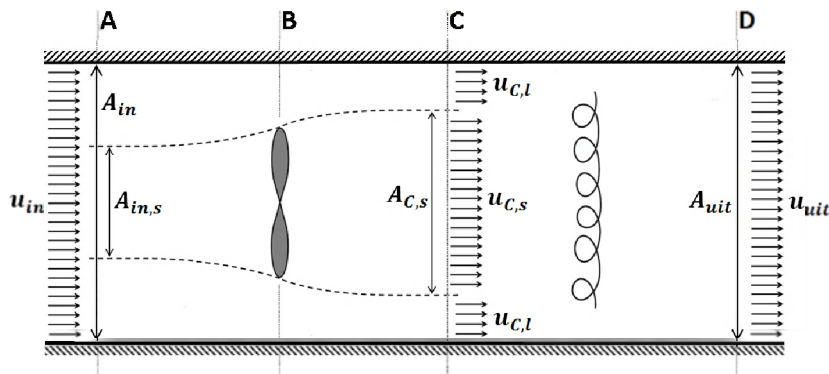


Fig. 2. Turbine in een stromingsveld met constant volume

De toepassing van de wetten van behoud van massa, energie en impuls leveren ook de onderstaande uitdrukking:

$$(1 - a_2)^2 \cdot [a_2 - (2 \cdot B + 2) \cdot a_1 + 2 \cdot B] + B \cdot (1 - a_1)^2 \cdot (3a_2 - 2) = 0 \quad (3)$$

Om nog een bijkomende vergelijking te bekomen, is de efficiëntiecurve van een generieke getidenturbine vooropgesteld, gebaseerd op Cornett (2008). Vermenigvuldigen van de weerstandskracht met de stroomsnelheid doorheen de turbine levert immers het onttrokken vermogen. Door dit vermogen te vergelijken met het beschikbare vermogen in de stroming, kan de efficiëntie snel bepaald worden. Merk echter wel op dat deze vergelijking de hydraulische efficiëntie levert. De generieke efficiëntiecurve geeft daarentegen de totale efficiëntie – van water tot draad – die zo'n 80% bedraagt van de hydraulische efficiëntie.

Modelleren van een turbinepark

Gebruikt model

Een vereenvoudigd numeriek dieptegemiddeld model is opgesteld om het gebied rond de haven van Zeebrugge voor te stellen. Een gedetailleerd model valt buiten het doel en tijdsbestek van de thesis. Dit onderzoek gaat de haalbaarheid van het project na en heeft niet de bedoeling om exacte cijfers te verschaffen.

Ongeacht de eenvoud van het model in vergelijking met de werkelijkheid, moet voldoende aandacht worden besteed aan het opstellen ervan. Het werk onderbouwt dan ook elke onderstelling en toont de kwaliteit van het model met cijfers aan. De validatie gebeurt op basis van de stroomatlas van Zeebrugge (Borgerhout, 1985) op zo'n manier dat de dwarsstromingspiek ter hoogte van de havenmond zo goed mogelijk wordt gereproduceerd. Verder weg van de pieksnelheid – dus buiten het interessegebied – is een lagere nauwkeurigheid toegelaten.

De volgende stap bestaat uit het vertalen van de getijdenturbines in een numeriek model. Overeenkomstig de axiale impuls theorie kunnen de turbines gemodelleerd worden als poreuze platen. Dergelijke plaat stelt het impulsverlies te wijten aan de turbine voor. De open source software *Delft3D-FLOW* laat deze benadering relatief eenvoudig toe. De opdracht hier is het correct omvormen van de turbineweerstandscoëfficiënt naar de gevraagde inputparameter, namelijk de verliescoëfficiënt van de plaat.

Een andere methode, toepasbaar in de meeste software maar iets verder van de werkelijkheid, is het lokaal verhogen van de bodemruwheid. De aan te wenden equivalente bodemruwheid omvat dan zowel de eigenlijke bodemruwheid als de weerstand van de turbines.

Beide methoden hebben hun voor- en nadelen en worden vergeleken in de thesis. Uiteindelijk gaat de voorkeur uit naar de methode met poreuze plaat.

Merk nog op dat, zelfs met een theoretische uitdrukking voor de turbineweerstand, het uiteindelijk modelleren geen eenvoudige opdracht is. De weerstand is immers via de efficiëntie van de toestellen afhankelijk van de stromingssnelheid. De stromingssnelheid is op haar beurt afhankelijk van de weerstand die de turbines leveren. De weerstand en snelheid beïnvloeden elkaar dus, zodat het modelleren een iteratief – en daardoor een tijdrovend – proces is.

Merk nog op dat, zelfs met een theoretische uitdrukking voor de turbineweerstand, het uiteindelijk modelleren geen eenvoudige opdracht is. De weerstand is immers via de efficiëntie van de toestellen afhankelijk van de stromingssnelheid. De stromingssnelheid is op haar beurt afhankelijk van de weerstand die de turbines leveren. De weerstand en snelheid beïnvloeden elkaar dus, zodat het modelleren een iteratief – en daardoor een tijdrovend – proces is.

Parkgeometrie

Vooraleer over te gaan op het ontwerp van het gehele turbinepark, is het essentieel dieper in te gaan op de algemene schikking van de turbines binnen het park. De tus-senafstanden, zowel tussen de toestellen in een rij als tussen de rijen, hebben een enorme invloed op de efficiëntie van de turbines. Algemeen moeten de afstanden voldoende groot gekozen worden om ongunstige effecten van het zog van de turbines op de andere te vermijden of beperken. Op die manier is naast de Westdam, afgebeeld in Fig. 3, plaats voor zeven rijen getijdenturbines met een diameter van 8 meter.



Fig. 3. Locatie gepland getijdenturbinepark

Vervolgens onderzoekt het werk de invloed van verschillende geometrische parameters van het park: het aantal rijen turbines, de lengte van de rijen, de tussenafstanden,... De belangrijkste output van het model is de snelheidsverdeling langs de vaargeul naar de haven. Op die manier is het mogelijk een optimale geometrie voorop te stellen met betrekking tot de dwarsstroomreductie.

Impact van het turbinepark op de dwarsstroming

In de huidige situatie bereikt de stroming bij springtij een dieptegemiddelde pieksnelheid van 3,1 knopen vlakbij de haventoeegang. Een getijdenturbinepark, bestaande uit zeven geschrante rijen met een lengte van 500m, doet deze pieksnelheid dalen tot 2,2 knopen. Dit levert een reductie op van bijna 30%. Aangezien een deel van de stroming het park ontwijkt, ontstaat wel een tweede piek in de snelheidsverdeling langs de vaargeul. Deze extra snelheidspiek is slechts 6% lager dan de huidige piek maar bevindt zich wel pas op een aanzienlijke afstand van de havenmond. De plotse snelheidsafname is dus veel kleiner in vergelijking met de huidige situatie. Inderdaad, nu neemt de dwarsstroomsnelheid abrupt af van zijn piekwaarde, net buiten de haven, tot nul, net binnen de haven. De extra snelheidssprong daarentegen varieert slechts van 2,9 knopen tot 2,2 knopen. Een schip zal bijgevolg een kleiner krachtverschil ondervinden tussen voor- en achterstevan.

Een driehoekige vormgeving van het turbinepark reduceert ook de tweede snelheidspiek met zo'n 20% in vergelijking met de huidige piek. In dit geval meet de eerste (meest westelijke) rij 350m lang en loopt de rijlengte op tot 2000m, nl. de lengte van de laatste (meest oostelijke) rij dicht tegen de vaargeul. Bovendien verloopt de snelheidsverandering van de eerste tot de tweede piek veel meer geleidelijk. Een schip zal de extra snelheidspiek nog nauwelijks voelen. De resulterende snelheidsverdelingen langs de vaargeul zijn gegeven in Fig. 4 voor zowel de rechthoekige als de driehoekige vorm van het park.

Hoewel de reductie van de maximale dwarsstroomsnelheid opmerkelijk is, blijft de snelheid boven de maximaal toegelaten waarde. Bijgevolg zal de gereduceerde stroming het vaarvenster voor de grootste schepen nog steeds mee bepalen. Toch zijn de resultaten voordelig. Simulaties bij middeltij tonen zelfs aan dat het stroomvenster verdwijnt voor de conventionele schepen.

Bovendien verdwijnt het stroomvenster te allen tijde voor alle schepen behalve de LNG-schepen mits een lichte versoepeling van de huidige dwarsstroomlimiet van 2,0 naar 2,3 knopen. In de huidige situatie loopt de dwarsstroomsnelheid daarentegen zeer snel op tot 3,1 knopen, eens de 2,0 knopen is bereikt. Als een schip in opvaart bij rijzend tij onverwachts vertraging oploopt, kan het plotseling blootgesteld worden aan zeer sterke stromingen. Het risico van dergelijke plotse snelheidstoename ver boven de toegelaten grens verdwijnt door de installatie van een getidenturbinepark.

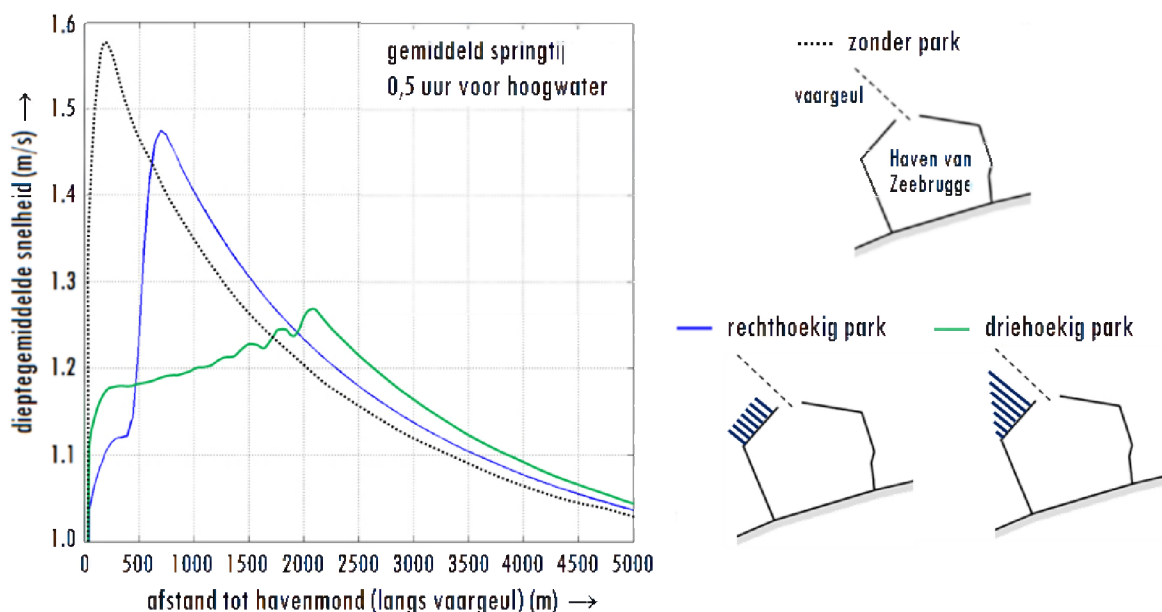


Fig. 4. Vergelijking van de snelheidsverdeling langs de vaargeul met en zonder turbinepark

Voor LNG-schepen is een versoepeling van 0,8 knopen nodig om het stroomvenster permanent te doen verdwijnen. Dergelijke aanpassing is minder denkbaar, aangezien de procedures met betrekking tot LNG-schepen veel strenger zijn. Desondanks is zonder versoepeling een stroomvensterreductie van 20 tot 25% mogelijk door de installatie van een turbinepark.

Ondanks de veelbelovende resultaten kan de exacte impact van de nieuwe snelheidsverdelingen langs de vaargeul op de bestuurbaarheid van schepen niet vastgesteld worden in deze fase van het onderzoek. Verdere proeven, bijvoorbeeld met een scheepssimulator, kunnen deze impact nagaan.

Energieproductie

Natuurlijk is de lezer ook geïnteresseerd in wat de getidenturbines zullen opbrengen. Daarom voorziet het werk ter afsluiting een schatting van de energieopbrengst. Eén turbine in het park produceert jaarlijks ruwweg 4,0 tot 4,5 MWh elektrische energie. Ter illustratie wekt een windturbine op de Thorntonbank zo'n 18,5 GWh elektrische energie op. Een gigantisch verschil dus. De vergelijking is evenwel oneerlijk. Met zijn rotordiameter van 126m is het aanstroomoppervlak van de windturbine bijna 250 keer groter dan deze van de beschouwde getidenturbines.

Een fictieve windturbine met een diameter van 8m – dezelfde diameter als de beschouwde getidenturbines – produceert echter nog steeds 16 tot 19 keer meer energie. De voornaamste oorzaak van de lage output uit de getijdenstroming is het gebrek aan turbines specifiek ontworpen voor relatief lage stroomsnelheden. De huidige producenten richten zich op stroomsnelheden vanaf 2,0m/s of 3,9 knopen.

Hopelijk slagen ontwerpers er op termijn in de efficiëntie van de toestellen bij lagere snelheden te verbeteren. Hoe dan ook mag men niet vergeten dat de waarde van het getidenturbinepark in dit werk hoofdzakelijk voortkomt uit de reductie van de dwarsstroomsnelheid en zo de optimalisatie van de maritieme toegankelijkheid van de haven.

Conclusie

Het voorgestelde project geeft getijdenenergie in het Belgisch deel van de Noordzee een tweede kans. De thesis levert fundamenteel inzicht in het reduceren van dwarsstroming met behulp van een

getijdenturbinepark. Niet alleen voor de haven van Zeebrugge is dit interessant. Ook voor andere havens kan deze innovatieve oplossing voordelig zijn.

Het projectidee kan bovendien ruimer bekeken worden. Ook met relatief eenvoudige geperforeerde platen (in een gepaste opstelling) in plaats van getijdenturbines reduceert de stroming. Het komt erop neer weerstand te creëren die de stroming moet overwinnen vooraleer de havenmond te bereiken. De platen vermijden de grote investeringskosten van de turbines en hebben meer vrijheid qua opstelling. De opwekking van elektriciteit, die hier weliswaar beperkt is, gaat uiteraard verloren. Minstens even belangrijk als het resultaat is dat de thesis aantoont dat duurzame energieopwekking niet steeds een doel hoeft te zijn. Door het als middel te beschouwen, worden kosten gedeeld en opbrengsten verhoogd. Deze visie opent deuren voor elke vorm van duurzame energie.

Dankwoord

De auteur wil graag promotoren prof. dr. ir. De Rouck en prof. dr. ir. De Mulder bedanken voor de steun en bijdrage aan het voorgestelde eindwerk.

Referenties

Lanchester F.W. 1915. A contribution to the theory of propulsion and the screw propeller. Transaction of the Institution of Naval Architects 56:89-116; 135-153.

Betz A. 1920. Das Maximum der theoretisch möglichen Ausnützung des Windes durch Windmotoren. Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen 26:307-309.

Cornett A. 2008. Guidance for assessing tidal current energy resources. Final technical report OES-IA T02-1.2, IEA-OES

Borgerhout W.L. 1985. Stroomatlas werkgebied en Pas van het Zand: oppervlakte-stroomsnelheden in meter per seconde [ATLAS]. Edition n° 25. Ministerie van Openbare Werken. Dienst der Kust [s.l.]. maps pp.