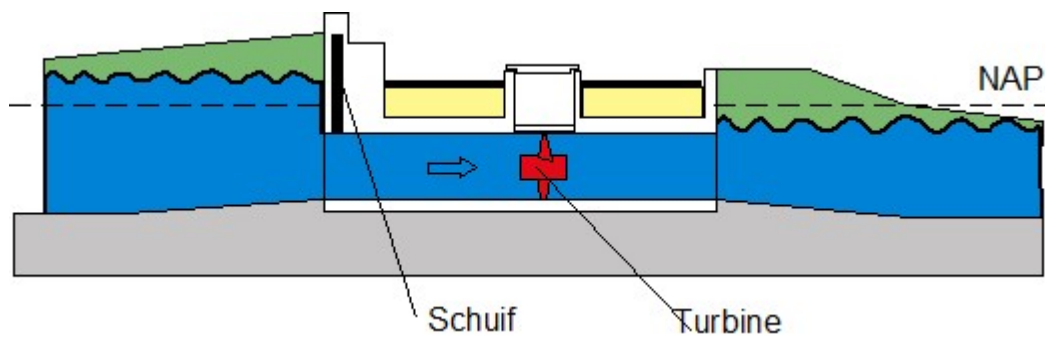


Hydro-energetica van de doorlaat/getijcentrale Brouwersdam



Notitie

Dr. ir. J. van Berkel

Versie: 10-10-2018 11:25

Dit rapport is opgesteld in het kader van de marktverkenning getijcentrale Brouwersdam 2018. Als onderdeel daarvan is de hydro-energetische modellering uitgevoerd in opdracht van de Provincie Zuid-Holland en Rijkswaterstaat.

Titel:

Hydro-energetica van de doorlaat/getijcentrale Brouwersdam

Datum:

10 oktober 2018

Auteur:

Dr. ir. J. van Berkel

Bedoeld als:

Openbaar achtergronddocument bij de marktverkenning

Verspreiding:

Op verzoek

2

Dit marktconsultatiedocument maakt geen onderdeel uit van de aanbesteding en er kunnen geen rechten aan worden ontleend.

Voorts is bij de totstandkoming van dit rapport is de nodige zorgvuldigheid betracht. De auteur aanvaardt echter geen aansprakelijkheid ten aanzien van fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker.

Voorzijde: Regeling van verlaagd waterpeil op het Grevelingenmeer met turbines die tevens elektriciteit leveren, in plaats van regeling met schuiven die energie dissiperen (door wrijving omzetten in warmte). Energetisch is deze wijze van regelen gelijk aan het geheel sluiten van een deel van de schuiven, doordat de stroomsnelheid in de overige kokers toeneemt, waardoor daar dan grotere verliezen optreden.

Inhoud

1. Hydro-energetica van de getijcentrale	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Opzet van het rekenmodel	4
1.3 Aanpassingen t.o.v. de Pro-Tide modellering uit 2015	6
1.4 Optimalisatie van het aantal turbines	6
referenties	9

1. HYDRO-ENERGETICA VAN DE GETIJCENTRALE

1.1 Inleiding

Het hydro-energetisch model van de doorlaat/getijcentrale in deze studie, is gebaseerd op het model dat ontwikkeld is in het EU-project Pro-Tide (Van Berkel, 2015). Het model wordt ingezet om, uitgaande van het momentane waterpeil op de Noordzee en het Grevelingenmeer, de doorstroming door de doorlaat/getijcentrale en de elektriciteitsproductie te berekenen.

De modellering is niet turbine-specifiek en door het instellen van de reactieraad in principe geschikt voor druk- en vrijstroomturbines.

1.2 Opzet van het rekenmodel

Kern van de hydro-energetische berekening van de doorlaat/getijcentrale is de berekening van het debiet door de getijcentrale, afhankelijk van de waterstand op de Noordzee en op het Grevelingenmeer, naar (Berkel, 2015), daarin verwijzend naar (Meijnen, 2015).

Het momentaan turbinevermogen wordt berekend uit de hydraulische drukval over de turbine en het volumedebiet bij een constant hydraulisch turbinerendement. Sommatie van het vermogen over alle tijdstappen van het jaar ($365 \times 24 \times 6 = 52560$ tijdstappen) geeft de jaarlijkse opgewekte elektriciteit.

De drukval over de turbine wordt bepaald, als fractie f van de valhoogte:

$$\Delta H_{\text{turbine}} = f \Delta H$$
$$Q = N A \sqrt{\frac{2 g \Delta H (1 - f)}{C}}$$

Waarbij:

- Q het volumedebiet dat door de koker stroomt [m³/s]
- A het (natte) doorstromend oppervlak van de koker 64 [m²]
- ΔH het verval over de doorlaat/getijcentrale [m]
- f de reactiegraad van de turbine, range 0-1 [-]
- C de verliescoëfficiënt voor doorstroming van de koker [-]
- N het aantal kokers [-]

Met bekend verval en overige parameters wordt momentaan het debiet door de doorlaat/getijcentrale berekend.

Het theoretisch (hydraulisch) vermogen van een getijnturbine volgt dan uit:

$$P_{\text{theor}} = \rho g (f \Delta H) N A \sqrt{\frac{2 g \Delta H (1 - f)}{C}}$$

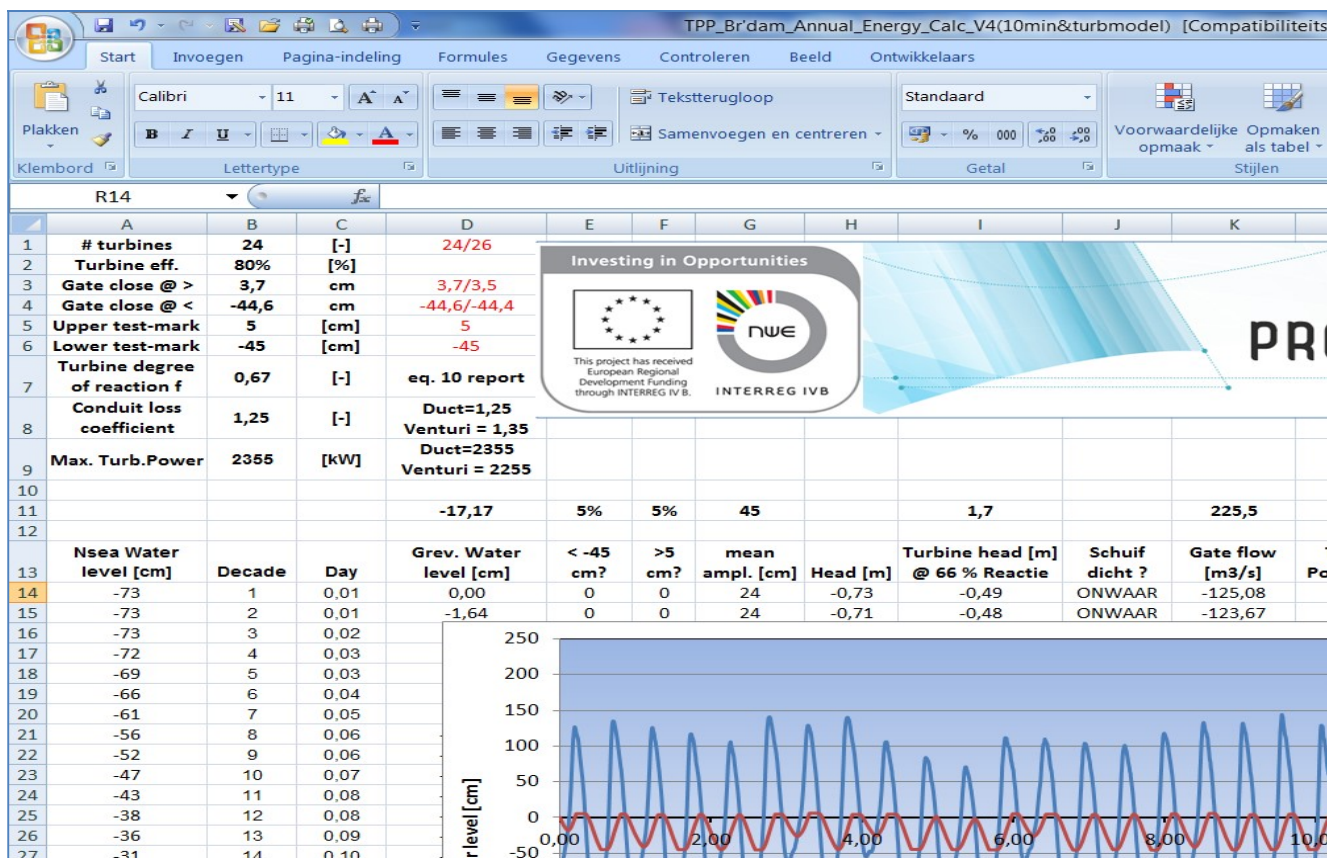
Voor berekening van het geleverde elektrische vermogen is een hydro-elektrisch rendement van 80 % gehanteerd (naar Meijnen, 2015).

Met betrekking tot de bovenstaande parameters kan worden opgemerkt dat:

- Voor wat betreft de reactiegraad f : een waarde van 0 duidt op doorstroming zonder weerstand ten gevolge van de turbines en een waarde van 1 duidt op een volledige blokkade. Duidelijk is dat in deze beide extreme gevallen een turbine geen vermogen produceert. Het is bekend dat een getij- of waterturbine volgens bovenstaande formulering bij doorstroming een maximum vermogen kan leveren bij een reactiegraad van 66 %. Het debiet (en snelheid) door de koker bedraagt in dat geval 58 % van de waarde zonder turbine. Vrijstroomturbines worden bedreven bij kleinere reactiegraad, en hoger debiet.
- De verliescoëfficiënt hier in de noemer van de breuk, onder het wortelteken staat. Voor de koker (dus nog exclusief de weerstand van de turbine) is een verliescoëfficiënt C berekend met een waarde van 0,83 (Deltares, 2018).

Input voor het model is het waterpeil op de Noordzee ("Brouwershavensegat 08") op 10 minutenbasis. Met een coëfficiënt voor de doorstroming en de getijturbines wordt dan het debiet en de resulterende verandering in waterpeil op het Grevelingenmeer berekend, waarbij een constant oppervlakte (110 km²) van het Grevelingenmeer wordt verondersteld (Kombergingsmodel).

Met het oog op transparantie is het model ontwikkeld in Microsoft Excel, zie figuur 1.1 5 voor een screen-print.



Figuur 1.1 Screen-shot van het hydro-energetisch model (Microsoft Excel)

1.3 Aanpassingen t.o.v. de Pro-Tide modellering uit 2015

Waar in de hydro-energetische modellering in 2015 (Van Berkel, 2015) nog geen zeespiegelstijging werd meegenomen en werd uitgegaan van een vaste waarde voor de verliescoëfficiënt (1,25) en zowel voor eb als vloed een reactiegraad (0,66) van de turbine, is voor de modellering van de getijcentrale in dit document uitgegaan van:

1. Een door zeespiegelstijging verhoogd Noordzeepil van +30 cm NAP, conform de uitgangspunten.
2. Een verliescoëfficiënt van 0,83 (in de gebruikelijke formulering overeenkomend met de getoetste 1,1-waarde van Deltares).
3. Een reactiegraad van de turbines:
 - a. Met een waarde van 0 bij ebstroming (geen turbineweerstand bij uitstroming uit het Grevelingenmeer). Mogelijkheden om dit te bereiken zijn in principe wrijvingsloos mee laten draaien van de turbines, parkeren van de bladen in vaanstand of uithijzen van de turbines. Eventuele meerkosten hiervoor zijn als kosten-risico opgenomen in de vorm van een extra koker ter compensatie van turbinewrijving.
 - b. Een waarde tussen 0 en 1 bij vloedstroming, met als effect dat de instroming in het Grevelingenmeer wordt geremd (geknepen). De (vaste) waarde voor de reactiegraad wordt daarbij zo getuned dat voldaan wordt aan de peileisen op het Grevelingenmeer (ten aanzien van gemiddelde, minimum en maximumwaarden voor het waterpeil).

6

1.4 Optimalisatie van het aantal turbines

Met het hydro-energetisch model wordt voor de ebstroming (zonder turbines, $f=0$) berekend dat 18 kokers nodig zijn om aan de peileisen te voldoen. Als voor de vloedstroming alle (18) kokers met turbines worden uitgevoerd, dient een reactiegraad van $f=0,88$ ingesteld te worden om ook voor vloed aan de peileisen te voldoen. De (18) turbines zouden zwaar moeten remmen en niet in hun maximum-vermogen punt ($f=0,66$) draaien. Voorgesteld wordt om in dat geval effectiever een kleiner aantal turbines, met minder remming te laten draaien in het maximum vermogen-punt ($f=0,66$) en de resterende kokers bij vloed af te sluiten. Al doende hoeven dan niet alle kokers voorzien te worden van turbines.

Een regeling op maximaal waterpeil is in het model geëffectueerd d.m.v. schuiven (dicht als een extreem waterpeil is bereikt). Dit is een vereenvoudiging van hetgeen werkelijk gebeurt waarbij (anticiperend) geregeld wordt met de weerstand van de turbines, eventueel in combinatie met het tijdens kentering van het tij open/dicht zetten van schuiven. Daarbij is aangenomen dat de hefschuiven buiten kentering niet zijn te verstellen, maar dat met turbines een continu variabele reactie (weerstand) van de turbine momentaan is in te stellen voor fijnregeling. Deze adaptieve fine-tuning is niet in het rekenmodel opgenomen.

Als de getijcentrale kokers twee sets kokers omvat met identieke vormgeving, maar verschillende reactiegraden, dan geldt voor het totaal debiet, in plaats van vergelijking:

$$Q_{\text{totaal}} = N_1 A \sqrt{\frac{2 g \Delta H (1 - f_1)}{C}} + N_2 A \sqrt{\frac{2 g \Delta H (1 - f_2)}{C}}$$

Ofwel:

$$Q_{\text{totaal}} = A \sqrt{\frac{2 g \Delta H}{C}} \left[N_1 \sqrt{(1 - f_1)} + N_2 \sqrt{(1 - f_2)} \right]$$

Als dan de reactiegraad f_{18} voor 18 kokers verdeeld moet worden over kokers met een reactiegraad van 0,66 en 1 (gesloten), dan wordt het aantal turbines gegeven door:

$$18 \sqrt{(1 - f_{18})} = \left[N_1 \sqrt{(1 - 0,66)} + N_2 \sqrt{(1 - 1)} \right]$$

Geeft:

$$N_1 = 18 \frac{\sqrt{(1 - f_{18})}}{\sqrt{(1 - 0,66)}}$$

In het specifieke geval ($f_{18}=0,88$):

$$N_1 = 18 \sqrt{\frac{(1 - 0,88)}{(1 - 0,66)}} = 11$$

7

Hierbij dient nog een correctie te worden gemaakt voor het opgewekte vermogen. Voor 18 kokers/turbines @ $f=0,88$, met weglaten van de constante parameters:

$$P_{\text{theor},18} = 18 \cdot 0,88 \sqrt{(1 - 0,88)} = 5,49$$

verandert dat met een fractie, bij 11 kokers @ $f=0,66$:

$$P_{\text{theor},11} = 11 \cdot 0,66 \sqrt{(1 - 0,66)} = 4,23$$

Dit geeft aan dat door reductie van het aantal turbines:

1. De (variabele) kosten dalen met 39 % (van 18- naar 11 turbines).
2. Het opgewekte vermogen daalt met 23 % (4,23 t.o.v. 5,49). Dit wordt veroorzaakt doordat (bij gegeven debiet) het installatierendement hoger is als alle kokers worden ingezet (lagere snelheid = kleinere uitstroomverlies).

De berekening van het opgewekte vermogen uit het Hydro energetisch model moet hierop worden aangepast.

1.5 Opbrengstberekeningen

De elektrische energieopbrengst is berekend zowel in de aanvangssituatie (0 cm zeespiegelstijging), als in de eindsituatie (+30 cm stijging). In beide gevallen blijkt die bij benadering 60 GWh te zijn (hetgeen ook op basis van theorie mag worden verwacht). Voor de businesscase is aldus verondersteld dat ook in tussenliggende jaren de elektrische energieopbrengst 60 GWh bedraagt.

1.6 Ontwerpaspect: Onderdamping en cavitatie

Cavitatie in de turbine en vereiste onderdamping zijn onderzocht in het kader van Pro-Tide (Meijnen, 2015) en recent als aandachtspunt geïdentificeerd door Deltares (De Loor, 2018). In deze studie is cavitatie niet verder uitgewerkt, maar als kosten-risico opgenomen voor verdiepte ligging van de getijdencentrale.

REFERENTIES

Berkel van, J., Optimised TTP_Br'dam_Pro-Tide_061015, Rapport EU-project Pro-Tide, Oktober 2015.

Kleissen, F, Toetsing hydraulisch rekenmodel van de Getijturbinen Brouwersdam, Deltares September 16, 2015 en 2018

Meijnen, R. And J. Arnold, TPP-Brouwersdam; Conceptual Design and Comparison of Two Propeller Turbine Configurations, Pentair-Fairbanks-Nijhuis, Pro-Tide report version 01-09-2015.

Paulus, P, Toepisen doorlaat/getijcentrale Brouwersdam, 2018