

Notitie            **Kosten van kleinschalige waterkracht en getijdenenergie  
in Nederland**

Aan                Ministerie van Economische Zaken

Kopie aan        Sander Lensink (ECN)

Van                Paul Lako, André Wakker (ECN)

---

## 1. Inleiding

In aanvulling op het SDE advies 2009-2010 (Van Tilburg *et al*, 2008) heeft het Ministerie van Economische Zaken ECN gevraagd om ook voor waterkrachtprojecten te adviseren over een zinvolle categorie-indeling die het mogelijk zou maken om het uitbreidingspotentieel van waterkracht in Nederland op korte termijn te ontsluiten. Aanvullend is gevraagd om een inschatting te maken van een basisbedrag per categorie, voor zover dit mogelijk wordt geacht.

Een aantal waterkrachtprojecten is al langere tijd in voorbereiding, maar niet tot uitvoer gekomen. Op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken heeft Entry Technology (Van Berkel, 2008) een inventarisatie gemaakt van projecten die eind 2008 in voorbereiding zijn. Op basis van beschikbare informatie en gesprekken met diverse initiatiefnemers heeft Entry Technology tevens een inschatting gemaakt van de kosten voor elk van de projecten. ECN heeft deze kosten vertaald naar kostenparameters, waar nodig aangevuld met gegevens uit andere studies. Conform de methode voor de basisbedragen SDE heeft ECN vervolgens basisbedragen per project berekend. Er heeft geen marktconsultatie plaatsgevonden.

## 2. Afbakening

De basisbedragen die in deze notitie worden gepresenteerd, hebben betrekking op projecten die gericht zijn op realisatie in 2009 of 2010. Daarbij is gekeken naar kleinschalige waterkracht (KWK) en getijdenenergie. Golfenergie en osmose zijn niet meegenomen. Het basisbedrag betreft uitsluitend de meerkosten voor de realisatie van een waterkrachtcentrale in een bestaande waterkering. De bouw van een nieuwe waterkering is niet beschouwd. Extra aanpassingen die noodzakelijk worden geacht bij het realiseren van een waterkrachtcentrale, zoals toevoergeleiding of vistrappen, zijn wel meegenomen in de berekeningen.

### 3. Waterkracht in Nederland

Sinds de jaren negentig zijn in Nederland enkele KWK-centrales in bedrijf. Deze hebben een gezamenlijk vermogen van 37 MW (CBS, 2008). De productie daarvan wordt gedomineerd door drie centrales in rivieren die allen eind jaren tachtig zijn gebouwd. Sinds 2005 wordt 24 MW daarvan gesubsidieerd vanuit de MEP met een vergoeding van 9,7 €/kWh. Van de totale elektriciteitsproductie door duurzame energie komt ongeveer 1 procent voor rekening van KWK. De inventarisatie door Entry Technology laat zien dat in bestaande kunstwerken (dammen en sluisen) circa 17 MW nieuw KWK-vermogen in rivieren gerealiseerd zou kunnen worden binnen een termijn van drie jaar. Voorts bieden de Afsluitdijk, waar sinds kort een proefproject gaande is, en de Zeeuwse Deltawerken een potentieel voor getijdenenergie. Dit potentieel, dat binnen circa zes jaar te realiseren zou zijn, wordt door Entry Technology op 135 MW geschat.

### 4. Technisch economische parameters

#### 4.1 Kleinschalige waterkracht

De elektrische energie die met waterkrachtcentrales wordt opgewekt is recht evenredig met de valhoogte (m) en het debiet ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) van het water. Het verval van rivieren in de Hollandse delta is gering. Kunstwerken, aangelegd als waterkering om de waterstand in rivieren te regelen en te beheersen, zijn geschikt om valhoogte te creëren die door waterkrachtcentrales kan worden benut. Deze varieert in de Nederlandse praktijk typisch van 3 tot 6 meter. Entry Technology rapporteert één sluis met een voor Nederland uitzonderlijke valhoogte van 11 meter. De jaarlijkse productie van een KWK-centrale varieert sterk en hangt af van de watertoevoer in de grote rivieren. Criteria met betrekking tot waterhuishouding kunnen daarbij een additionele rol spelen: een KWK-centrale kan worden stilgelegd voor de scheepvaart, of voor vismigratie. Een verdubbeling (of halvering) van productie van jaar tot jaar is in Nederland niet ongebruikelijk (Beurskens, 2003).

#### *Investeringskosten*

De investeringskosten voor KWK-centrales zijn in de eerste plaats afhankelijk van de kosten voor de turbines. Er is een klein aantal turbine types in gebruik. De keuze daarvan hangt af van de valhoogte op de locatie, en het debiet (en daarmee het vermogen van het systeem). Voor het bepalen van de investeringskosten voor turbines is een Europese standaard ontwikkeld (EC, 2005). De tweede kostencomponent betreft de additionele infrastructuur die moet worden aangelegd: basins en toevoerleidingen om de valhoogte te benutten, infrastructuur om de waterstroom te verleggen, en ecologische voorzieningen zoals vistrappen. Deze faciliterende infrastructuur verschilt sterk van project tot project. Entry Technology rapporteert investeringskosten die variëren van 2500 tot 9000 €/kW. De grote spreiding kan deels verklaard worden door de verschillen in faciliterende infrastructuur.

#### *Onderhouds- en bedrijfskosten, vollasturen*

De O&M-kosten zijn locatiegebonden en mede afhankelijk van de waterkwaliteit, die de schoonmaakkosten beïnvloedt. De European Small Hydro Association rapporteert O&M-kosten van 0,9 tot 1,4 €/kWh (ESHA, 2005), dat in de praktijk 12% van de investeringskosten representeert bij een gegeven aantal vollasturen. Voor laagverval en kleine systemen zijn de O&M-kosten extra hoog omdat laagverval veel drijfvuil met zich meebrengt. Gegevens van bestaande KWK-centrales geven aan dat 1,4 €/kWh voor Nederland een ondergens is. Er is daarom uitgegaan van 1,75 €/kWh. Vollasturen zijn locatiegebonden, en kunnen door variabiliteit in wateraanvoer van jaar

tot jaar verschillen. Op basis van beschikbare projectgegevens heeft Entry Technology per project de gemiddelde jaarlijkse vollasturen geschat. Deze variëren, per project, van 3800 tot 6000 uur.

Tabel 1 *Technisch-economische parameters waterkracht*

		Valhoogte < 5 meter	Valhoogte ≥ 5 meter
Geïnstalleerd vermogen	[MW]	4,0	2,8
Investeringskosten	[€/kW <sub>e</sub> ]	4000	2500
Bedrijfstijd/vollasturen	[Uren/jr]	3800	4800
Vaste O&M-kosten	[€/kW <sub>e</sub> ]	66,5	84

## 4.2 Getijdenenergie

Getijdenenergie kan worden opgewekt in een dam waarin turbines zijn geplaatst. Het water wordt op een bepaald moment in het getij “vast” gehouden en vervolgens op een later moment van de ene kant van de dam naar de andere via een turbine losgelaten. Net als bij gestuwde waterkracht zijn valhoogte en debiet daarbij leidend. Een tweede vorm van getijdenenergie is gebaseerd op vrijestroomturbines die de bewegingsenergie in getijdenstromen direct benutten, zonder dat er een valhoogte is gecreëerd. Vrijestroomturbines kunnen net onder het wateroppervlak, of diep onder water worden geplaatst. De natuurlijke stroomsnelheden in Nederland (1-2 m/s) corresponderen met een equivalente valhoogte van 5-20 cm. Door waterconcentratie kan de stroomsnelheid worden opgevoerd tot circa 5 m/s, waarmee een equivalente valhoogte van ruim 1 meter wordt gerealiseerd.

### *Investeringskosten*

De investeringskosten voor getijdencentrales worden net als bij KWK-centrales bepaald door turbinekosten en kosten voor faciliterende infrastructuur.

### *Onderhouds- en bedrijfskosten, vollasturen*

Er is nog weinig ervaring met O&M-kosten voor getijdencentrales. In lijn met (ESHA, 2005) en (Boronowski, 2008) wordt 2% van de investeringskosten voor de turbines aangenomen als jaarlijkse O&M-kosten. Daarmee komen per kW de O&M-kosten een fractie hoger uit dan bij KWK. Op basis van beschikbare projectgegevens heeft Entry Technology per project de gemiddelde jaarlijkse vollasturen geschat. Deze variëren, per project, van 2000 tot 3500 uur.

Tabel 2 *Technisch-economische parameters getijdenenergie*

		Getijdenenergie
Geïnstalleerd vermogen	[kW]	650
Investeringskosten	[€/kW <sub>e</sub> ]	4000
Bedrijfstijd/vollasturen	[Uren/jr]	3500
Vaste O&M-kosten	[€/kW <sub>e</sub> ]	66,5

## 5. Financieel-economische parameters

Er heeft geen consultatie plaats gevonden over de financiering van waterkrachtprojecten. Het betreft echter bestaande en bewezen technologie. Projectparameters, ofschoon van project tot project verschillend, zijn goed te beoordelen. Het aandeel eigen vermogen is aangenomen op 20%. Waterkracht komt generiek in aanmerking voor een groenverklaring, daarom is uitgegaan van 5% rente op vreemd vermogen. EIA kan verkregen worden op een deel van de installatie: turbine, transmissie, generator, transformator en aansluiting op het elektriciteitsnet.

## CONCEPT

Op aanwijzing van het ministerie van Economische Zaken zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- een economische levensduur van 30 jaar;
- een lening met een looptijd van 30 jaar;
- een afschrijvingstermijn van 30 jaar.

Het ministerie heeft hiervoor gekozen, omdat waterkrachtprojecten in de praktijk een zeer lange levensduur blijken te hebben, waardoor zij verschillen van de andere categorieën duurzame energie.

Tabel 3 *Financieel-economische berekeningsaannames waterkracht en getijdenenergie*

	Equity share	Rente	Return on equity	Project return (WACC)	Looptijd lening en afschrijvings- termijn [jaar]	Economische levensduur [jaar]	Indexatie variabele kosten	Vennootschapsbelasting	Groenfinanciering	EIA [t.o.v. gehele investering]
Waterkracht, valhoogte < 5 m	20%	5%	15%	6,0%	30	30	2%	25,5%	●	41%
Waterkracht, valhoogte ≥ 5 m	20%	5%	15%	6,0%	30	30	2%	25,5%	●	70%
Getijdenenergie	20%	5%	15%	6,0%	30	30	2%	25,5%	●	100%

## 6. Basisbedragen

### 6.1 Kleinschalige waterkracht

Het potentieel om in Nederland op korte termijn waterkrachtcentrales te realiseren is klein. De productiekosten zijn voor de meest concrete initiatieven onderzocht. Naarmate het vermogen van het project groter wordt, nemen de turbinekosten en de kosten voor additionele infrastructuur af.

Voor ca. 6 MW is op korte termijn waterkrachtpotentieel aanwezig dat lage productiekosten kent door de grote valhoogte en beperkte aanpassing aan de faciliterende infrastructuur. Het productiekosten liggen op 7,0 €/kWh. Hierbovenop komen transactiekosten (0,09 €/kWh) en een basisprijspremie<sup>1</sup> (0,15 €/kWh). Projecten met een voor Nederland gebruikelijkere valhoogte kennen productiekosten variërend van 12 tot 18 €/kWh. Tot ca. 20 MW is op korte termijn potentieel beschikbaar met productiekosten van 12,2 €/kWh. Hierbovenop komen transactiekosten (0,09 €/kWh) en een basisprijspremie (0,25 €/kWh).

Het basisbedrag voor waterkrachtprojecten met een valhoogte hoger dan 5 meter wordt geadviseerd op 7,3 €/kWh. Het basisbedrag voor waterkrachtprojecten met een (equivalente) valhoogte minder dan 5 meter wordt geadviseerd op 12,5 €/kWh.

<sup>1</sup> Bij een basisbedrag van circa 7 €/kWh is de kans dat de elektriciteitsprijs boven het basisbedrag uitkomt groter, dan bij een basisbedrag van van 12,5 €/kWh. Daarom valt de basisprijspremie in het eerstgenoemde geval lager uit.

## 6.2 Getijdenenergie

Het goedkoopste potentieel aan getijdenenergie kent productiekosten van 12,7 €/kWh. Hiermee kan ca. 65 MW worden gerealiseerd. Het project bestaat uit vele kleine turbines met een individueel vermogen van minder dan 1 MW. De overige projecten betreffen vrije stroomturbines in diverse kunstwerken.

De turbines zijn kleiner, en duurder, dan bij KWK-centrales; de kosten voor faciliterende infrastructuur daarentegen zijn lager. De equivalente valhoogte varieert van 0,2 tot 1,5 meter, en is daarmee lager dan de typische valhoogte bij KWK-centrales in Nederland. De productiekosten variëren, afhankelijk van het project, van 22 €/kWh tot 37 €/kWh. Naarmate meer turbines in een project kunnen worden gerealiseerd, dalen de productiekosten enigszins.

Het in deze notitie berekende basisbedrag gaat uit van benutting van een potentieel aan getijdenenergie tot 65 MW. De productiekosten bedragen 12,7 €/kWh. Met transactiekosten à 0,09 €/kWh en een basisprijspremie van 0,25 €/kWh, komt het geadviseerde basisbedrag uit op 13,0 €/kWh.

Tabel 4 *Opbouw basisbedragen voor waterkracht en getijdenenergie*

	Subsidieduur [jaren]	Productiekosten [€/kWh]	Transactiekosten [€/kWh]	Basisprijspremie [€/kWh]	<b>Basisbedrag [€/kWh]</b>
Waterkracht, valhoogte < 5 m	15	12,20	0,09	0,25	<b>12,5</b>
Waterkracht, valhoogte ≥ 5 m	15	7,04	0,09	0,15	<b>7,3</b>
Getijdenenergie	15	12,66	0,09	0,25	<b>13,0</b>

## 7. Conclusie

Geen waterkrachtproject is hetzelfde. Er bestaan grote verschillen in kostenstructuur tussen projecten. Het vermogen van de installatie en de valhoogte zijn belangrijke determinanten in de productiekosten. Kwalitatief zou een kostencurve voor waterkracht, van laag naar hoog basisbedrag, als volgt kunnen worden opgebouwd: KWK met grote valhoogte, KWK met gemiddelde valhoogte, getijdencentrales op basis van valhoogte, en getijdencentrales op basis van vrijestroomturbines. Bij grotere committeringen zou deze indeling als basis kunnen dienen voor categorie-indeling. Dit neemt niet weg dat ook binnen deze categorieën de spreiding in productiekosten groot kan zijn.

Geadviseerd wordt voor projecten die in 2009 of 2010 in productie gaan, een basisbedrag vast te stellen van 12,5 €/kWh. De categorie kan bestaan uit waterkracht- en getijdencentrales. Voor projecten met een equivalente valhoogte groter dan 5 meter wordt een basisbedrag van 7,3 €/kWh geadviseerd.

## Referenties

Berkel, J. van (2008): *Potentieel en kosten van waterkracht in Nederland*. Entry Technology, 2008.

Beurskens. L,W,M. E.J.W. van Sambeek (2008): *Kosten duurzame elektriciteit, kleinschalige waterkracht* ECN-C-03-074/G.

Borornowski et al (2008): *The economics of tidal stream power*, 12<sup>th</sup> Congress of the EAAE, 2008.

CBS (2008): *Duurzame energie in Nederland 2007*. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 2008.

ESHA (2005): *State of the art of small hydropower in EU25*, Brussels 2005.

European Commission (2005): Splash project, Altener programme, *Guidelines for micro hydropower development*.

Tilburg, X. van et.al (2008): *Technisch-economische parameters van duurzame energie opties in 2009-2010. Eindadvies basisbedragen voor de SDE regeling*. ECN-E-08-090.