



Waterkracht RWZI Apeldoorn en Harderwijk

Haalbaarheidsstudie naar waterkracht op RWZI Apeldoorn en
Harderwijk

Waterschap Veluwe

8 april 2011

Definitief eindrapport

9V9174.A0

Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
+31 (0)24 328 42 84 Telefoon
+31(0)24 323 29 18 Fax
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Waterkracht RWZI Apeldoorn en Harderwijk
Haalbaarheidsstudie naar waterkracht op RWZI
Apeldoorn en Harderwijk
Verkorte documenttitel Waterkracht Apeldoorn en Harderwijk
Status Definitief eindrapport
Datum 8 april 2011
Projectnaam Renewable energy
Projectnummer 9V9174.A0
Opdrachtgever Waterschap Veluwe
Referentie 9V9174.A0/R0003/Nijm

Auteur(s) Ir. T. van der Noortgaete, Ing. B. ten Bosch
Ing. B. Hulstein, Ir. W. van Betuw
Collegiale toets Ir. W. van Betuw
Datum/paraaf 8 april 2011
Vrijgegeven door Ing. A.J. Bakker
Datum/paraaf 8 april 2011




INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Doelstelling	2
2	UITGANGSPUNTEN	3
2.1	Gegevens	3
2.2	Kostenberekeningen en tijdshorizon	3
2.3	Randvoorwaarden	4
3	WATERKRACHT TECHNIEKEN	5
3.1	Energiepotentieel van een waterkrachtcentrale	5
3.2	Vijzelgenerator	6
3.3	Waterrad	8
3.3.1	Bovenslaand waterrad	8
3.3.2	Middenslaand waterrad	9
3.3.3	Onderslaand waterrad	10
3.3.4	Toepassing waterrad	10
3.4	Katamax	11
4	WATERKRACHT OP RWZI APELDOORN	13
4.1	Locatie 1, verdeelwerk aëratietank 1 – nabezinktanks	13
4.1.1	Locatie 1a: Vijzelinstallatie tussen verdeelwerk aëratietank en verdeelwerk vijf of zes	14
4.1.2	Locatie 1b Vijzelinstallatie tussen verdeelwerk aëratietank en één nabezinktank	19
4.1.3	Locatie 1c Één vijzelinstallatie	24
4.1.4	Locatie 1a2: Katamax installatie tussen verdeelwerk aëratietank en verdeelwerk 5 en 6	29
4.2	Locatie 2, nabezinktanks – effluentsloot	32
4.3	Locatie 3, Effluenkanaal – IJssleiding	33
4.4	Ontwerpcapaciteit RWA versus DWA	41
5	UITSPOELING VAN DROOGREST	43
6	WATERKRACHT OP RWZI HARDERWIJK	45
6.1	Inleiding	45
6.2	Locatie 1, nieuwe aëratietank – oude aëratietank	45
6.2.1	Locatie 1, vijzelturbine	46
6.2.2	Scenario 2, waterrad	52
6.3	Locatie 2, effluentgoot – Veluwemeer	53
7	VERKENNING SUBSIDIEMOGELIJKHEDEN OVERHEDEN	55
7.1	Gemeente Apeldoorn	55
7.2	Gemeente Harderwijk	55
7.3	Provincie Gelderland	55
7.4	Lease constructie	56

8	CONCLUSIE HAALBAARHEID WATERKRACHT	57
8.1	Haalbaarheid op RWZI Apeldoorn	57
8.2	Haalbaarheid op RWZI Harderwijk	57
8.3	Subsidiemogelijkheden	57
8.4	Imagoverbetering Waterschap Veluwe	58

BIJLAGEN

Bijlage 1	Beschouwing voor AgentschapNL
-----------	-------------------------------

1 INLEIDING

Waterschap Veluwe verkent momenteel de mogelijkheden van energiebesparingen in de afvalwaterketen. In het MJA3 zijn zekere en onzekere energiebesparende maatregelen opgenomen. Naast energiebesparing is het waterschap voornemens om mogelijkheden voor het produceren/opwekken van energie te verkennen, 'renewable energy'. Eén van de mogelijkheden van energieopwekking is energie uit waterkracht. De belangrijke criteria van waterkracht zijn het verval (verschil in hoogte) en stroming (het debiet). Turbines of vijzels zetten de waterkracht om in elektriciteit. De elektriciteit is geschikt voor hergebruik door de RWZI of levering aan het net. In België wordt op verschillende locaties waterkracht omgezet door middel van vijzels, zie figuur 1.1



Figuur 1.1 Impressie waterkracht door vijzel

Royal Haskoning heeft in eerste instantie een quickscan uitgevoerd naar de potentie van waterkracht op de RWZI Apeldoorn. Op RWZI Apeldoorn bestaat er potentie voor de inzet van waterkracht vanwege het beschikbare verval en debiet uit de afloop van aëratietank 1 naar de nabezinktanks. Door het toepassen van een vijzel zou de waterkracht worden omgezet in energie. Daarnaast bestaat er een verval in de effluentsloot.

Op de RWZI Apeldoorn vindt met enige regelmatig een slibuitspoeling plaats. De jaarlijkse heffing voor deze uitspoeling berekend door Waterschap Veluwe bedraagt circa € 200.000,-. De slibdeeltjes die uitspoelen bestaan uit kleine slibdeeltjes die moeilijk bezinken. Deze kleine deeltjes worden mogelijk veroorzaakt door mechanische beschadiging van grote slibvlokken als gevolg van het verhang tussen de aëratietank en de nabezinktanks. Door toepassing van een vijzel zouden de AT-slibvlokken minder krachten kunnen ondervinden, waardoor de slibvlok mogelijk onbeschadigd blijft en niet in kleine vlokken uiteen valt. Hierdoor behoudt het slib zijn goede bezinkeigenschappen waardoor er minder slib met het effluent zal worden uitgespoeld.

Op de RWZI Harderwijk bestaat er een verval tussen afloop van de nieuwe aëratietank en de oude aëratietank. De hoeveelheid water die via deze route stroomt, bedraagt circa 2/3 van het totale aanvoerdebiet en 2/3 van het slibretourdebiet.

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de haalbaarheidsstudie. In dit rapport wordt inzicht gegeven in de investeringskosten, onderhoudskosten en opbrengsten uit energieproductie. Met name de inpasbaarheid in de bestaande installatie speelt een belangrijke rol bij de benodigde investeringskosten.

De haalbaarheidsstudie wordt mede mogelijk gemaakt door AgentschapNL. Het innovatieve project valt onder het thema Energie en Klimaat. In het kader van subsidieverlening door AgentschapNL zal in de haalbaarheidsstudie een tabel worden opgesteld waarmee voor diverse situaties snel beoordeeld kan worden of een dergelijk concept haalbaar is.

Daarnaast zijn de eerste stappen gezet richting een mogelijk STOWA onderzoek naar de hypothese dat waterkrachttechnieken tussen aëratietank en de nabezinktank mogelijk de goede bezinkeigenschappen van slib kunnen behouden. In dit onderzoek kan de hypothese proefondervindelijk worden onderzocht. Het vervolgproject zou als STOWA project kunnen worden ingediend begin mei.

1.1 Doelstelling

Het projectdoel is inzicht verschaffen in de haalbaarheid van waterkracht op RWZI Apeldoorn en Harderwijk onder andere door toepassing van een vijzel op afloop AT en een waterrad in effluentleiding te Apeldoorn in de geselecteerde locaties. Daarnaast is de doelstelling om een tabel te ontwikkelen waarmee eenvoudig kan worden vastgesteld of waterkracht met behulp van een vijzelturbine een potentie heeft voor een bepaalde locatie.

2 UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk zijn de uitgangspunten van de haalbaarheidsstudie beschreven.

2.1 Gegevens

De volgende aangeleverde gegevens zijn gehanteerd als uitgangspunt van deze studie:

- debietreeksen van RWZI Apeldoorn van 27 september 2009 tot 27 september 2010 over de AT 1 en in de effluentsloot;
- debietreeksen van RWZI Harderwijk van 24 september 2009 tot 24 september 2010 over oude AT;
- tekeningen van het hydraulisch profiel, lay-out, ligging van leidingen en diverse dwarsdoorsneden,
- aansluitlocaties elektriciteit;

Debietreeksen

De debietreeksen zijn aangeleverd in m³/d. Echter voor de berekening van de energiepotentie dient het debiet in m³/h bekend te zijn. Daarom is in overleg met het waterschap een inschatting gemaakt van het debiet in m³/h. Hierbij is het uitgangspunt gehanteerd dat vier uur van de dag er geen aanvoer is, maar wel slibretourdebiet. Dit impliceert dat voor de overige uren het uurdebiet voor de waterkrachtcentrale overeenkomt met het dagdebiet m³/d gedeeld door twintig uur.

Energieopwekking in relatie tot CO₂ uitstoot

Er wordt voor alle scenario's van uitgegaan dat de opgewekte energie door de zuivering wordt geleverd aan de RWZI. Het waterschap koopt per 1 januari 2011 elektriciteit in, in de vorm van Waterkracht. Door het inkopen zal het toepassen van een WKC (binnen de grenzen van Waterschap Veluwe) niet tot een CO₂ emissie reductie leiden. Immers alle kWh's die het waterschap, door opwekking van de WKC, niet inkoop zijn namelijk ook van het type waterkracht.

Het is natuurlijk wel zo dat er door de WKC op Apeldoorn meer kWh's (waterkracht) geproduceerd worden. Dit zal ook tot gevolg hebben dat er (buiten de grenzen van Waterschap Veluwe) evenveel minder kWh's grijze stroom opgewekt hoeft te worden voor andere gebruikers. Derhalve zijn de volgende emissieconversies gehanteerd:

- de emissie factor grijze stroom is 0,67 kg CO₂/kWh
- de emissie factor voor waterkracht is 0,03 kg CO₂/kWh
- de CO₂ emissie reductie is dan 0,64 kg CO₂/kWh

2.2 Kostenberekeningen en tijdshorizon

In deze haalbaarheidsstudie zijn de investeringskosten van de waterkrachtcentrales inzichtelijk gemaakt. De investeringskosten zijn bepaald op basis van kengetallen van reeds gerealiseerde waterkrachtinstallaties. Daarnaast zijn locatiespecifieke omstandigheden meegenomen in het bepalen van Civiele en Elektrotechnische kosten. In de kostenberekening is uitgegaan van de volgende posten:

- 15% onvoorzien;
- 10% inrichtingskosten;
- 19,5% BTW.

Terugverdientijd (TVT)

De terugverdientijd is berekend met behulp van de Netto Contante Waarde methodiek zoals beschreven op de website van AgentschapNL. Hierbij is een discontovoet gehanteerd van 4%. Tevens zijn de onderhoudskosten naar verwachting circa € 500,- per jaar. De energieopbrengsten zijn berekend met een tarief van 0,125 en 0,15 €/kWh.

Waterschap Veluwe heeft aangegeven, dat een centrale haalbaar wordt geacht als de TVT korter is dan 20 jaar.

De ontwerp- en realisatietijd van de waterkrachtcentrale zoals die is gerealiseerd bij de Hezenbergerstuw voor het Waterschap Veluwe bedroeg acht maanden. In het eerste jaar van investeren is daarom slechts een opbrengst mogelijk gedurende vier maanden. Tenslotte wordt hierbij uitgegaan dat er geen onderhoudskosten zijn in het eerste jaar.

2.3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden die gesteld worden aan de WKC zijn de volgende:

- de WKC installatie en overstortvoorzieningen dienen over voldoende hydraulisch capaciteit te beschikken, zodat het proces ongehinderd kan plaatsvinden;
- de installatie mag het zuiveringsproces niet verstoren. In dit kader dient de verdeling van het afvalwater over de nabezinktanks te worden gehandhaafd;
- elementen van de WKC die onderhoud vergen dienen bereikbaar / toegankelijk te zijn;
- de WKC dient buitengebruik te kunnen worden gesteld;
- de elektrotechnische aansluiting/levering van energie zal op het RWZI terrein plaatsvinden;
- de installatie dient CE-gemarkeerd te zijn en ARBO technisch verantwoord worden bedreven. Voor Apeldoorn moet de installatie ook worden opgenomen in de totale CE-markering van de RWZI;
- de installatie mag geen geluidsoverlast veroorzaken, de verwachting is dat de WKC voor een geluidsreductie zal zorgen, aangezien het water niet meer valt maar geleidelijk zakt.
- de WKC dient zo te zijn gefundeerd en aangesloten te zijn, dat een kleine verzakking te verdragen is.

3 WATERKRACHT TECHNIEKEN

Dit hoofdstuk geeft een theoretische toelichting ten aanzien van verschillende types waterkrachtcentrales. In eerste instantie komt het theoretische principe van energieopwekking bij waterkracht aanbod. Achtereenvolgens zijn drie types waterkrachtcentrales beschreven voor kleinschalige toepassingen, te weten een vijzelgenerator, een waterrad en een Katamax installatie.

3.1 Energiepotentieel van een waterkrachtcentrale

Er zijn twee verschillende methodes om energie te generen met behulp van een waterkrachtcentrale. Men maakt onderscheid tussen potentiële energie en kinetische energie.

Potentiële energie berust op het principe de zwaartekracht. Wanneer water van hoog naar laag stroomt, bevat het een bepaalde hoeveelheid aan energie. Er zijn een aantal factoren waarmee je de potentiële energie van water mee kunt berekenen:

- massa van het water (ρ , in kg/m^3);
- hoeveelheid water (Q , debiet in m^3/s);
- hoogteverschil dat het water aflegt (H , in meters);
- valversnelling (gravitatie, g , in m/s^2 , ca. 9,81).

Met deze gegevens is de potentiële energie van het water te berekenen middels de volgende vergelijking:

$$\text{Potentiële gravitatie energie (W)} = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g$$

Kinetische energie is de energie die een bepaalde massa bij een bepaalde snelheid heeft. Er zijn een aantal factoren waarmee je de kinetische energie van het water kunt berekenen:

- massa van het water (ρ , in kg/m^3);
- snelheid van het water (v , in m/s);
- oppervlak van het doorstroomprofiel (A , in m^2).

Met deze gegevens is de kinetische energie van het water te berekenen, middels de volgende formule.

$$\text{Kinetisch energie (W)} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Bepaling van de energieproductie

Het theoretische potentieel, E_{th} , is de maximale hoeveelheid energie die op jaarbasis op een locatie beschikbaar is. Deze energie is gelijk aan het verlies aan potentiële energie van de waterstroom:

$$E_{th} = \int_0^T P(t) \cdot dt \quad (\text{in Wh})$$

In deze formule is $P(t)$ het vermogen in kW op een bepaald tijdstip en T het aantal uren in een beschouwde tijdperiode (bijvoorbeeld voor een jaar is $T = 8.760$ uren). Het theoretische potentieel van een locatie, E_{th} , is dus het product van vermogen en tijd.

Om de werkelijke energieopbrengst te bepalen dient nog rekening gehouden te worden met de effectieve draaiuren en het rendement van de centrale.

3.2 Vijzelgenerator

Vijzelgeneratoren zijn bijzonder geschikt voor kleine waterkrachtinstallaties met een klein verval en laag debiet. Het robuuste systeem genereert een totaalrendement dat gelijkwaardig is aan conventionele turbines die gebruikt worden voor hogere vermogens. Dit in tegenstelling tot waterraderen die, voor hetzelfde toepassingsgebied, een lager totaalrendement hebben. Bovendien behoudt het systeem deze hoge efficiëntie bij deellast condities. Hierbij zijn dure maatregelen zoals verstelbare rotor- en statorschoepen die bij turbines worden toegepast niet noodzakelijk. Zo kan de schroef steeds gedimensioneerd worden voor een hoog vermogen, waarbij ook een lager debietaanbod met hoge efficiëntie wordt omgezet tot elektriciteit.

De vijzelgenerator is een volumetrische machine waarvan de principewerking verschilt van een turbine. De schroef roteert door de kracht van het water op de materiële delen ten gevolge van de zwaartekracht. De schroef is immers hellend opgesteld. Het water zit dus als het ware gevangen in bakjes gevormd tussen twee schroefbladen en mantel. Het gewicht in elk individueel bakje zorgt voor de aandrijving van de schroef. Dit in tegenstelling tot een turbomachine waarbij de kracht (liftkracht, zoals bij een vliegtuig) opgewekt wordt door richtingsverandering in een stroming.

De schroefmotor bestaat meestal uit een vaste, gesloten of halfopen buitencilinder waarin een binnencilinder met schroefbladen verdraait. Een belangrijk voordeel is dat een deel van het gewicht van het water - de normale component, deze component draagt niet bij tot de rotatie van de schroef - opgevangen wordt door de mantel. Een nadeel is dat water kan lekken tussen de schroef en mantel wat het rendement licht doet dalen. Vandaar dat ook uitvoeringen op de markt zijn waarbij mantel en schroef als een geheel verdraaien (hier wordt dan wel weer het gehele gewicht van het water gedragen door de lagers).

Samengevat, heeft de vijzelgenerator ten opzichte van turbines een aantal voordelen:

- een hoog totaalrendement in vergelijking met turbines en waterraderen voor een kleinschalig toepassingsgebied;
- hoog rendement bij deellastwerking (platte, stabiele efficiëntiegradiënt);
- robuust systeem: eenvoudige opstelling, lage onderhoudskosten (slijtageongevoelig en storingsvrij);
- geen complexe controlesystemen vereist: de vijzel past zich automatisch aan op de leveringsfrequentie en de wateraanvoer;
- weinig Civiele werkzaamheden nodig en daardoor een economisch gunstige keuze.

De belangrijkste onderdelen van de vijzelgenerator zijn:

- de vijzel;
- de tandwielkast;
- de generator;
- de omvormer.

Het rendement van de vijzel

Het rendement van de vijzel bestaat uit een hydraulisch en een mechanisch rendement. Hierbij is vooral het hydraulische rendement afhankelijk van de capaciteit. Het rendement van de vijzel (water tot asvermogen) is ongeveer 90%.

Rendement van de tandwielkast

Het toerental van de vijzel is erg laag. Om energie te kunnen opwekken dient het toerental tot een gangbaar toerental te worden opgevoerd, een toerental van de asynchrone machine dicht bij het toerental overeenkomstig met 50 Hz. Het rendement van een tandwielkast (in dit geval een versnellingskast) varieert enigszins met het overgebrachte vermogen. Als indicatie zou een rendement van 95% kunnen worden aangehouden.

Rendement van de generator

Als generator wordt uitgegaan van een asynchrone machine. Het rendement van een asynchrone machine varieert over de vermogenslijn niet veel en ligt rond de 95%.

Rendement omvormer

Om de uitgangsfrequentie te krijgen tot een voor het net acceptabele constante waarde van 50 Hz, zal een omvormer dienen te worden toegepast. Het verlies over de omvormer zal vrij stabiel zijn en om en nabij de 3% liggen.

Totaalrendement

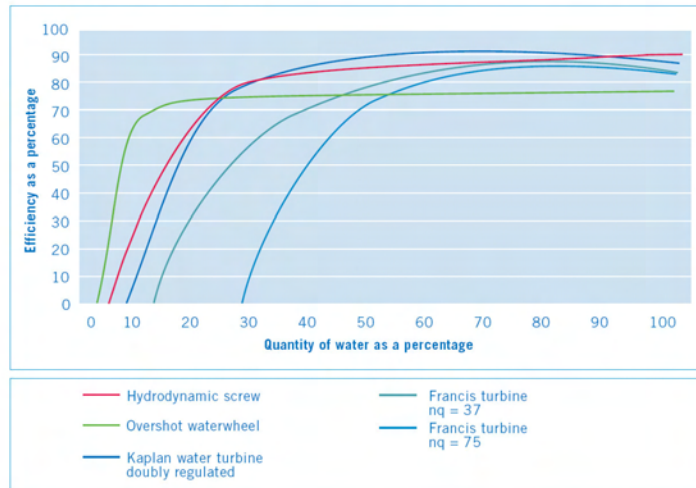
Het product van het hydraulisch rendement, het rendement van de tandwielkast, de generator en de omvormer, geeft het totaalrendement. Het maximale totale rendement η_t bedraagt 77%. De rendementscurve van een vijzelgenerator is gegeven in onderstaand figuur 3.1.

Debietregeling

Op de inlaat van de vijzel zitten sensoren die verbonden zijn met de 'inlaat' schuif. Dit systeem kan het te verwerken debiet zelf reguleren.

Efficiency of the hydrodynamic screw

Expert report by the Kaiserslautern University of Applied Science to determine the efficiency



Figuur 3.1 Rendement vijzel (rode lijn) en waterrad (groene lijn) als functie van de dimensieloze capaciteit (bron: Atro-Ritz)

3.3 Waterrad

Er zijn twee verschillende type waterraderen te onderscheiden:

- cellenrad;
- schoepenrad.

Het cellenrad is een waterrad waarbij zich cellen (bakjes) bevinden aan de buitenkant van het waterrad. Een schoepenrad is een waterrad waarbij zich schoepen bevinden aan de buitenkant van het waterrad.

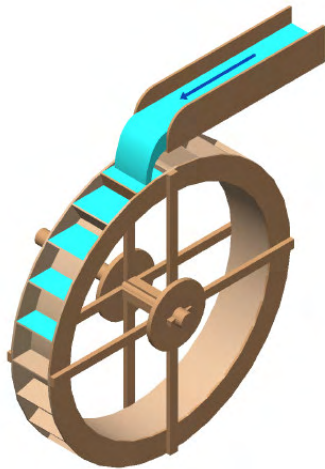
Ook zijn er verschillende manieren waarop het water over een waterrad kan stromen. De drie verschillende stromen zijn als volgt:

- bovenslaand waterrad;
- middenslaand waterrad;
- onderslaand waterrad.

Deze verschillende stromingen op het waterrad hebben een eigen werking en gebruik van energie.

3.3.1 Bovenslaand waterrad

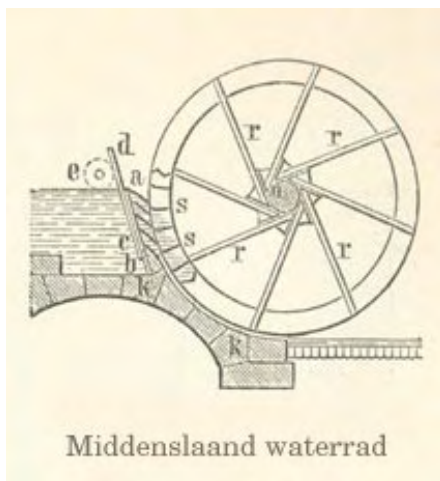
Het bovenslaand waterrad is een waterrad waarbij het water bovenop het rad valt. Hierdoor gaat het rad draaien en kan er energie opgewekt worden. Dit waterrad is opgebouwd uit cellen (bakjes) en maakt gebruik van potentiële energie.



Figuur 3.2 *Bovenslaand waterrad*

3.3.2 Middenslaand waterrad

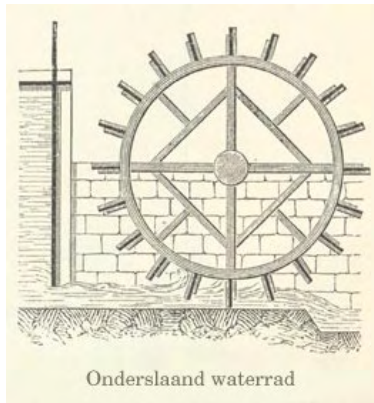
Het middenslaand waterrad is een waterrad waarbij het water ter hoogte van het midden van het waterrad in aanraking komt met het waterrad. Dit type waterrad maakt gebruik van potentiële energie en deels van kinetische energie. Dit type kan als cellenrad en als schoepenrad uitgevoerd worden. Een middenslaand cellenrad wordt ook wel een terugslaand waterrad genoemd. Het middenslaand cellenrad wordt het zelfde uitgevoerd als een bovenslaand waterrad, maar draait in tegenovergestelde richting. De overgang tussen middenslaand en onderslaand is vloeiend. Een onderslaand waterrad kan ook op ashoogte gevoed worden met water.



Figuur 3.3 *Middenslaand waterrad*

3.3.3 Onderslaand waterrad

Een onderslaand waterrad is een waterrad waarbij het water onder het waterrad doorstroomd.



Figuur 3.4 **Onderslaand waterrad**

Bij onderslaande waterraderen stroomt het water onder het rad door een groef heen. De groef is een leiding die aan het rad aangepast is. Ze verhindert dat water onder en zijdelings langs de schoepen stroomt, zonder deze aan te drijven. De krachtoverbrenging gebeurt over schoepen, men spreekt daarom over schoepenraden. In hun eenvoudigste vorm bestaan de schoepen uit een houten plan, betere rendementen worden echter met speciaal gebogen plaatijzeren schoepen behaalde. Het rad wordt voor een belangrijk deel door de kinetische energie van het eronder stromende water aangedreven, maar ook bij onderslaande raderen is het verval en daarmee de zwaartekrachtenergie bepalend voor de werkprestatie.

3.3.4 Toepassing waterrad

Een waterrad is ten opzichten van een vijzelturbine niet zo efficiënt. Het rendement van een waterrad ligt veel lager. Het voordeel van een waterrad is dat de Werktuigbouwkundige installatiekosten lager zijn dan die van een vijzelturbine. Daar tegenover staat dat een waterrad moeilijk inpasbaar is, waardoor de Civieltechnische kosten weer relatief hoog zouden worden. Tenslotte is in veel gevallen de energetische opbrengst van een waterrad zo laag dat een dergelijk systeem niet financieel rendabel is.

Een waterrad is beter inzetbaar bij hogere stroomsnelheden. Hiervoor is een klein doorstromend oppervlak en hoog debiet essentieel. Afhankelijk van het verval zijn verschillende waterraderen voorhanden. Zo zijn bovenslagraderen en middenslagraderen het best inzetbaar voor vervallen $> 2,5$ m. De keuze tussen beide hangt af van het verval, rendement (een bovenslagrad heeft een hoger rendement dan een middenslagrad) en diametergrootte. Vervolgens zijn onderslagraderen inzetbaar voor lage vervallen (vanaf 1 m). Een onderslagrad levert energie op basis van kinetische energie.

Het rendement van een waterrad

De rendementscurve van een waterrad is gegeven als groene lijn in figuur 3.1. Uit de figuur blijkt dat het theoretische rendement veel lager is dan dat van een vijzelgenerator of een Katamax. Het maximale machinerendement van een bovenslag rad bedraagt circa 75%. Het totale rendement is slechts 64%, bij verwerking van het ontwerpdebiet. Het rendement van een onderslagrad is veel lager.

Het totale rendement van een onderslagrad bedraagt circa 29%. Voor het scenario op de RWZI Harderwijk is een onderslagrad van toepassing.

3.4 Katamax

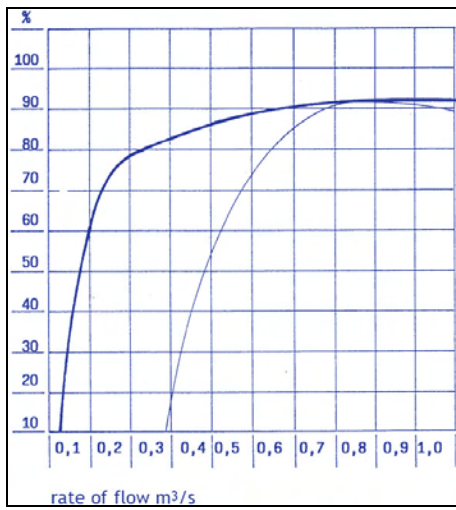
De Katamax is een waterkracht-technologie die nog in ontwikkeling is. Momenteel wordt op slechts één locatie in Duitsland een waterkrachtcentrale met een Katamax systeem geïnstalleerd. De Katamax produceert energie op basis van potentiële energie. Een voorbeeld van een Katamax installatie is afgebeeld in figuur 3.5. Het systeem wordt tegenwoordig uitgevoerd met een rubberen band met 'bakjes', zodat minder slijtage optreedt en onderhoud wordt beperkt.



Figuur 3.5 Katamax.

Rendement van Katamax

Een Katamax heeft een gunstiger machinerendement ten opzichte van de vijzelturbine en zoals eerder besproken een waterrad. In onderstaand figuur is de rendementscurve gegeven van een Katamax installatie. Het maximale machinerendement bedraagt circa 92%. Het totale rendement van het Katamax systeem bedraagt 80%, indien het ontwerpdebiet wordt verwerkt. Bovendien heeft het systeem het bijkomende voordeel dat het minder ruimte inneemt. Het apparaat is zo gebouwd dat het gemakkelijk 'op maat' in te passen is in een bestaande put. De Civieltechnische installatiekosten kunnen zijn daardoor relatief lager (ten opzichte van een vijzelturbine).



Figuur 3.6 Rendement Katamax als functie van de capaciteit (bron: MAX-tec Wasserkraft AG)

4 WATERKRACHT OP RWZI APELDOORN

In dit hoofdstuk is de technische en financiële uitwerking van waterkracht op RWZI Apeldoorn beschreven. Op de RWZI Apeldoorn zijn een aantal locaties geïnspecteerd. Hierbij is niet alleen naar de mogelijkheid tot het plaatsen van een vijzelturbine gekeken, maar ook naar de toepassing van een Katamax.

Op de locaties is de optimale ontwerpcapaciteit het DWA-debiet. Een vijzel kan echter 2 x DWA verwerken. Voor het resterende afvalwater bij RWA-aanvoer, is een overstortvoorziening opgenomen. Hierbij is de randvoorwaarde gehanteerd dat de capaciteit van de overstortvoorziening voldoende is voor het gehele RWA-debiet. Indien de waterkrachtcentrale niet in gebruik is, ontstaan hierdoor geen problemen. Een Katamax kan slechts zijn ontwerpdebiet aan, bij een verdere toename van het debiet zal de installatie uitschakelen.

Op de RWZI Apeldoorn zijn een drietal locaties geselecteerd:

- locatie 1: benutten hydraulisch verval (statisch) tussen de aëratietank 1 (verdeelwerk) en de nabezinktanks;
- locatie 2: benutten van hydraulisch verval (statisch) tussen hooggelegen nabezinktanks en de effluentsloot;
- locatie 3: benutten van hydraulisch verval (statisch) tussen effluentsloot en de IJssel leiding.

4.1 Locatie 1, verdeelwerk aëratietank 1 – nabezinktanks

De eerste locatie op RWZI Apeldoorn is het verval tussen het verdeelwerk van de aëratietank 1 en de vijf nabezinktanks (zie figuur 4.1). Het verdeelwerk bestaat uit drie putten vanwaar drie leidingen het afvalwater afvoeren naar enerzijds twee verdeelwerken (5 en 6) voor twee nabezinktanks en anderzijds naar één nabezinktank. Tussen de aëratietank en het verdeelwerk vijf en zes is een verval aanwezig van 1,4 m. Tussen aëratietank 1 en nabezinktank vijf is een verval van 1,9 m aanwezig. Bij de andere aëratietank op de zuivering bestaat slechts en beperkt verval tussen de aëratietank en nabezinktanks.

De resultaten gepresenteerd in de allereerste quick-scan berekening (voorafgaand aan de offerte) zijn te optimistisch. Er zijn een aantal optimistische aannames gedaan, waardoor de verwachte opbrengst veel hoger werd ingeschat dan in werkelijkheid mogelijk is. De belangrijkste discrepanties zijn:

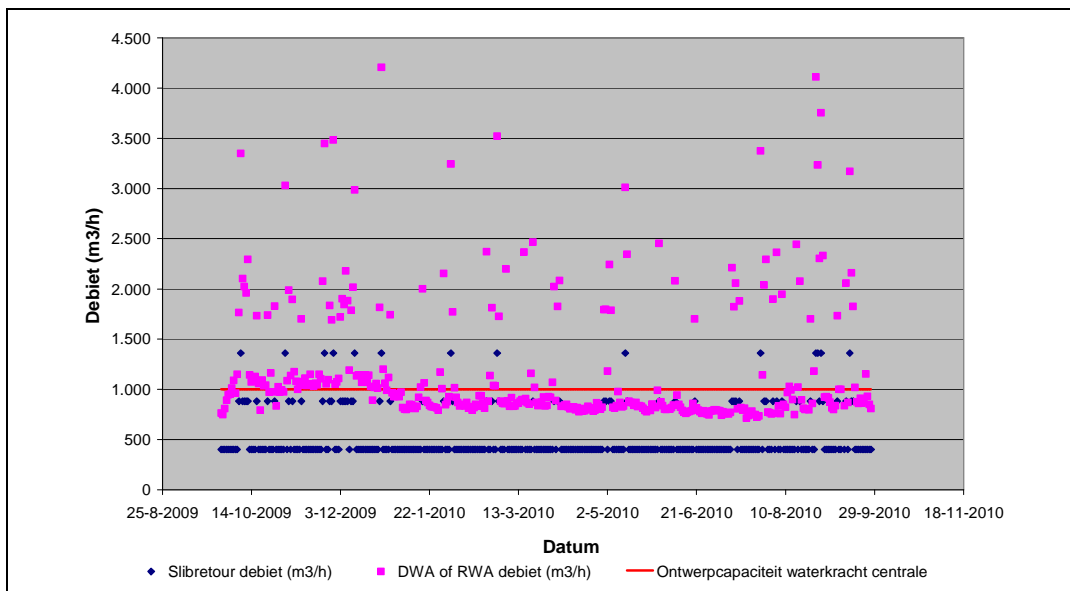
- er is meer voordruk nodig om het water in de nabezinktanks te krijgen. Er is destijds een verval gehanteerd van 4 m hoogte verschil, maar dit is in werkelijkheid veel lager;
- tevens is de opbrengst op grond van een zo laag mogelijk investeringsbedrag, gerekend met één vijzel die het RWA-debiet behandelt. Hierbij is geen rekening gehouden met de juiste frequentie/tijdsverdeling tussen DWA en RWA;
- daarnaast zijn in de quick-scan van de investeringskosten nog geen verdeelwerk, en Civiele kosten opgenomen, omdat dit onder detailuitwerking valt;
- tenslotte is de terugverdientijd op eenvoudige wijze berekend, in plaats van de economisch juiste methodiek met de Netto Contante Waarde, zoals die nu wel is toegepast.



Figuur 4.1 Aanzicht verdeelwerk aan aëratietank 1

4.1.1 Locatie 1a: Vijzelinstallatie tussen verdeelwerk aëratietank en verdeelwerk vijf of zes

De hoeveelheid afvalwater dat tussen de aëratietank en het verdeelwerk voor de nabezinktanks stroomt, varieert van 400 tot 4.100 m³/h. Hierbij is 400 m³/h de situatie waarbij geen aanvoer aanwezig is, maar alleen het slibretourdebiet stroomt. In onderstaand figuur 4.2 is het debiet gepresenteerd gedurende 27 september 2009 tot 27 september 2010. Uit de figuur blijkt dat een ontwerpcapaciteit van 1.000 m³/h (maximaal tot 2.000 m³/h) een groot aantal voorkomende debieten kan verwerken.



Figuur 4.2 Debiet van aëratietank naar verdeelwerk vijf en zes

Concept ontwerp

In tabel 4.1 zijn de ontwerpkenmerken gegeven voor locatie 1a. De maximale capaciteit is twee keer zo hoog. Voor de inlaat van de vijzel zit een geautomatiseerde klep die op basis van de waterstand bepaald hoeveel water er via de vijzel zal stromen. Het verval over de vijzel is gedimensioneerd op 1,4 meter, waarbij rekening is gehouden met opstuwende waterstand in de overstortput bij RWA en stromingsweerstand in de leidingen. Het verval over de vijzel wordt gecreëerd door in de put een overstortrand te creëren. Het waterniveau zal hierdoor altijd het DWA-niveau aanhouden. Het vermogen van de generator bedraagt 2,9 kW. De energieopbrengst van de vijzel bedraagt circa 21.152 kWh per jaar. Een dergelijke opbrengst komt overeen met een CO₂ reductie van veertien ton per jaar.

Tabel 4.1 Concept ontwerp locatie 1a

Parameter	Eenheid	Waarde
Aantal vijzels	-	2
Locatie	-	AT - verdeelwerk 5 of 6
Straat	-	1
Verval	m	1,4
DWA per vijzel	m ³ /h	1.000
Ontwerpkenmerken		
Ontwerpvermogen vijzel (P)	kW	2,9
Vijzeldiameter (D)	mm	1.100
Hellingshoek	°	26
Ontwerpcapaciteit (Q)	m ³ /h	1.000
Maximale capaciteit (Q _{max})	m ³ /h	2.000
Resultaat		
Energieopbrengst per jaar per vijzel	kWh/j	21.152
Reductie CO ₂ uitstoot	ton/j	14

Civieltechnische installatie

Hieronder is een korte omschrijving van de Civieltechnische werken/werkzaamheden beschreven:

- maken aansluiting voor het bestaande verdeelwerk met leiding Ø600. Dit is de aanvoerleiding van de vijzel;
- plaatsen spindelschuif voor leiding in verdeelwerk. Dit is een wens van Waterschap Veluwe. Hiermee kan de vijzel in zijn geheel worden verwijderd of afgesloten;
- bestaande overstortrand handhaven, rondom de bestaande aansluiting van de leidingen wordt een scherm geplaatst. Dit zorgt ervoor dat het water bij DWA naar de vijzel gaat en bij RWA een deel overstort naar de bestaande leidingen;
- de fundering van de vijzel wordt uitgevoerd met een stelconplaat en grondverbetering. Het hoge gedeelte van de vijzel zal met een staalconstructie opgevangen worden. Er dienen geen bronningen plaats te vinden bij een verwachte grondwaterstand van 10,1 +NAP;
- in figuur 4.4 en 4.5 is de schetsmatige inpassing van de WKC gepresenteerd. Hierin zijn de dimensies en waterhoogtes gegeven. In elke put wordt de waterstand opgevoerd tot 14.797 +NAP, dit is ook het niveau waarbij de vijzel inwerking treedt. Onderkant vijzel heeft een niveau van 13.397 +NAP.

- De buisvijzel wordt met een verdrongen leiding aan de overstortput gemonteerd, zodat enige flexibiliteit van de constructie wordt verkregen;
- vanuit de vijzel stroomt het afvalwater in een woelbak. De woelbak wordt met een T-stuk verbonden met het bestaande leidingwerk;
 - de diameter van de leiding bedraagt 600 mm.

Werktuigbouwkundige installatie

De optimale vijzel voor deze situatie is een compacte gesloten buisvijzel. Hierdoor worden lekkages en contact van personeel met afvalwater voorkomen.

Elektrotechnische installatie

Voor de Elektrotechnische aansluiting van de waterkrachtcentrale op de RWZI zijn de volgende werkzaamheden/aspecten van toepassing:

- aansluiten op de schakelkast van de retourslibpompen van retourslibgemaal 3;
- kabel tussen vijzel(s) en retourslibgemaal in de grond leggen. Lengte +/- 125 m;
- automatiseringsmaatregelen voor monitoren actueel vermogen en dagtotaal op bestaande installatie.

Investeringskosten

De investeringskosten van de waterkrachtcentrale (middels een vijzelgenerator) voor locatie 1a zijn gegeven in tabel 4.2. De totale investeringskosten bedragen € 123.400,-.

Tabel 4.2 Investeringskosten waterkrachtcentrale locatie 1a (vijzel)

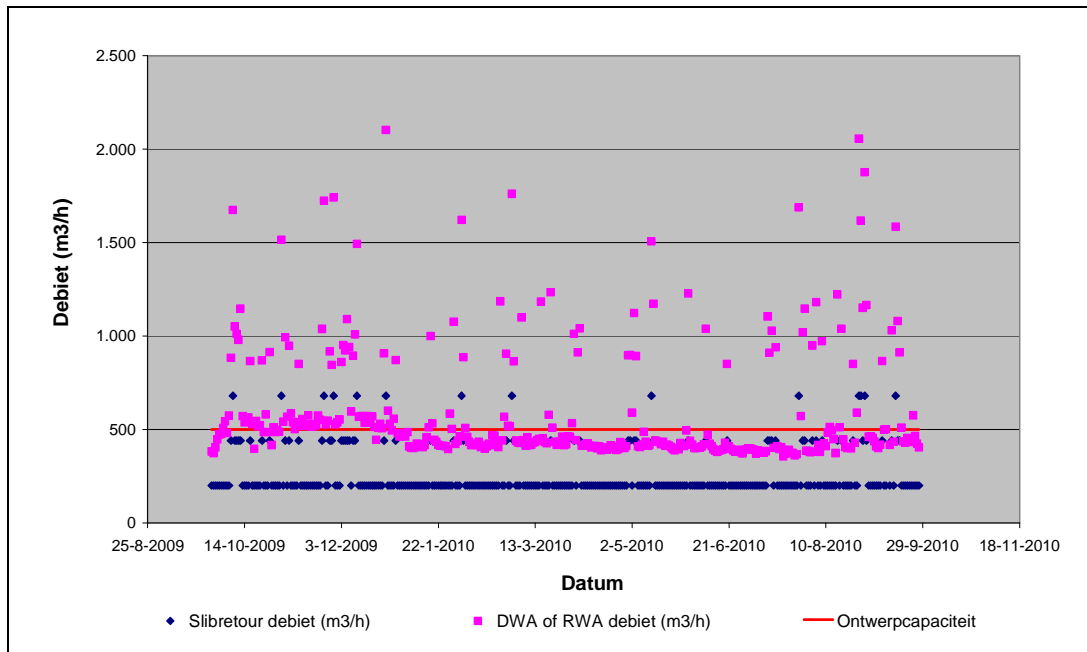
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civiltechnische elementen	€
Leidingwerk Ø6 00	10.000,-
Spindelschuif	5.000,-
Maken nieuwe overstortrand / schot RWA	5.000,-
Fundering vijzel	10.000,-
Aansluiting op bestaande leidingen	10.000,-
Totaal Civiele bouwkosten	40.000,-
Werktuigbouwkundige elementen	
Vijzel 1.000 m ³ /h	33.000,-
Elektrotechnische elementen	8.500,-
Totale bouwkosten	81.500,-
Investeringskosten	
Bouwkosten	81.500,-
Onvoorzien 15%	12.300,-
Inrichtingskosten 10%	9.400,-
BTW 19,5%	20.200,-
Totaal investeringskosten	123.400,-

Terugverdientijd

De resultaten van de Netto Contante Waarde berekening zijn gegeven in tabel 4.3. Hierbij is een elektriciteitsstarief gehanteerd van 0,15 €/kWh. Uit de resultaten blijkt dat de terugverdientijd niet bestaat. De installatie wordt beschouwd als niet financieel haalbaar.

4.1.2 Locatie 1b Vijzelinstallatie tussen verdeelwerk aëratietank en één nabezinktank

De hoeveelheid afvalwater dat tussen de aëratietank en één nabezinktank stroomt, varieert van 200 tot 2.200 m³/h. Hierbij is 200 m³/h de situatie waarbij geen aanvoer aanwezig is, maar alleen het slibretourdebiet stroomt. In onderstaand figuur 4.3 is het debiet gepresenteerd gedurende 27 september 2009 tot 27 september 2010. Uit de figuur blijkt dat een ontwerpcapaciteit van 500 m³/h (maximaal tot 1.000 m³/h) een groot aantal voorkomende debieten kan verwerken.



Figuur 4.3 *Debiet van aëratietank naar één nabezinktank*

Concept ontwerp

In tabel 4.4 zijn de ontwerpkenmerken gegeven voor locatie 1b. Het verval over de vijzel is gedimensioneerd op 1,9 meter, waarbij rekening is gehouden met opstuwende waterstand in de overstortput bij RWA en stromingsweerstand in de leidingen. Het vermogen van de generator bedraagt 2,0 kW. De energieopbrengst van de vijzel bedraagt circa 14.300 kWh per jaar. Een dergelijke energieproductie komt overeen met een CO₂ -emissie reductie van negen ton per jaar.

Tabel 4.4 Concept ontwerp locatie 1b

Parameter	Eenheid	Waarde
Aantal vijzels	-	1
Locatie	-	AT - NBT
Straat	-	1
Verval	m	1,9
DWA per vijzel	m ³ /h	500
Ontwerpkarakteristieken		
Ontwerpvermogen vijzel (P)	kW	2,9
Vijzeldiameter (D)	mm	800
Hellingshoek	°	26
Ontwerpcapaciteit (Q)	m ³ /h	500
Maximale capaciteit (Qmax)	m ³ /h	1.000
Resultaat		
Energieopbrengst per jaar	kWh/j	14.300
Reductie CO ₂ uitstoot	ton/j	9

De meeste Civieltechnische, Werktuigbouwkundige en Elektrotechnische aanpassingen zoals beschreven bij locatie 1a, zijn ook van toepassing in locatie 1b. Hieronder het wezenlijk verschil aan werken/werkzaamheden:

- maken aansluiting voor het bestaande verdeelwerk met leiding Ø500.
- in figuur 4.4 en 4.5 is de schetsmatige inpassing van de WKC gepresenteerd. Hierin zijn de dimensies en waterhoogtes gegeven. In de put wordt de waterstand opgevoerd tot 14,797 +NAP, dit is ook het niveau waarbij de vijzel inwerking treedt. Onderkant vijzel heeft een niveau van 12,897 +NAP.

Investeringskosten

De investeringskosten van de waterkrachtcentrale (middels een vijzelgenerator) voor locatie 1b zijn gegeven in tabel 4.5. De totale investeringskosten bedragen € 115.700,-.

Tabel 4.5 Investeringskosten waterkrachtcentrale locatie 1b (vijzel)

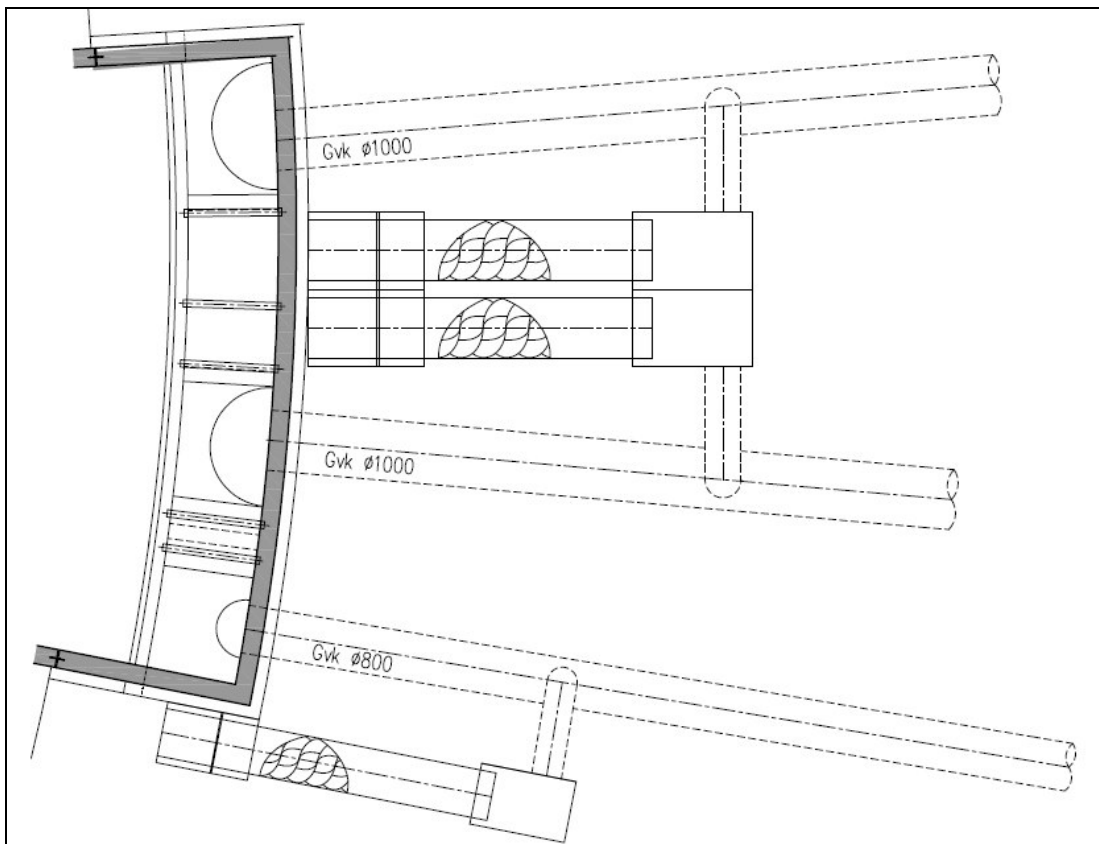
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civieltechnische elementen	€
Leidingwerk Ø500	10.000,-
Spindelschuif	4.000,-
Maken nieuwe overstortrand / schot RWA	4.000,-
Fundering vijzel	8.000,-
Aansluiting op bestaande leidingen	10.000,-
Totaal Civiele bouwkosten	36.000,-
Werktuigbouwkundige elementen	
Vijzel 500 m ³ /h	32.000,-
Elektrotechnische elementen	8.500,-
Totale bouwkosten	76.500,-
Investeringskosten	
Bouwkosten	76.500,-
Onvoorzien 15%	11.500,-
Inrichtingskosten 10%	8.800,-
BTW 19,5%	18.900,-
Totaal investeringskosten	115.700,-

Terugverdiëntijd

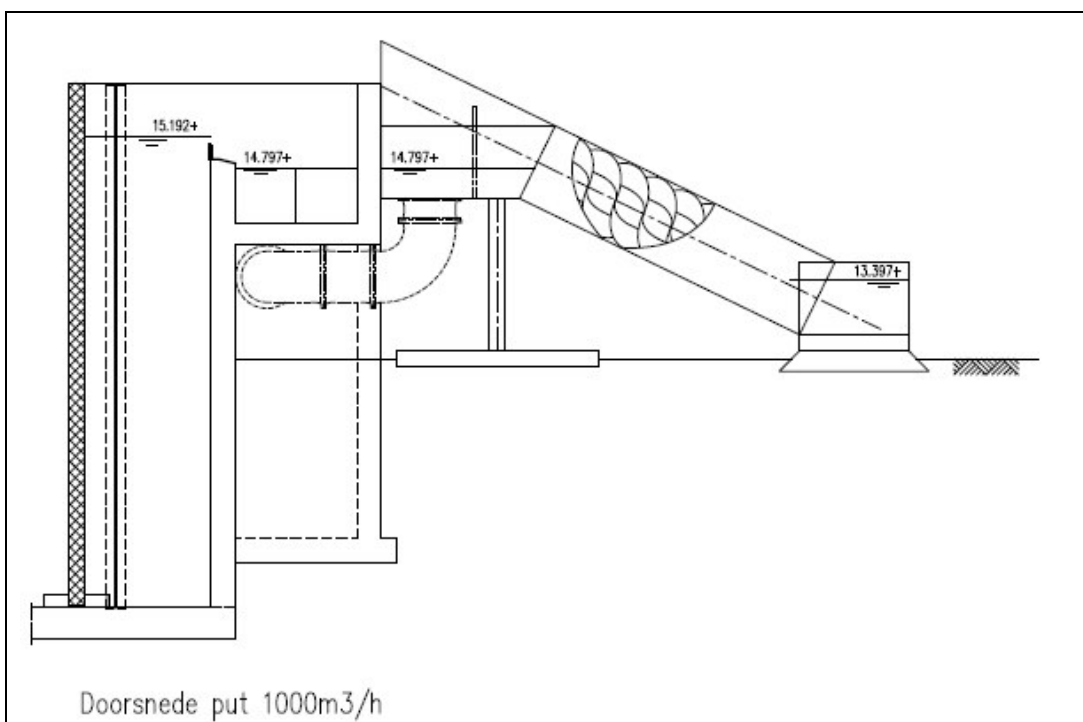
De resultaten van de Netto Contante Waarde berekening zijn gegeven in tabel 4.6. Hierbij is een elektriciteitsstarief gehanteerd van 0,15 €/kWh. Uit de resultaten blijkt dat de terugverdiëntijd niet bestaat. De installatie wordt beschouwd als niet financieel haalbaar.

Tabel 4.6 Resultaten van de Netto Contante Waarde berekening

Discontovoet (reëel)			4%					
Energieopbrengst			14,3	MWh				
Energieprijs			0,15	Euro/kWh				
CO2 reductie			9	ton/jaar				
Investeringskosten		€	Levensduur		Resultaat			
Civiel		54500	40	jaar	NCW	-102.630	Euro	
Werktuigbouwkundig		48400	30	jaar	TVT	bestaat niet	jaar	
Electrotechnisch		12900	25	jaar				
Totaal		115800						
	Jaar	Periode	Investing	Onderhoud	Opbrengst	Cashflow	NPV p/jr	NPV cum.
	1	0	115.800	0	715	-115.085	-115085	-115085
	2	1	0	500	2.145	1.645	1582	-113503
	3	2	0	500	2.145	1.645	1521	-111982
	4	3	0	500	2.145	1.645	1462	-110520
	5	4	0	500	2.145	1.645	1406	-109114
	6	5	0	500	2.145	1.645	1352	-107762
	7	6	0	500	2.145	1.645	1300	-106462
	8	7	0	500	2.145	1.645	1250	-105212
	9	8	0	500	2.145	1.645	1202	-104010
	10	9	0	500	2.145	1.645	1156	-102854
	11	10	0	500	2.145	1.645	1111	-101743
	12	11	0	500	2.145	1.645	1069	-100674
	13	12	0	500	2.145	1.645	1027	-99647
	14	13	0	500	2.145	1.645	988	-98659
	15	14	0	500	2.145	1.645	950	-97709
	16	15	0	500	2.145	1.645	913	-96795
	17	16	0	500	2.145	1.645	878	-95917
	18	17	0	500	2.145	1.645	844	-95072
	19	18	0	500	2.145	1.645	812	-94260
	20	19	0	500	2.145	1.645	781	-93480
	21	20	0	500	2.145	1.645	751	-92729
	22	21	0	500	2.145	1.645	722	-92007
	23	22	0	500	2.145	1.645	694	-91313
	24	23	0	500	2.145	1.645	667	-90645
	25	24	0	500	2.145	1.645	642	-90004
	26	25	12.900	500	2.145	-11.255	-4222	-94226
	27	26	0	500	2.145	1.645	593	-93632
	28	27	0	500	2.145	1.645	571	-93062
	29	28	0	500	2.145	1.645	549	-92513
	30	29	0	500	2.145	1.645	527	-91986
	31	30	48.400	500	2.145	-46.755	-14415	-106401
	32	31	0	500	2.145	1.645	488	-105914
	33	32	0	500	2.145	1.645	469	-105445
	34	33	0	500	2.145	1.645	451	-104994
	35	34	0	500	2.145	1.645	434	-104560
	36	35	0	500	2.145	1.645	417	-104143
	37	36	0	500	2.145	1.645	401	-103743
	38	37	0	500	2.145	1.645	385	-103357
	39	38	0	500	2.145	1.645	371	-102986
	40	39	0	500	2.145	1.645	356	-102630



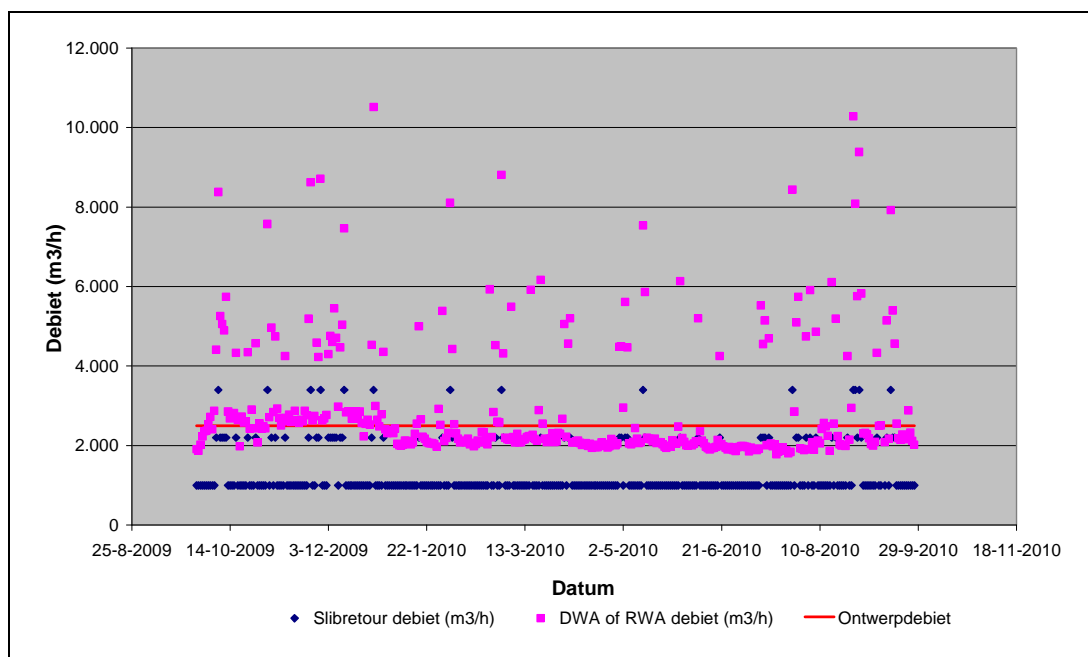
Figuur 4.4 Bovenaanzicht vijzelinstallaties op locatie 1a en 1b RWZI Apeldoorn straat 1



Figuur 4.5 Doorsnede vijzelinstallatie locatie 1a RWZI Apeldoorn straat 1

4.1.3 Locatie 1c Één vijzelinstallatie

Naast de genoemde scenario's locatie 1a en 1b, is het ook mogelijk om in plaats van verschillende vijzels één vijzelinstallatie aan te sluiten. De enige randvoorwaarden is dat het afvalwater daarna wel nog goed verdeeld moet worden over de nabezinktanks. De hoeveelheid afvalwater dat tussen de aëratietank en één nabezinktank stroomt, varieert van 1.000 tot 11.000 m³/h. Hierbij is 1.000 m³/h de situatie waarbij geen aanvoer aanwezig is, maar alleen het slibretourdebiet stroomt. In onderstaand figuur 4.6 is het debiet gepresenteerd gedurende 27 september 2009 tot 27 september 2010. Uit de figuur blijkt dat een ontwerpcapaciteit van 2.500 m³/h (maximaal tot 5.000 m³/h) een groot aantal voorkomende debieten kan verwerken.



Figuur 4.6 *Debiet van aëratietank naar één nabezinktank*

Concept ontwerp

In tabel 4.7 zijn de ontwerpkenmerken gegeven voor locatie 1c. Het verval over de vijzel is gedimensioneerd op 1,4 meter, waarbij rekening is gehouden met voldoende verval om het water te verdelen over de vijf nabezinktanks. Het vermogen van de generator bedraagt 7,3 kW. De energieopbrengst van de vijzel bedraagt circa 52.870 kWh per jaar. Een dergelijke energieproductie komt overeen met een CO₂-emissie reductie van 34 ton per jaar.

Tabel 4.7 Concept ontwerp locatie 1c

Parameter	Eenheid	Waarde
Aantal vijzels	-	1
Locatie	-	AT - 5 NBT
Straat	-	1
Verval	m	1,4
DWA per vijzel	m ³ /h	2.500
Ontwerpkarakteristieken		
Ontwerpvermogen vijzel (P)	kW	7,3
Vijzeldiameter (D)	mm	1.600
Hellingshoek	°	26
Ontwerpcapaciteit (Q)	m ³ /h	2.500
Maximale capaciteit (Qmax)	m ³ /h	5.000
Resultaat		
Energieopbrengst per jaar	kWh/j	52.870
Reductie CO ₂ uitstoot	ton/j	34

De meeste Civieltechnische, Werktuigbouwkundige en Elektrotechnische aanpassingen zoals beschreven bij locatie 1a en 1b, zijn ook van toepassing in locatie 1c. Hieronder het wezenlijk verschil aan werken/werkzaamheden:

- maken aansluiting bestaande verdeelwerk aan vijzel verdeelwerk met leiding Ø900;
- de bestaande overstortrand ophogen tot DWA-niveau. De vijzel verwerkt DWA. Bij uitval van de vijzel zal de waterstand in de AT 10 cm hoger worden. Dit is voor het systeem geen probleem. De vijzel vergt weinig onderhoud en zal daardoor nagenoeg altijd draaien;
- plaatsen fundering vijzel. Dit kan met een stelconplaat en grondverbetering. Het hoge gedeelte van de vijzel zal met een staalconstructie opgevangen worden;
- realiseren nieuw verdeelwerk na de vijzelgeneratie om het afvalwater te verdelen naar de nabezinktanks. Omdat het water verdeeld moet worden over vijf nabezinktanks zal er een verdeelwerk gemaakt moeten worden. Dit verdeelwerk verdeelt het water dat naar verdeelwerk 5 en 6 en nabezinktank 5 gaat;
- aansluiten op bestaande leidingen. Wanneer het verdeelwerk op de goede locatie gemaakt wordt, kan er eenvoudig, zonder leidingwerk, aangesloten worden op de bestaande leidingen. Voor één aansluiting zal er een nieuw stuk leiding gelegd moeten worden;
- in figuur 4.7 en 4.8 is het bovenaanzicht van de WKC afgebeeld.

Investeringskosten

De investeringskosten van de waterkrachtcentrale (middels een vijzelgenerator) voor locatie 1c zijn gegeven in tabel 4.8. De totale investeringskosten bedragen € 329.200,-. De relatief hogere kosten worden voornamelijk veroorzaakt door het verdeelwerk.

Tabel 4.8 *Investeringskosten waterkrachtcentrale locatie 1c (één vijzel)*

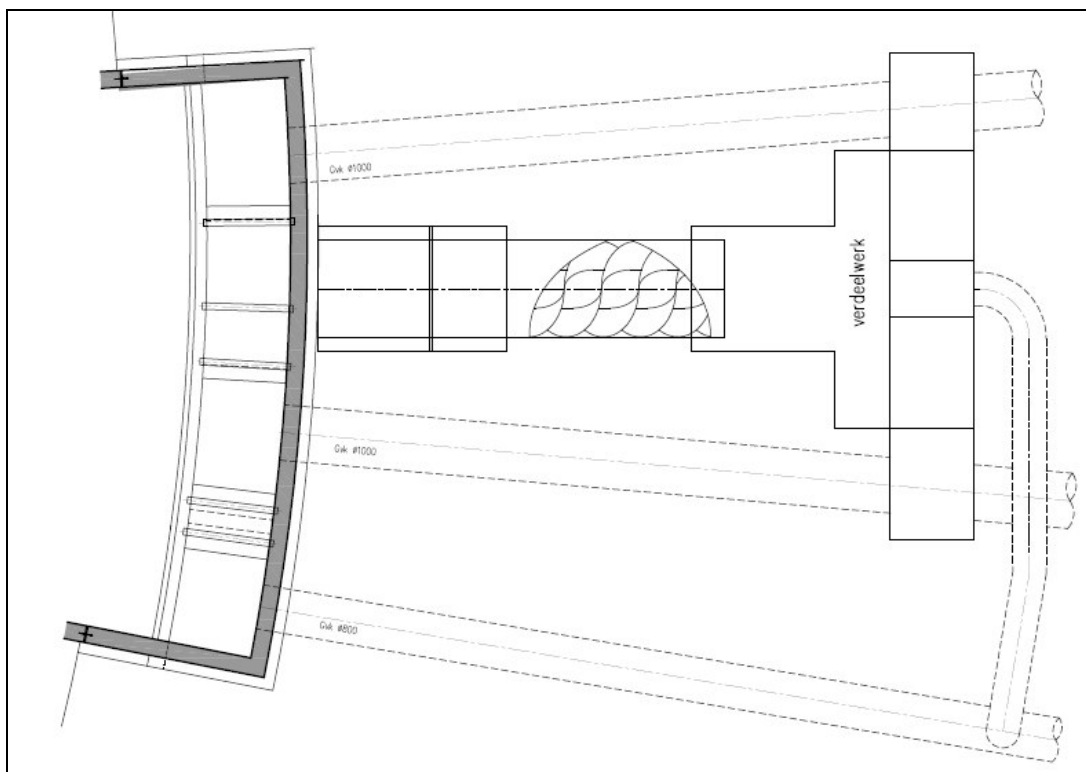
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civiltechnische elementen	€
Leidingwerk Ø900	15.000,-
Spindelschuif	8.000,-
Ophogen bestaande overstortrand	4.000,-
Fundering	10.000,-
Verdeelwerk	100.000,-
Aansluiting op bestaande leidingen	30.000,-
Totaal Civiele bouwkosten	167.000,-
Werktuigbouwkundige elementen	
Vijzel 2.500 m ³ /h	42.000,-
Elektrotechnische elementen	8.500,-
Totale bouwkosten	217.500,-
Investeringskosten	
Bouwkosten	217.500,-
Onvoorzien 15%	32.700,-
Inrichtingskosten 10%	25.100,-
BTW 19,5%	53.700,-
Totaal investeringskosten	329.200,-

Terugverdientijd

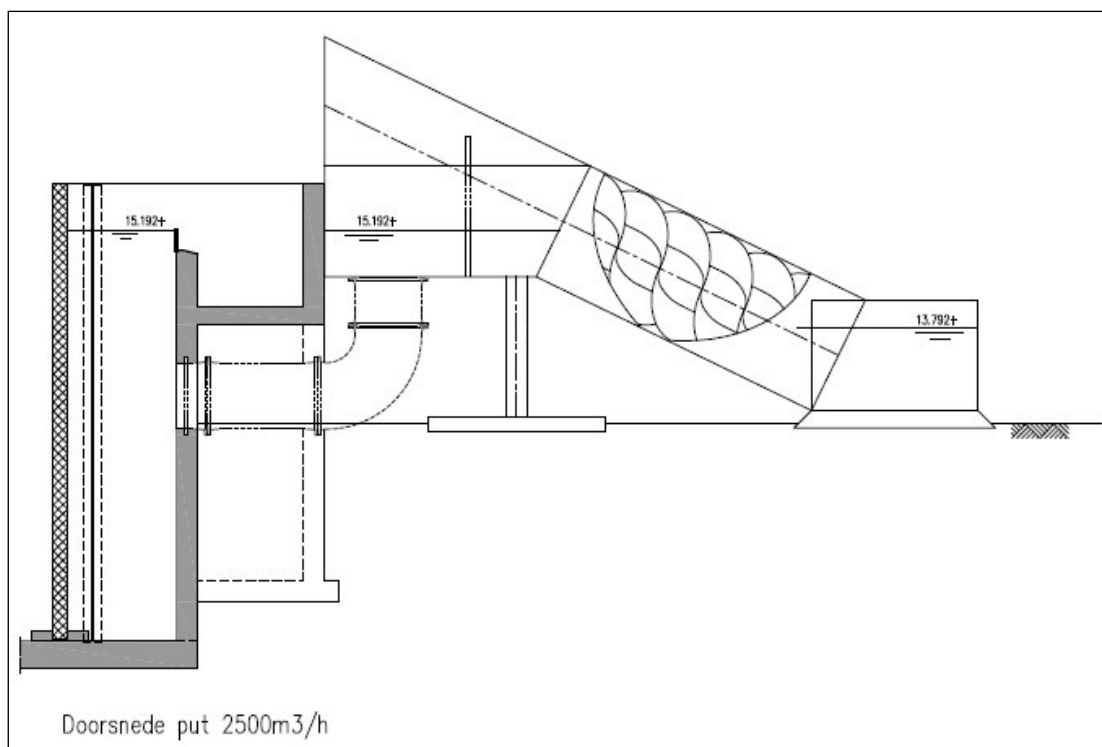
De resultaten van de Netto Contante Waarde berekening zijn gegeven in tabel 4.9. Hierbij is een elektriciteitsstarief gehanteerd van 0,15 €/kWh. Uit de resultaten blijkt dat de terugverdientijd niet bestaat. De installatie wordt beschouwd als niet financieel haalbaar.

Tabel 4.9 Resultaten van de Netto Contante Waarde berekening

Discontovoet (reëel)			4%					
Energieopbrengst			52,87	MWh				
Energieprijs			0,15	Euro/kWh				
CO2 reductie			34	ton/jaar				
Investeringskosten		€	Levensduur		Resultaat			
Civiel		252700	40	jaar	NCW	-205.482	Euro	
Werktuigbouwkundig		63600	30	jaar	Looptijd	bestaat niet	jaar	
Electrotechnisch		12900	25	jaar				
Totaal		329200						
	Jaar	Periode	Investering	Onderhoud	Opbrengst	Cashflow	NPV p/jr	NPV cum.
	1	0	329.200	0	2.644	-326.557	-326557	-326557
	2	1	0	500	7.931	7.431	7145	-319412
	3	2	0	500	7.931	7.431	6870	-312542
	4	3	0	500	7.931	7.431	6606	-305936
	5	4	0	500	7.931	7.431	6352	-299585
	6	5	0	500	7.931	7.431	6107	-293477
	7	6	0	500	7.931	7.431	5872	-287605
	8	7	0	500	7.931	7.431	5647	-281958
	9	8	0	500	7.931	7.431	5429	-276529
	10	9	0	500	7.931	7.431	5221	-271308
	11	10	0	500	7.931	7.431	5020	-266288
	12	11	0	500	7.931	7.431	4827	-261462
	13	12	0	500	7.931	7.431	4641	-256821
	14	13	0	500	7.931	7.431	4463	-252358
	15	14	0	500	7.931	7.431	4291	-248067
	16	15	0	500	7.931	7.431	4126	-243941
	17	16	0	500	7.931	7.431	3967	-239974
	18	17	0	500	7.931	7.431	3815	-236159
	19	18	0	500	7.931	7.431	3668	-232492
	20	19	0	500	7.931	7.431	3527	-228965
	21	20	0	500	7.931	7.431	3391	-225574
	22	21	0	500	7.931	7.431	3261	-222313
	23	22	0	500	7.931	7.431	3135	-219177
	24	23	0	500	7.931	7.431	3015	-216163
	25	24	0	500	7.931	7.431	2899	-213264
	26	25	12.900	500	7.931	-5.470	-2052	-215316
	27	26	0	500	7.931	7.431	2680	-212636
	28	27	0	500	7.931	7.431	2577	-210059
	29	28	0	500	7.931	7.431	2478	-207581
	30	29	0	500	7.931	7.431	2383	-205198
	31	30	63.600	500	7.931	-56.170	-17318	-222516
	32	31	0	500	7.931	7.431	2203	-220313
	33	32	0	500	7.931	7.431	2118	-218195
	34	33	0	500	7.931	7.431	2037	-216158
	35	34	0	500	7.931	7.431	1958	-214200
	36	35	0	500	7.931	7.431	1883	-212317
	37	36	0	500	7.931	7.431	1811	-210507
	38	37	0	500	7.931	7.431	1741	-208766
	39	38	0	500	7.931	7.431	1674	-207092
	40	39	0	500	7.931	7.431	1610	-205482



Figuur 4.7 Bovenaanzicht vijzelinstallaties op locatie 1c RWZI Apeldoorn straat 1



Figuur 4.8 Doorsnede vijzelinstallatie locatie 1c RWZI Apeldoorn straat 1

4.1.4 Locatie 1a2: Katamax installatie tussen verdeelwerk aëratietank en verdeelwerk 5 en 6

Naast een vijzel is er ook gekeken naar de toepassing van een Katamax installatie op locatie 1a. Dit scenario heeft de naam gekregen 1a2. De hoeveelheid afvalwater is gelijk als voorheen beschreven. Echter het Katamax systeem kan enkel de ontwerpcapaciteit aan, en geen extra debiet. Dit impliceert dat bij debieten hoger dan de ontwerpcapaciteit de Katamax installatie uitbedrijf gaat.

Concept ontwerp

In tabel 4.10 zijn de ontwerpkenmerken gegeven voor locatie 1a2. Het verval over de Katamax is gedimensioneerd op 2,57 meter (verval bij DWA). Het vermogen van de Katamax bedraagt 6,1 kW. De energieopbrengst van de vijzel bedraagt circa 29.254 kWh per jaar. Een dergelijke opbrengst komt overeen met een CO₂ reductie van negentien ton per jaar.

Tabel 4.10 Concept ontwerp Katamax op locatie 1a

Parameter	Eenheid	Waarde
Aantal Katamax	-	2
Locatie	-	AT - verdeelwerk 5 of 6
Straat	-	1
Verval	m	2,57
DWA per Katamax	m ³ /h	1.000
Ontwerpkenmerken		
Ontwerpvermogen vijzel (P)	kW	6,1
Ontwerpcapaciteit (Q)	m ³ /h	1.000
Maximale capaciteit (Q _{max})	m ³ /h	1.000
Resultaat		
Energieopbrengst per jaar per Katamax	kWh/j	29.254
Reductie CO ₂ uitstoot	ton/j	19

Civieltechnische installatie

Hieronder is een korte omschrijving van de Civieltechnische werken/werkzaamheden beschreven:

- het inbouwen van de Katamax vergt weinig aanpassingen. Het hele systeem kan in één keer in de put gehangen worden;
- aangezien er in de put nog allerlei schotten aanwezig zijn en het systeem aan de put bevestigd moet worden, zijn hiervoor de noodzakelijke Civiele kosten opgenomen.

Werktuigbouwkundige installatie

De Katamax installatie is in principe een Jacobs ladder, die door het gewicht van het water in beweging wordt gebracht. De levensduur van de Katamax wordt geschat op 25 jaar.

Investeringskosten

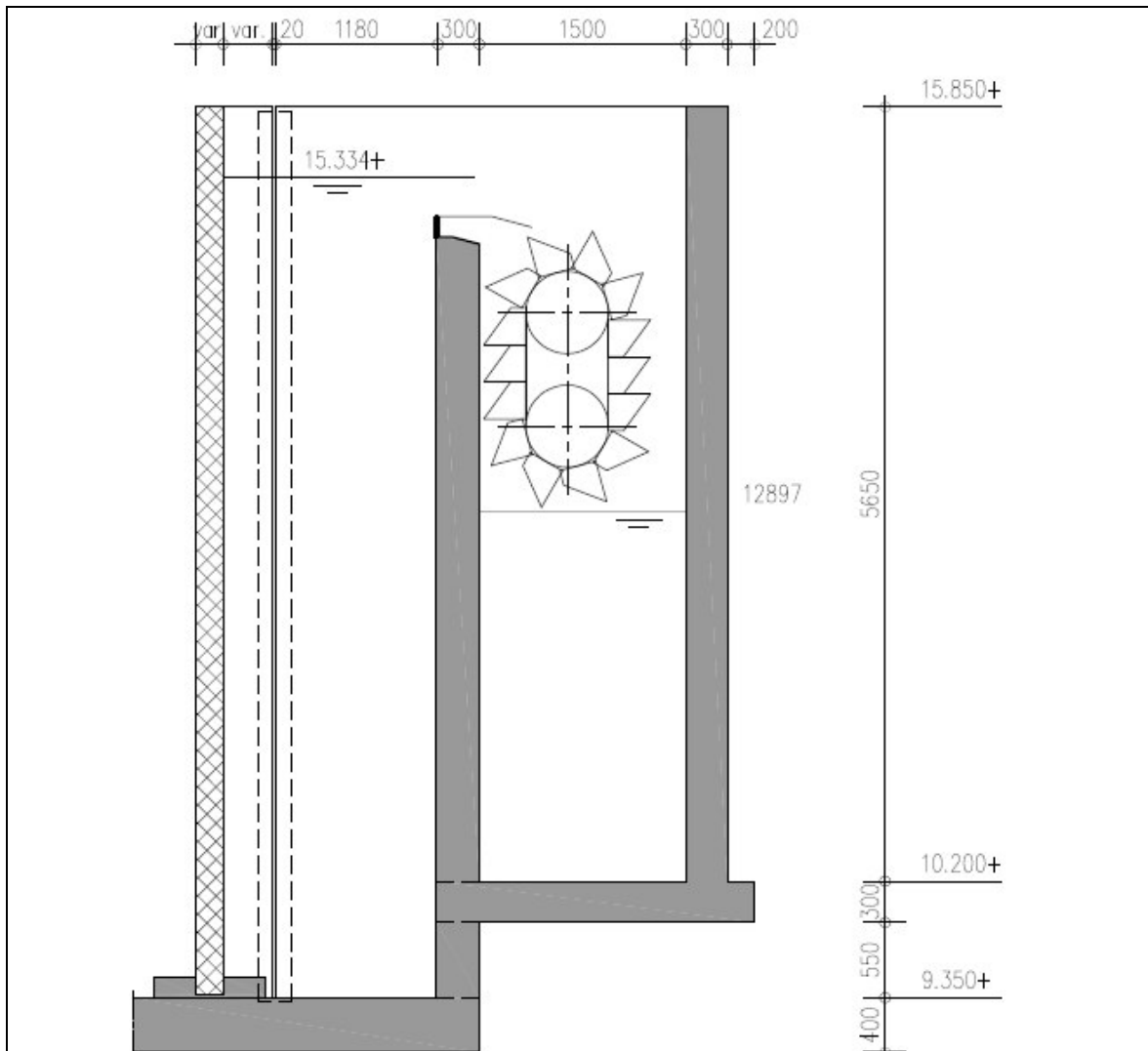
De investeringskosten van de waterkrachtcentrale (middels een Katamax) voor locatie 1a2 zijn gegeven in tabel 4.11. De totale investeringskosten bedragen € 58.400,-. De investeringskosten van een Katamax zijn lager dan die van een vijzelinstallatie. Dat komt enerzijds omdat er minder Civiele werken zijn en anderzijds omdat de Werktuigbouwkundige installatie goedkoper is.

Tabel 4.11 *Investeringskosten waterkrachtcentrale locatie 1a2 (Katamax)*

Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civiltechnische elementen	€
Aansluiting op put	10.000,-
Totaal Civiele bouwkosten	10.000,-
Werktuigbouwkundige elementen	
Katamax 1.000 m ³ /h	20.000,-
Elektrotechnische elementen	8.500,-
Totaal bouwkosten	38.500,-
Investeringskosten	
Bouwkosten	38.500,-
Onvoorzien 15%	5.800,-
Inrichtingskosten 15%	4.500,-
BTW 19,5 %	9.600,-
Totaal investeringskosten	58.400,-

Terugverdientijd

De resultaten van de Netto Contante Waarde berekening zijn gegeven in tabel 4.12. Hierbij is een elektriciteitstarief gehanteerd van 0,15 €/kWh. Uit de resultaten blijkt dat de terugverdientijd bij een dergelijk tarief binnen de technische levensduur valt, namelijk 36 jaar. Indien met de huidige energieprijzen van 0,125 €/kWh wordt gerekend is het systeem niet terug te verdienen. De installatie wordt als mogelijk financieel haalbaar beschouwd.



Figuur 4.9 Doorsnede Katamax installatie op locatie 1a2 RWZI Apeldoorn straat 1

4.2 Locatie 2, nabezinktanks – effluentsloot

De tweede locatie is extra opgenomen in de studie en betreft de locatie tussen hooggelegen nabezinktanks en de effluentsloot (zie figuur 4.10). Tussen nabezinktank 7 en de effluentsloot zit in totaal 2,30 m waterniveau verschil. Door de omloopgoot en RWA-overstort capaciteit is deze 2,30 m niet geheel te gebruiken. Ook doordat er een RWA-overstort mogelijk moet zijn wordt het bruikbare verval minder. Het maximaal te behalen verval tussen de effluentput van nabezinktank 7 en de effluentsloot is circa 1,30 m.



Figuur 4.10 Verzamelput hooggelegen NBT's richting effluentsloot

Vijzelturbine

De meest geschikte locatie voor het plaatsen van een turbinevijzel is naast de verzamelput en effluentleiding. De aansluiting op de verzamelput dient bij voorkeur te geschieden door middel van leidingwerk. Dit om verschil in zetting tussen verzamelput en vijzel op te kunnen vangen (de verzamelput is niet meer onderhevig aan zettingen). Een aan te brengen overstortput zorgt ervoor dat al het debiet hoger dan 2x DWA overstort in de leiding. Deze put wordt bevestigd aan de verzamelput. Deze put zal de nodige kosten met zich meebrengen. De afvoer van de vijzelturbine wordt middels een leiding aangesloten op de effluentleiding.

Uitgangspunten vijzelturbine:

- statisch verval in m 1,30
- capaciteit vijzelturbine in kW 8.30
- energie opbrengst in MWh 12,39 MWh

Vanwege de lage energieopbrengst is bij de bespreking van de quick-scan dat dit scenario geen verdere uitwerking behoeft.

4.3 Locatie 3, Effluenkanaal – IJsselleiding

Locatie 3 is afgebeeld in figuur 4.11, het betreft het hydraulische verval tussen het effluentkanaal en de IJsselleiding. Aan het einde van het afvoerkanaal stort het water naar beneden in een kelder. Vanuit de kelder stroomt het door een leiding rond 2.200 mm naar de IJssel. Tussen kanaal en bodem van de kelder is hydraulisch verval aanwezig waardoor er potentie is voor het opwekken van waterkrachtenergie.

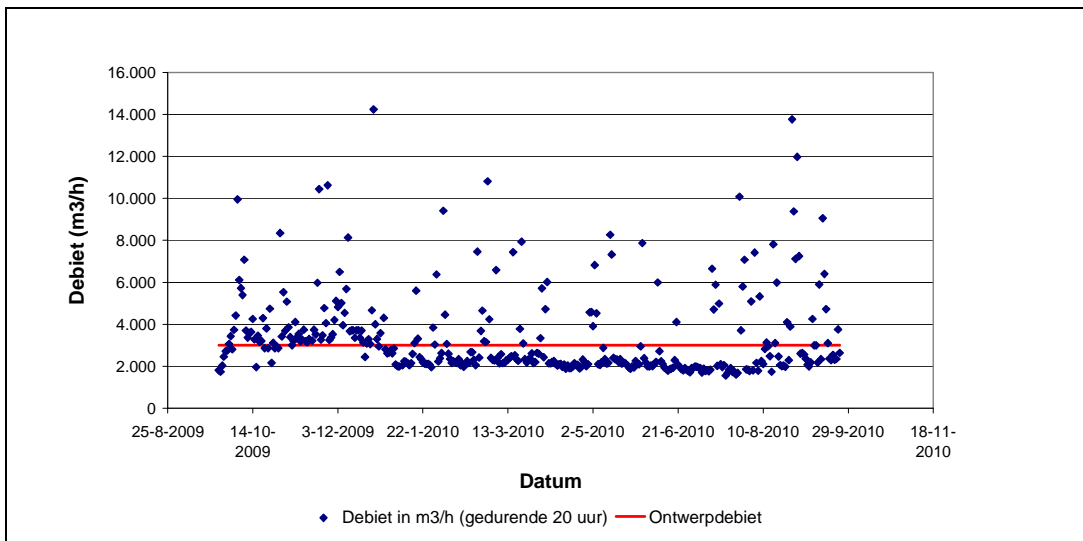
Indien de waterstand in de IJssel hoog is, zal de IJsselleiding minder kunnen afvoeren en stijgt de waterstand. Het is momenteel niet bekend hoe vaak deze situatie zich voordoet. Waterschap Veluwe heeft naar de verhoging van de waterstand in de IJssel gekeken en het volgende geconcludeerd:

In het jaar 2010 is het niveau in het effluentkanaal maar slechts twaalf uur boven de 11.30 +mNAP geweest. De Knookschuif gaat dicht bij 11.60 +mNAP en gaat weer open bij 11.35 +mNAP. In de studie kunnen de situaties waarbij de IJsselleiding een begrenzing zal zijn worden verwaarloosd. Het zal wel zo zijn dat er in de put waar het effluent naar de leiding toe gaat een niveauverhoging zal optreden.



Figuur 4.11 **Aanzicht einde afvoerkanaal**

De hoeveelheid afvalwater die via het effluentkanaal naar de IJssel stroomt, varieert van 1.900 tot 14.100 m³/h. In onderstaand figuur 4.12 is het debiet gepresenteerd gedurende 27 september 2009 tot 27 september 2010. Uit de figuur blijkt dat een ontwerpcapaciteit van 3.000 m³/h (maximaal tot 6.000 m³/h) een groot aantal voorkomende debieten kan verwerken.



Figuur 4.12 *Debiet van effluentkanaal naar IJsselleiding*

Concept ontwerp

In tabel 4.13 zijn de ontwerpkenmerken gegeven voor locatie 3. Het verval over de vijzel is gedimensioneerd op 3,4 meter. Het vermogen van de generator bedraagt 21,4 kW. De energieopbrengst van de vijzel bedraagt circa 129.907 kWh per jaar. Een dergelijke opbrengst komt overeen met een CO₂ reductie van 83 ton per jaar.

Tabel 4.13 Concept ontwerp locatie 3

Parameter	Eenheid	Waarde
Aantal vijzels	-	1
Locatie	-	Effluent kanaal - IJsselleiding
Verval	m	3,4
DWA per vijzel	m ³ /h	3.000
Ontwerpkarakteristieken		
Ontwerpvermogen vijzel (P)	kW	21,4
Vijzeldiameter (D)	mm	1.750
Hellingshoek	°	26
Ontwerpcapaciteit (Q)	m ³ /h	3.000
Maximale capaciteit (Q _{max})	m ³ /h	6.000
Resultaat		
Energieopbrengst per jaar	kWh/j	129.907
Reductie CO ₂ uitstoot	ton/j	83

In deze studie is onderzocht of het mogelijk is om de waterstand in het effluentkanaal te verhogen. De mogelijkheid is er, echter dienen er aan specifieke randvoorwaarden te worden voldaan. De belangrijkste aspecten voor het bepalen van het nieuwe waterpeil zijn:

- stalen damwand zit op 11.500 + NAP, deze is te verhogen;
- overstort van bergbezinktank naar effluentsloot zit op 11.700 + NAP;
- de maximale waterstand in de effluentsloot moet minimaal 100 mm onder 11.700 blijven in verband met de veiligheid van uitstroom bergbezinktank;
- het nieuwe peil kan dus 11.600+ NAP worden;
- dit betekend dat de stalen damwand ongeveer 200 mm opgehoogd moet worden of er wordt voor gekozen om het nieuwe peil op 11.400+ NAP te zetten. Dit is 100 mm onder het overstortpeil van de stalen damwand;
- aangezien de kosten die het met zich mee brengt om de stalen damwand op te hogen (€12.500,-) gerelateerd aan de extra opbrengst van circa € 1.000,- per jaar, is ervoor gekozen om de stalen damwand te verhogen en het nieuwe peil op 11.600+ NAP te zetten;
- tevens wordt binnenkort de debietmeter aangepast. Het verdient de aanbeveling om de aanpassing van de debietmeter gelijktijdig of ervoor uit te voeren met het realiseren van de vijzel.

Civieltechnische installatie

Hieronder is een korte omschrijving van de Civieltechnische werken/werkzaamheden beschreven:

- realiseren gat in wand van het effluentkanaal ten behoeve van aansluiting vijzel aanvoer;
- plaatsten schotbalksponning ten behoeve van dichtzetten/verwijderen vijzel;
- realiseren fundering vijzel. Plaatsen stelconplaat en staalconstructie voor het bovenstuk van de vijzel. Verwacht wordt dat niet het gehele gewicht van de vijzel aan het bestaande effluentkanaal opgehangen kan worden;
- realiseren uitstroombak vijzel en fundering. De uitstroombak dient aangesloten te worden op de effluentput. Deze dient ook van de bovenzijde dicht te zijn;

- plaatsen spindelschuif bij afvoer vijzel. Dit om de vijzel buiten werking te kunnen zetten en te kunnen verwijderen;
- plaatsen regelbare overlaat in effluentgoot om de waterstand bij de vijzel te verhogen;
- de vijzel komt naast het bestaande bordes te staan. Dit zodat de vijzel niet bij de nooduitlaat van de effluentput in de weg staat. Tevens hoeft er dan geen extra bordes gemaakt te worden rondom de bovenkant van de vijzel ten behoeve van onderhoud van de generator;
- de uitstroombak dient geheel dicht te zijn. Mocht het water in de effluentput stijgen, dan mag het er bij de uitstroombak niet uitlopen;
- er dient wel gebronneerd te worden bij de funderingswerkzaamheden;
- in figuur 4.13 en 4.14 is de schetsmatige inpassing van de WKC gepresenteerd. Hierin zijn de dimensies en waterhoogtes gegeven. In de goot wordt de waterstand opgevoerd tot 11.400+NAP, dit is ook het niveau waarbij de vijzel inwerking treedt. Onderkant vijzel heeft een niveau van 8.000+NAP.

Werktuigbouwkundige installatie

De optimale vijzelturbine voor deze situatie is een compacte gesloten buisvijzel. Hierdoor worden lekkages en contact van personeel met afvalwater voorkomen.

Elektrotechnische installatie

Voor de Elektrotechnische aansluiting van de waterkrachtcentrale op de RWZI zijn de volgende werkzaamheden / aspecten van toepassing:

- aansluiten op de verdelerkast in gebouwtje nabij bergbezinktank;
- kabel tussen vijzel en gebouw nabij bergbezinktank monteren aan railing effluentsloot, lengte +/- 75 m.

Investeringskosten

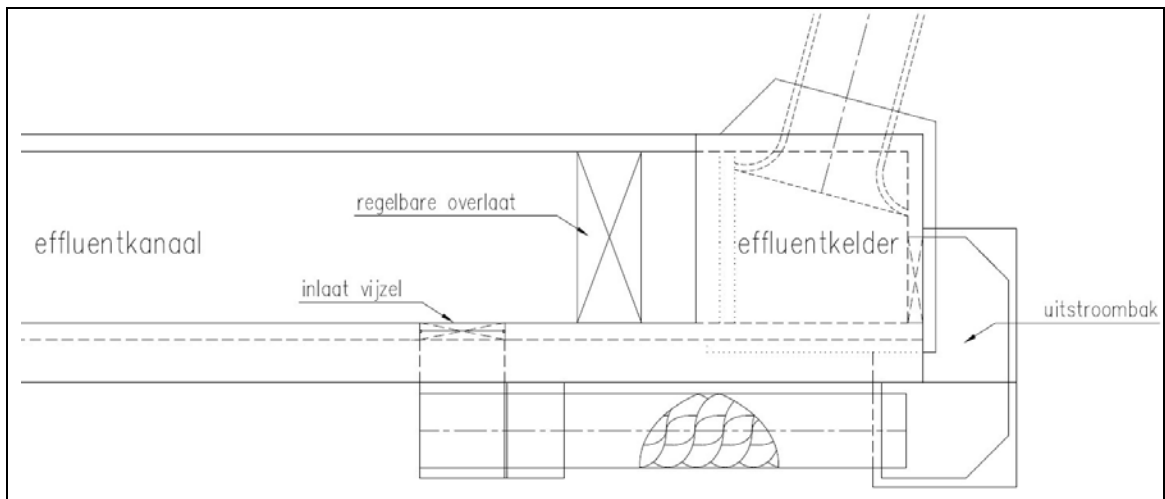
De investeringskosten van de waterkrachtcentrale (middels een vijzelgenerator) voor locatie 3 zijn gegeven in tabel 4.14. De totale investeringskosten bedragen € 225.400,-.

Tabel 4.14 *Investeringskosten waterkrachtcentrale locatie 3 (vijzel)*

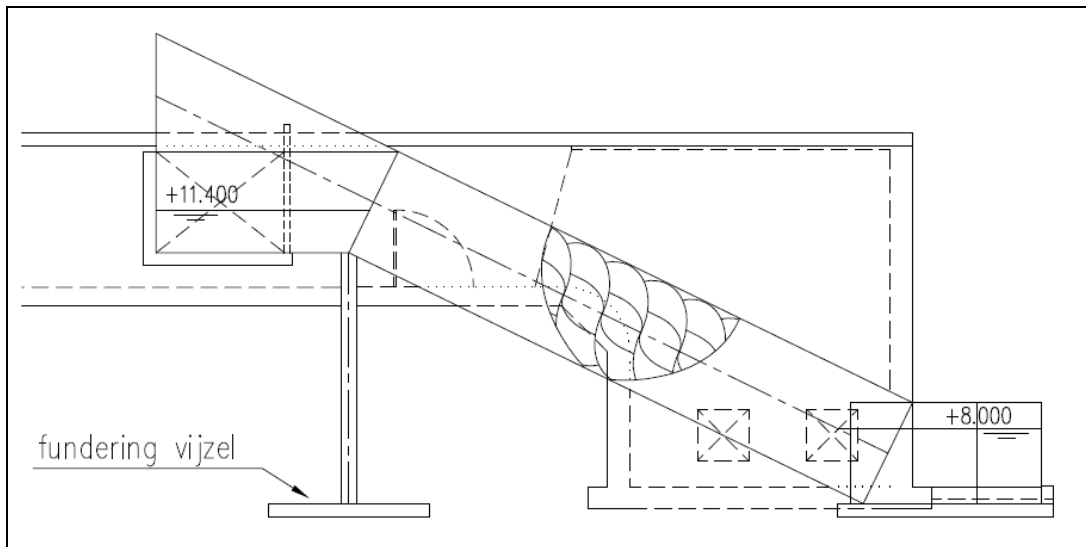
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civieltechnische elementen	€
Regelbare overlaat	35.000,-
Schotbalkspanning	3.000,-
Fundering vijzel + constructie bovenstuk	5.000,-
Uitstroombak + fundering	25.000,-
Eventuele bronnering	5.000,-
Verhogen damwand	12.500,-
Totaal Civiele bouwkosten	85.500,-
Werktuigbouwkundige elementen	
Vijzel 3.000 m ³ /h	55.000,-
Elektrotechnische elementen	8.500,-
Totale bouwkosten	149.000,-
Investeringskosten	
Bouwkosten	149.000,-
Onvoorzien 15%	22.400,-
Inrichtingskosten 10%	17.200,-
BTW 19,5%	36.800,-
Totaal investeringskosten	225.400,-

Terugverdientijd

De resultaten van de Netto Contante Waarde berekening zijn gegeven in tabel 4.15. Hierbij is een elektriciteitstarief gehanteerd van 0,15 €/kWh. Uit de resultaten blijkt dat de terugverdientijd bij een dergelijk tarief 16 jaar is. De installatie wordt beschouwd als financieel haalbaar.



Figuur 4.13 Bovenaanzicht vijzelinstallaties op locatie 3 RWZI effluentkanaal



Figuur 4.14 Doorsnede vijzelinstallatie locatie 3 RWZI effluentkanaal

4.4 Ontwerpcapaciteit RWA versus DWA

De keuze voor de ontwerpcapaciteit is bij het toepassen van waterkrachtcentrales essentieel. Hierbij is belangrijk dat naar een optimum gezocht wordt tussen investeringskosten en energieopbrengsten. Het optimum voor een RWZI ligt om en nabij het DWA-debiet. Het hoogste rendement van de installatie wordt dan namelijk bereikt voor het hoogst aantal draaiuren. Het waterschap heeft gevraagd om inzichtelijk te maken wat het verschil is tussen ontwerpen op DWA of op RWA. Royal Haskoning heeft deze extra werkzaamheden uitgevoerd voor de locatie 1a op RWZI Apeldoorn. Hieronder zijn voor beide situaties de resultaten gegeven:

Investeringskosten

De investeringskosten voor een waterkrachtcentrale op locatie 1a zijn voor RWA- en DWA-capaciteit gegeven in tabel 4.16. De totale investeringskosten voor een vijzelturbine met RWA-capaciteit zijn €188.400,- en met DWA-capaciteit €120.400,-. Het verschil bedraagt €68.000,-

De energieopbrengst van een vijzelturbine met RWA-capaciteit bedraagt 22,08 MWh. Dit is 0,93 MWh meer dan de opbrengst van een installatie met DWA-capaciteit. De extra economische opbrengsten van een installatie met RWA-capaciteit bedragen €140,- per jaar. Deze extra opbrengsten wegen niet op tegen de extra investeringen. Geconcludeerd mag worden dat de relatieve meerkosten van installatie met RWA-capaciteit ten opzichte van een installatie met DWA-capaciteit niet op wegen tegen de extra energieopbrengsten. De keuze voor DWA als ontwerpcapaciteit is dan ook beter.

Tabel 4.16 *Vergelijking investeringskosten ontwerpcapaciteit op RWA en DWA*

RWA		DWA	
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten	Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civieltechnische elementen	€	Civieltechnische elementen	€
Leidingwerk Ø1.200	20.000,-	Leidingwerk Ø600	10.000,-
Spindelschruif	8.00,-	Spindelschruif	5.000,-
Maken nieuwe overstortrand	5.000,-	Maken nieuwe overstortrand / schot RWA	5.000,-
Fundering vijzel	15.000,-	Fundering vijzel	10.000,-
Aansluiting op bestaande leidingen	20.000,-	Aansluiting op bestaande leidingen	10.000,-
Totaal Civiele bouwkosten	68.000,-	Totaal Civiele bouwkosten	40.000,-
Werktuigbouwkundige elementen		Werktuigbouwkundige elementen	
Vijzel 3.800 m ³ /h	50.000,-	Vijzel 1.000 m ³ /h	33.000,-
Elektrotechnische elementen	6.500,-	Elektrotechnische elementen	6.500,-
Totale bouwkosten	124.500,-	Totale bouwkosten	79.500,-
Investeringskosten		Investeringskosten	
Bouwkosten	124.500,-	Bouwkosten	79.500,-
Onvoorzien 15%	18.700,-	Onvoorzien 15%	12.000,-
Inrichtingskosten 10%	14.400,-	Inrichtingskosten 10%	9.200,-
BTW 19,5%	30.800,-	BTW 19,5%	19.700,-
Totaal investeringskosten	188.400,-	Totaal investeringskosten	120.400,-

5 UITSPOELING VAN DROOGREST

Op de RWZI Apeldoorn zijn problemen met slibuitspoeling op enkele nabezinktanks. De uitspoeling wordt veroorzaakt door slechte bezinkeigenschappen van het slib. De slechte bezinkeigenschappen worden mogelijkwerwijs veroorzaakt door het verval ter plaatse van het verdeelwerk (tegen de aëratietank). Hierbij kan slibdesintegratie optreden, met als resultaat het uiteenvallen van de slibvlokken.

De jaarlijkse heffing wordt berekend op basis van de concentratie droogrest, BZV en Kjeldahl Stikstof (Nkj). In onderstaande tabel zijn de gemiddelde concentratie van 2008 en 2009 gegeven. De jaarlijkse heffing bedraagt circa € 200.000,- (berekend met het nieuwe heffingstarief van € 35,50 per VE).

Met behulp van de waterkrachtcentrale kan het actieve slib gelijkmatiger en met lagere stressfactoren naar de nabezinktank stromen. De verwachting is dat hierdoor de slibdesintegratie zal verminderen. Dit is echter slechts een hypothese en nog niet aangetoond.

De installatie van de waterkrachtcentrale kan in dit geval dan ook andere opbrengsten (besparingen van de heffingen) met zich meebrengen. In onderstaande tabel is tevens een indicatie gegeven van de verbetering van effluentkwaliteit bij toepassing van waterkracht.

Indien een dergelijke verbetering wordt bereikt neemt de terugverdientijd van de waterkrachtcentrale op:

- locatie 1 af tot zes jaar;
- op locatie 1b tot zeven jaar

Dit is berekend met een tarief van 0,125 €/kWh en 15% onvoorzien.

Voor deze locatie zou middels een onderzoek kunnen worden bepaald of het toepassen van een waterkrachtcentrale zal leiden tot minder slibdesintegratie en derhalve slibuitspoelingen sterk kan reduceren of voorkomen.

Tabel 5.1 *Indicatieve reducering rijksheffing door toepassing waterkracht*

Situatie	Parameter	Eenheid	Waarde
Huidige situatie	BZV	mg/l	5,2
	Droogrest	mg/l	25,0
	Nkj	mg/l	1,5
	Q		70.000,0
	VE	per dag	11.279,8
	Tarief VE	€/VE	35,5
	Factor		0,5
	Heffing	€/jaar	200.300
	Mogelijke situatie door waterkracht	BZV	mg/l
Droogrest		mg/l	7,0
Nkj		mg/l	0,4
Q			70.000,0
VE		per dag	5.557,7
tarief VE		€/VE	35,5
Factor			0,5
Heffing		€/jaar	98.700
Heffingsverschil			€/jaar
Effect op TVT Locatie 1			
Besparing bij locatie 1a (2x)		€/jaar	40.640
TVT locatie 1a		jaar	6
Besparing bij Locatie 1b		€/jaar	19.740
TVT locatie 1b		jaar	7

6 WATERKRACHT OP RWZI HARDERWIJK

In dit hoofdstuk is de haalbaarheid van waterkracht op RWZI Harderwijk uitgewerkt.

6.1 Inleiding

Op de RWZI Harderwijk zijn, samen met de het waterschap en AgentschapNL, een aantal locaties geïnventariseerd. Er is niet alleen naar de mogelijkheid tot het plaatsen van een vijzelturbine gekeken, ook is er gekeken naar andere waterkrachttechnieken, zoals een waterrad.

Op de RWZI Harderwijk zijn een tweetal locaties bekeken:

- locatie 1: benutten hydraulisch verval (statisch) tussen de nieuwe aëratietank en de oude aeratietank;
- locatie 2: benutten hydraulisch verval of stroming in de effluentgoot naar het Veluwemeer.

6.2 Locatie 1, nieuwe aëratietank – oude aëratietank

Benutten hydraulisch verval (statisch) tussen de nieuwe aëratietank en de oude aëratietank.



Figuur 6.1 *Locatie 1A: Vijzelturbine naast het leidingtracé nieuwe AT – oude AT*

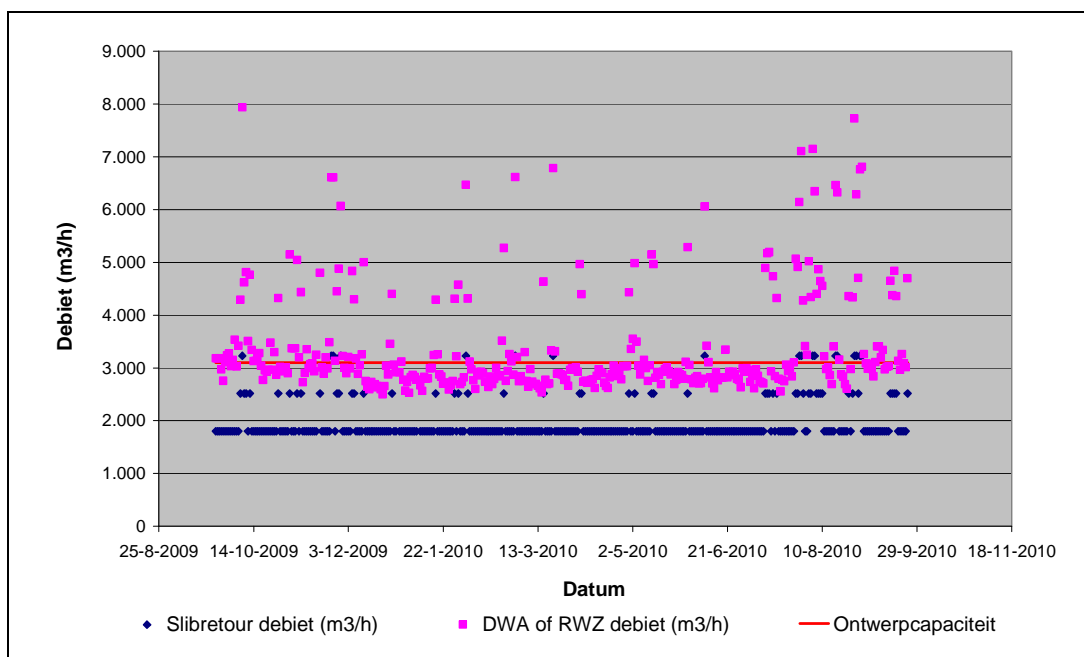
6.2.1 Locatie 1, vijzelturbine

In het eerste scenario is de toepassing van een vijzelturbine uitgewerkt. In de nieuwe aëratietank is (fysiek) geen ruimte om een vijzelturbine te plaatsen. In het leidingtracé tussen de nieuwe aëratietank en de oude is dit wel mogelijk. Om dit te realiseren zal een overstortput in het leidingwerk aangebracht moeten worden. Deze overstortput zorgt voor het benodigde verval (door opstuwing) ten behoeve van de vijzelturbine. De vijzelconstructie wordt naast de bestaande leiding gerealiseerd. De aflat van de vijzelturbine wordt weer aangesloten op de bestaande leiding.



Figuur 6.2 *Locatie 1. Vijzelturbine naast de aanvoergoot van de oude aëratietank*

De hoeveelheid afvalwater dat van de nieuwe aëratietank naar de oude aëratietank stroomt, varieert van 1.800 tot 8.000 m³/h. In onderstaand figuur 6.3 is het debiet gepresenteerd gedurende 24 september 2009 tot 24 september 2010. Uit de figuur blijkt dat een ontwerpcapaciteit van 3.100 m³/h (maximaal tot 6.200 m³/h) een groot aantal voorkomende debieten kan verwerken.



Figuur 6.3 *Debiet van aëratietank 1 naar aëratietank 2*

Concept ontwerp

In tabel 6.1 zijn de ontwerpkenmerken gegeven voor locatie 1. Het verval over de vijzel is gedimensioneerd op 1,25 meter. Het vermogen van de generator bedraagt 8,1 kW. De energieopbrengst van de vijzel bedraagt circa 62.711 kWh per jaar. Een dergelijke opbrengst komt overeen met een CO₂ reductie van 40 ton per jaar.

Tabel 6.1 *Concept ontwerp locatie 1*

Parameter	Eenheid	Waarde
Aantal vijzels	-	1
Locatie	-	Nieuwe AT - Oude AT
Verval	m	1,25
DWA per vijzel	m ³ /h	3.100
Ontwerpkenmerken		
Ontwerpvermogen vijzel (P)	kW	8,1
Vijzeldiameter (D)	mm	2.000
Hellingshoek	°	26
Ontwerpcapaciteit (Q)	m ³ /h	3.100
Maximale capaciteit (Qmax)	m ³ /h	6.200
Resultaat		
Energieopbrengst per jaar	kWh/j	62,711
Reductie CO ₂ uitstoot	ton/j	40

Civieltechnische installatie

Hieronder is een korte omschrijving van de Civieltechnische werken/werkzaamheden beschreven:

- dichtzetten luik op aanvoergoot, omdat de waterstand wordt verhoogd;
- plaatsen ophaalbaar overstortschot in de oude aanstroomgoot. Deze dient ervoor om de waterstand voor dit schot 1,25 m te verhogen. Hiermee wordt het verval gecreëerd;
- plaatsten leidingwerk Ø1.200 en maken aansluiting op bestaande aanstroomgoot. Dit is de aanvoer van de vijzel;
- ophogen betonwand. Doordat er een schot geplaatst is in de aanstroomgoot, zal het waterniveau stijgen. Om dit in de goot te houden dient de betonwand opgehoogd te worden.
- realiseren sparing in aanstroomgoot ten behoeve van de uitstroom van de vijzel;
- plaatsen schotbalkspanning in sparing. Deze is er voor om de vijzel stil te kunnen leggen en te kunnen verwijderen;
- realiseren fundering vijzel op een stelconplaat.

Werktuigbouwkundige installatie

De optimale vijzelturbine voor deze situatie is een compacte gesloten buisvijzel. Hierdoor worden lekkages en contact van personeel met afvalwater voorkomen.

Elektrotechnische installatie

Voor de elektrotechnische aansluiting van de waterkrachtcentrale op de RWZI zijn de volgende werkzaamheden / aspecten van toepassing:

- elektrische aansluiting op schakelkast van de retourslibpompen van het retourslibgemaal;
- kabel tussen vijzel(s) en retourslibgemaal in de grond leggen. lengte +/- 45 m;
- aansluiten meter op bestaande installatie.

Investeringskosten

De investeringskosten van de waterkrachtcentrale voor locatie 1 zijn gegeven in tabel 6.2. De totale investeringskosten bedragen € 152.900,-.

Tabel 6.2 **Investeringskosten waterkrachtcentrale locatie 1 (vijzelturbine)**

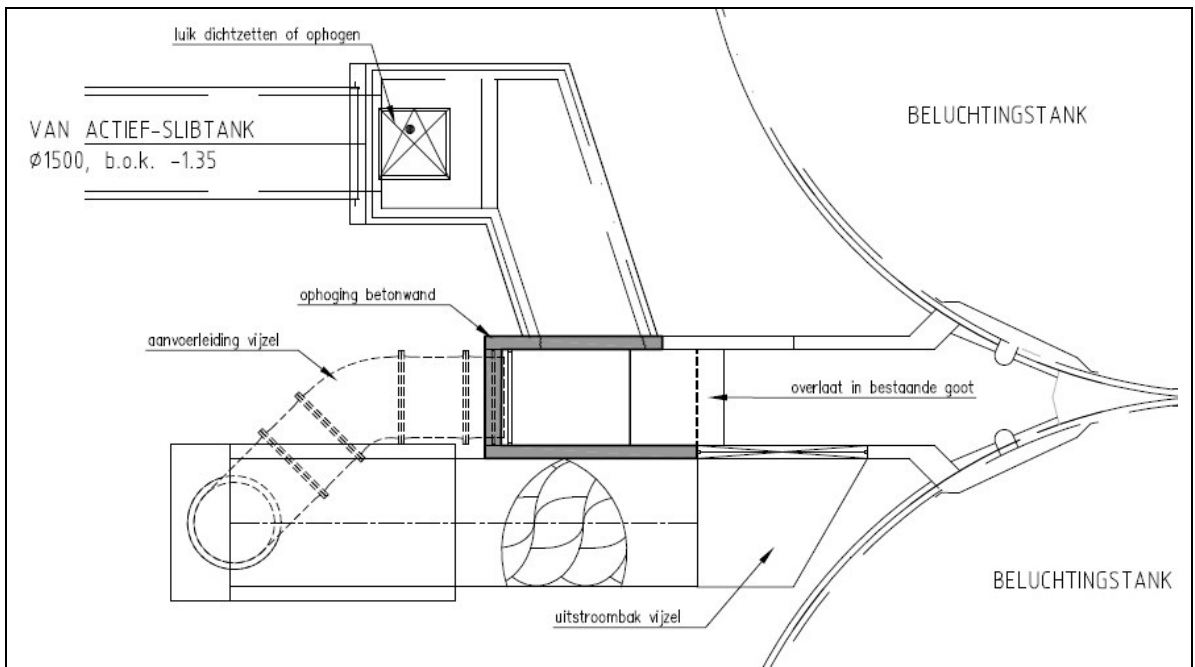
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Omschrijving installatie onderdelen	Kosten
Civieltechnische elementen	€
Dichtzetten luik 1.000 x 1.000	1.000,-
Ophaalbaar overstortschot	5.000,-
Leidingwerk Ø1.200	20.000,-
Ophogen betonwand ca. 2 m	10.000,-
Sparing in wand uitstroom	3.000,-
Schotbalkspanning	3.000,-
Fundering vijzel	5.000,-
Eventuele bronnering	5.000,-
Totaal Civiele bouwkosten	52.000,-
Werktuigbouwkundige elementen	
Vijzel 3.100 m ³ /h	45.000,-
Elektrotechnische elementen	4.000,-
Totaal bouwkosten	101.000,-
Investeringskosten	
Bouwkosten	101.000,-
Onvoorzien 15%	15.150,-
Inrichtingskosten 10%	11.700,-
BTW 19,5%	25.000,-
Totaal investeringskosten	152.900,-

Terugverdientijd

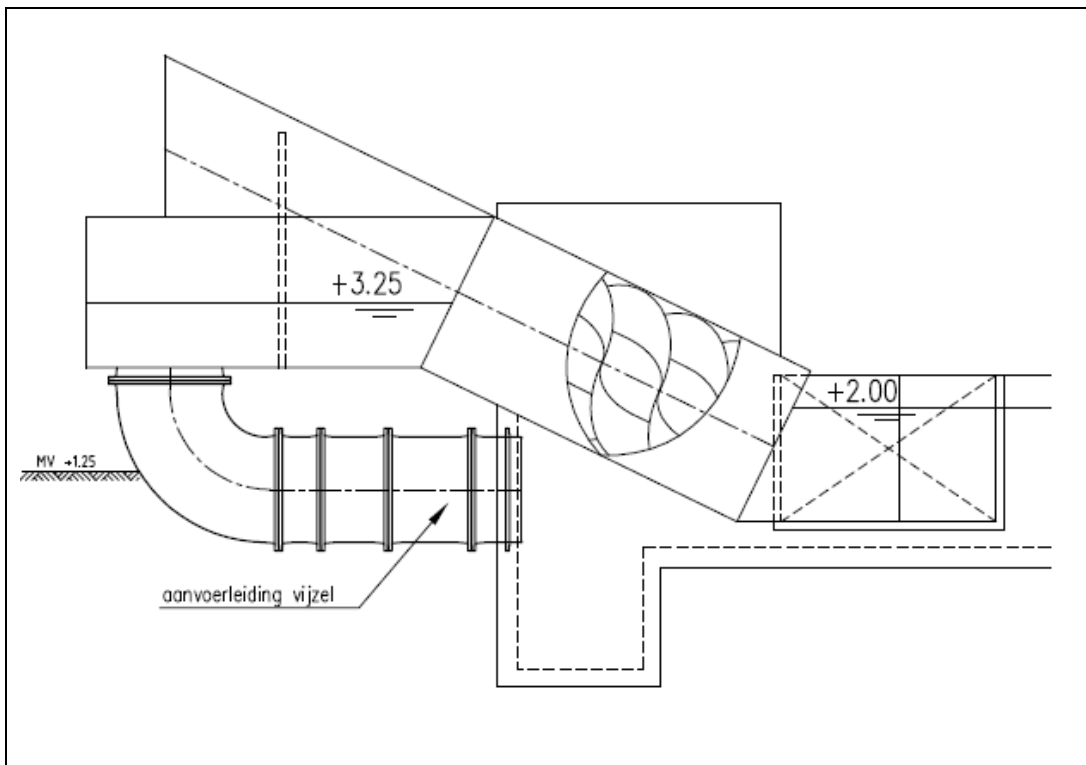
De resultaten van de Netto Contante Waarde berekening zijn gegeven in tabel 6.3. Hierbij is een elektriciteitsstarief gehanteerd van 0,15 €/kWh. Uit de resultaten blijkt, dat de terugverdientijd 39 jaar bedraagt. De installatie wordt als niet financiële haalbaar beschouwd.

Tabel 6.3 Resultaten van de Netto Contante Waarde berekening

Discontovoet (reëel)			4%				
Energieopbrengst			62,711	MWh			
Energieprijs			0,15	Euro/kWh			
CO2 reductie			40	ton/jaar			
Investeringskosten		€	Levensduur		Resultaat		
Civiel		78800	40	jaar	NCW	1.152	Euro
Werktuigbouwkundig		68200	30	jaar	TVT	39	jaar
Electrotechnisch		6100	25	jaar			
Totaal		153100					
NPV berekening							
	Jaar	Perioden	Investering	Onderhoud	Opbrengst	Cashflow	NPV p/jr
							NPV cum.
	1	0	153.100	0	3.136	-149.964	-149964
	2	1	0	500	9.407	8.907	8564
	3	2	0	500	9.407	8.907	8235
	4	3	0	500	9.407	8.907	7918
	5	4	0	500	9.407	8.907	7613
	6	5	0	500	9.407	8.907	7321
	7	6	0	500	9.407	8.907	7039
	8	7	0	500	9.407	8.907	6768
	9	8	0	500	9.407	8.907	6508
	10	9	0	500	9.407	8.907	6258
	11	10	0	500	9.407	8.907	6017
	12	11	0	500	9.407	8.907	5786
	13	12	0	500	9.407	8.907	5563
	14	13	0	500	9.407	8.907	5349
	15	14	0	500	9.407	8.907	5143
	16	15	0	500	9.407	8.907	4946
	17	16	0	500	9.407	8.907	4755
	18	17	0	500	9.407	8.907	4572
	19	18	0	500	9.407	8.907	4397
	20	19	0	500	9.407	8.907	4227
	21	20	0	500	9.407	8.907	4065
	22	21	0	500	9.407	8.907	3909
	23	22	0	500	9.407	8.907	3758
	24	23	0	500	9.407	8.907	3614
	25	24	0	500	9.407	8.907	3475
	26	25	6.100	500	9.407	2.807	1053
	27	26	0	500	9.407	8.907	3213
	28	27	0	500	9.407	8.907	3089
	29	28	0	500	9.407	8.907	2970
	30	29	0	500	9.407	8.907	2856
	31	30	68.200	500	9.407	-59.293	-18281
	32	31	0	500	9.407	8.907	2640
	33	32	0	500	9.407	8.907	2539
	34	33	0	500	9.407	8.907	2441
	35	34	0	500	9.407	8.907	2347
	36	35	0	500	9.407	8.907	2257
	37	36	0	500	9.407	8.907	2170
	38	37	0	500	9.407	8.907	2087
	39	38	0	500	9.407	8.907	2007
	40	39	0	500	9.407	8.907	1929



Figuur 6.4 Bovenaanzicht vijzelinstallaties op locatie 3 RWZI effluentkanaal



Figuur 6.5 Doorsnede vijzelinstallatie locatie 3 RWZI effluentkanaal

Optie: installatie 90° draaien

Het is ook mogelijk om de vijzelinstallatie 90° te draaien. De aanvoer van de vijzel zou dan via het bestaande luik kunnen worden gerealiseerd.

Dit betekent dat er geen aanvoer-leidingwerk meer nodig is en dat de installatie rechtstreeks aangesloten is op de put. Voor de afvoer van het water van de installatie wordt het nu een ander verhaal. Het uiteinde van de vijzel komt dan ongeveer een meter voorbij de bestaande aanvoergoot van de aëratietank. De uitstroombak van de vijzel dient aangesloten te worden op de aanvoergoot van de aëratietank achter de overlaat. Deze verbinding kan gemaakt worden met een leiding of een betonnen goot. De kosten hiervan komen overeen met de kosten van de aanvoerleiding van het uitgewerkte scenario. Ook is het onzeker of de vijzelinstallatie op de bestaande put gefundeerd kan worden. De optie om de installatie 90° te draaien kent dus geen financieel voordeel en heeft een grotere realisatie onzekerheid.

6.2.2 Scenario 2, waterrad

In scenario 2 is de toepassing van een waterrad in de aanvoergoot van de oude aëratietank verkend. In de aanvoergoot van de oude aëratietank is ruimte om een waterrad te installeren. Het waterrad maakt gebruik van stroming (kinetische energie) en niet, zoals een vijzel, van verval. Het waterrad is relatief eenvoudig te plaatsen op de wanden van de aanvoergoot. Een deel van de afdekroosters moeten hiervoor verwijderd worden. Inpassing van het waterrad heeft hydraulisch minimale gevolgen, opstuwning van water voor het waterrad is minimaal. Verdere aanpassingen aan de gootconstructie zijn niet nodig.

Uitgangspunten waterrad:

- vermogen in kW 3,00
- energie opbrengst in MWh 3,65 (bij 6.992 draaiuren per jaar)

De financiële opbrengst van het waterrad bedraagt slechts € 547,- per jaar. Een dergelijk lage opbrengst levert geen terugverdientijd op over de investeringskosten.

6.3 Locatie 2, effluentgoot – Veluwemeer

Benutten hydraulisch verval of stroming in de effluentgoot naar het Veluwemeer



Figuur 6.6 *Uitstroomconstructie Veluwe randmeer*

De gegevens van de effluentleiding, oude meetgoot naar het Veluwemeer zijn tot dusver beperkt gebleven. Hierdoor is het momenteel niet mogelijk om de haalbaarheid van een waterkrachtcentrale te bepalen.

Uit de huidige gegevens is geschat dat er nauwelijks verval aanwezig is en de haalbaarheid voor waterkracht zeer beperkt is.

7 VERKENNING SUBSIDIEMOGELIJKHEDEN OVERHEDEN

In het kader van de studie, zijn de subsidiemogelijkheden voor de realisatie verkend bij gemeenten Apeldoorn, Harderwijk en provincie Gelderland. In de startbijeenkomst gaf AgentschapNL aan dat er voor een vervolgtraject mogelijkwerijs subsidie kan worden aangevraagd.

7.1 Gemeente Apeldoorn

Met betrekking tot de gemeente Apeldoorn is contact gelegd met de heer T. van Es, duurzaamheidexpert gemeente Apeldoorn. Afdeling 'groen en milieu'

e-mail: t.vanes@apeldoorn.nl
Telefoon: 14055

De heer van Es gaf aan dat de gemeente het project niet geschikt acht voor het verlenen van subsidie. De heer van Es ziet geen toegevoegde waarde voor de gemeente bij een project als dit.

7.2 Gemeente Harderwijk

Met betrekking tot de gemeente Harderwijk is gesproken met de heer B. Oudejans, beleidsadviseur duurzaamheid.

Telefoon: (0341) 411 401

Uit het gesprek bleek dat er bij de gemeente Harderwijk geen mogelijkheid is voor subsidie voor het realisatieproject. Wel ziet de heer B. Oudejans een mogelijkheid tot samenwerking met het waterschap. Dicht bij de RWZI Harderwijk zal een nieuwe woonwijk worden gebouwd. Mocht de waterkrachtcentrale zoveel energie opwekken dat er teveel is voor de RWZI, dan zal deze aan de woonwijk geleverd kunnen worden. Dit is helaas niet het geval.

7.3 Provincie Gelderland

Met betrekking tot de Provincie Gelderland is gesproken met de heer Wouters, Afdeling Klimaat en energie / duurzame energievoorzieningen.

Telefoon: (026) 359 99 99

De heer Wouters gaf aan dat er voor waterkrachtprojecten momenteel geen vast beleid is. Met betrekking tot de WKC op de Hezenbergerstuw is eenmalig subsidie verstrekt in het kader de recessie. Voor subsidies in het kader van het programma klimaat ligt alles tot en met 2011 vast. Van 2012 tot en met 2015 zal er weer een nieuwe regeling voor subsidies van toepassing zijn. Deze regeling wordt begin 2011 besproken. Om in aanmerking te komen voor subsidie in 2012 zal er gezorgd moeten worden dat de waterkrachtcentrale op het programma klimaat terechtkomt. Dit kan door te zorgen dat de waterkrachtcentrale op de agenda komt van de bespreking van begin 2011.

7.4 Lease constructie

Indien de WKC wordt geleased van een investeringsmaatschappij is het mogelijk om de Energie investeringsaftrek toe te passen. De WKC moet wel 'leasegeschikt' zijn, dat wil zeggen vervreemdbaar en niet cruciaal voor de bedrijfsvoering. Uit veel gevallen blijkt dat een leasemaatschappij bereid is om het voordeel van de EIA door te schuiven tot een totaalpercentage van circa 15%. Dit kan de lease maatschappij doen omdat ze SDE subsidie kunnen verkrijgen op de geleverde kWh.

8 CONCLUSIE HAALBAARHEID WATERKRACHT

In de vorige hoofdstukken is het conceptuele ontwerp gemaakt en zijn de financiële aspecten van de waterkrachtcentrale beschreven. Uit de studie is gebleken dat de financiële haalbaarheid van waterkrachtcentrales nog niet zo eenvoudig is, als werd verwacht. Daarnaast is het aantal draaiuren dat de WKC in bedrijf kan zijn beperkt, vals gevolg van DWA- en RWA-situaties.

De waterkrachttechnieken worden voornamelijk afgerekend op hun financiële terugverdientijd. In deze studie is een eerste inschatting gemaakt van de investeringskosten. Hierbij is uitgegaan van een 15% onvoorzien in de investeringskosten. In deze studie is geen marktwerking meegenomen. Momenteel zijn waterkrachttechnologie leveranciers op zoek naar 'exposure' locaties, waarmee de bekendheid van hun technologie kan worden vergroot. Daardoor kunnen de werkelijke investeringskosten in de praktijk lager uitvallen.

8.1 Haalbaarheid op RWZI Apeldoorn

Uit de berekening van de terugverdientijd middels de Netto Contante Waarde Methodiek blijkt dat voor locatie 3 op RWZI Apeldoorn met een vijzeltechniek een terugverdientijd van 16 jaar kan worden bereikt. Voor deze situatie lijkt waterkracht haalbaar. Het advies luidt om voor deze situatie een vervolgtraject te starten. De installaties op de andere locaties worden als niet financieel haalbaar geacht.

Voor de installatie tussen aëratietank 2 en de vijf nabezinktanks geldt dat indien de effluentverbetering (of een deel daarvan) wordt meegenomen de terugverdientijd afneemt tot circa zeven jaar. De installatie wordt dan wel als financieel haalbaar geacht. Zonder de effluentverbetering is dit niet het geval.

8.2 Haalbaarheid op RWZI Harderwijk

Op de RWZI Harderwijk is de hoogste terugverdientijd van een waterkrachtcentrale middels een vijzelturbine 39 jaar. Dit kan worden gerealiseerd bij een tarief van 0,15 €/kWh. Echter de installatie wordt beschouwd als niet financieel haalbaar. Een waterrad op deze locatie heeft een dermate lage opbrengst dat er geen reële terugverdientijd kan worden berekend.

8.3 Subsidiemogelijkheden

Uit navraag bij provincie en gemeente blijkt dat er momenteel geen subsidiemogelijkheden voor de bouw van waterkrachtcentrales van toepassing zijn. Hierdoor de financiële terugverdientijd gelijk aan de economische terugverdientijd.

8.4 Imagoverbetering Waterschap Veluwe

De realisatie van waterkrachtcentrales biedt het waterschap de mogelijkheid om hieromtrent veel exposure te creëren. Waterkracht spreekt zeer tot de verbeelding van burgers en bedrijven. Het waterschap profileert zich hiermee positief in zijn maatregelen om te kunnen voldoen aan de overeenkomsten uit het klimaat akkoord en krijgt hiermee een groener imago. De financiële waarde van een dergelijke groene imagoverbetering is in deze studie niet verkend. Het is zeker aan te bevelen om dit bij het management van het waterschap te inventariseren en te bepalen wat de financiële meerwaarde is van een dergelijke imagoverbetering. Deze waarde kan dan worden toegevoegd bij de opbrengsten van het systeem, zodat de terugverdientijd kan worden gereduceerd.

Tevens kan de realisatie van de waterkrachtcentrale worden beschouwd als onderdeel van het maatschappelijk verantwoord ondernemen.



BIJLAGE 1

Beschouwing voor AgentschapNL



INLEIDING

Waterschappen in Nederland verkennen momenteel de mogelijkheden van energiebesparingen in de afvalwaterketen. In het MJA3 zijn zekere en onzekere energiebesparende maatregelen opgenomen. Naast energiebesparing is het waterschap voornemens om mogelijkheden voor het produceren/opwekken van energie te verkennen, 'renewable energy'. Eén van de mogelijkheden van energieopwekking is energie uit waterkracht. De belangrijke criteria van waterkracht zijn het verval (verschil in hoogte) en stroming (het debiet). Turbines of vijzels zetten de waterkracht om in elektriciteit. De elektriciteit is geschikt voor hergebruik door de RWZI of levering aan het net.

Er zijn twee verschillende methodes om energie te generen met behulp van een waterkrachtcentrale. Men maakt onderscheid tussen potentiële energie en kinetische energie.

Potentiële energie berust op het principe de zwaartekracht. Wanneer water van hoog naar laag stroomt, bevat het een bepaalde hoeveelheid aan energie. Er zijn een aantal factoren waarmee je de potentiële energie van water mee kunt berekenen:

- massa van het water (ρ , in kg/m^3);
- hoeveelheid water (Q , debiet in m^3/s);
- hoogteverschil dat het water aflegt (H , in meters);
- valversnelling (gravitatie, g , in m/s^2 , ca. 9,81).

Met deze gegevens is de potentiële energie van het water te berekenen middels de volgende vergelijking:

$$\text{Potentiële gravitatie energie (W)} = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g$$

Kinetische energie is de energie die een bepaalde massa bij een bepaalde snelheid heeft. Er zijn een aantal factoren waarmee je de kinetische energie van het water kunt berekenen:

- massa van het water (ρ , in kg/m^3)
- snelheid van het water (v , in m/s)
- oppervlak van het doorstroomprofiel (A , in m^2)

Met deze gegevens is de kinetische energie van het water te berekenen, middels de volgende formule.

$$\text{Kinetisch energie (W)} = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Bepaling van de energieproductie

Het theoretische potentieel, E_{th} , is de maximale hoeveelheid energie die op jaarbasis op een locatie beschikbaar is. Deze energie is gelijk aan het verlies aan potentiële energie van de waterstroom:

$$E_{th} = \int_0^T P(t) \cdot dt \quad (\text{in Wh})$$

In deze formule is $P(t)$ het vermogen in kW op een bepaald tijdstip en T het aantal uren in een beschouwde tijdperiode (bijvoorbeeld voor een jaar is $T = 8.760$ uren). Het theoretische potentieel van een locatie, E_{th} , is dus het product van vermogen en tijd.

Potentieel Waterkracht vijzeltechniek

In deze paragraaf wordt het potentieel van waterkracht middels vijzelturbines voor AgentschapNL uitgewerkt. In eerste instantie dient bij het bepalen van het potentieel het debiet en verval bekend te zijn. Achtereenvolgens dient er per uur het debiet bepaald te worden. Afhankelijk van de toe te passen techniek en ontwerpcapaciteit, dient bepaald te worden wat het rendement is bij het voorkomende uurdebiet. Tenslotte kan het vermogen per uur worden berekend met de genoemde formules in de vorige paragraaf.

In dit hoofdstuk is bepaald in welke range waterkracht wel/niet toepasbaar is voor waterschappen. Hierbij gaat het dus om specifieke locaties op kleine schaal (relatief laag verval/debiet). Hierbij zou gekeken worden naar vijzels en waterraden (die voor dergelijke schaal interessant kunnen zijn). Uit onze eerste berekeningen bleek dat waterraden helemaal niet financieel rendabel zijn voor dergelijke situatie. Een waterrad wordt dan ook nimmer geadviseerd aan het waterschap.

Voor de potentie van waterkracht met vijzelturbines is een inschatting gemaakt van debiet en verval bij een bepaalde range aan omstandigheden. Aangezien de praktijksituaties onderhevig zijn aan diverse variabelen die van invloed zijn op de investeringskosten en energieopbrengsten is een range bepaald bij een aantal uitgangspunten.

Het potentieel van waterkracht op RWZI is bepaald voor kleinschalige situaties met een verval variërend tussen 0,5 en 4 meter en een ontwerpdebiet tussen 500 en 5.000 m³/h. Het stappenplan om te komen tot inzicht in de financiële haalbaarheid binnen de technische levensduur, is hieronder beschreven. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de range van Civiele bouwkosten bedraagt € 50.000 - 200.000,- per locatie;
- de range van bouwkosten van vijzelturbines bedraagt € 32.000 - 80.000,- per locatie;
- voor de eenvoudigheid van de berekening zijn de Elektrotechnische kosten constant verondersteld op € 10.000,- per locatie. Hierbij is teruglevering aan de installatie mogelijk;
- tarief van € 0,15 per kWh (besparing verbruik RWZI);
- rendement van 70% (maximaal is 77% maar bij lager debiet is het rendement lager);
- aantal draaiuren van 7.300 (20 uur per dag)
- 15% onvoorzien
- 10% inrichtingskosten.

Stap 1 Bepalen energieopbrengst

De eerste stap is het bepalen van de energiepotentieel van de waterkrachtcentrale. Uit het potentieel kan de financiële opbrengst worden bepaald. In tabel 1 is de energieopbrengst van een vijzelinstallatie gepresenteerd die gedimensioneerd is volgens bovenstaande uitgangspunten. De opbrengst varieert tussen de € 1.044 en € 41.774,- per jaar.

Tabel 1 *Energieopbrengst per jaar*

DWA (m ³ /h)	Verval (m)							
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	
500	1.044	1.567	2.089	2.611	3.133	3.655	4.177	
1.000	2.089	3.133	4.177	5.222	6.266	7.310	8.355	
1.500	3.133	4.700	6.266	7.833	9.399	10.966	12.532	
2.000	4.177	6.266	8.355	10.444	12.532	14.621	16.710	
2.500	5.222	7.833	10.444	13.054	15.665	18.276	20.887	
3.000	6.266	9.399	12.532	15.665	18.798	21.931	25.065	
3.500	7.310	10.966	14.621	18.276	21.931	25.587	29.242	
4.000	8.355	12.532	16.710	20.887	25.065	29.242	33.419	
4.500	9.399	14.099	18.798	23.498	28.198	32.897	37.597	
5.000	10.444	15.665	20.887	26.109	31.331	36.552	41.774	

Stap 2 Bepalen investeringskosten

Daarnaast zijn de investeringskosten in 40 jaar bepaald voor de minimale en maximale waarde van Civiele bouwkosten. De minimale investeringskosten bedragen circa € 195.000,- De maximale investeringskosten bedragen circa € 405.000,-.

Tabel 2 *Investeringskosten in 40 jaar waarbij minimale civiele kosten zijn gehanteerd*

DWA (m ³ /h)	Verval (m)							
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	
500	192.548	192.548	192.548	192.548	192.548	192.680	195.969	
1.000	195.422	195.422	195.422	201.170	197.614	207.070	222.282	
1.500	201.170	209.791	215.539	221.286	229.908	224.338	227.216	
2.000	209.791	215.539	221.286	227.034	232.782	238.530	232.150	
2.500	215.539	221.286	227.034	232.782	238.530	244.277	237.631	
3.000	221.286	227.034	222.282	232.150	238.728	250.240	265.041	
3.500	224.160	230.094	234.891	244.484	250.240	275.182	284.776	
4.000	227.034	238.728	245.306	248.595	258.463	284.776	293.547	
4.500	232.782	248.595	253.529	260.929	270.797	290.532	317.667	
5.000	241.403	252.707	259.559	271.893	289.709	311.637	330.823	

Tabel 3 Investeringskosten in 40 jaar waarbij maximale civiele kosten zijn gehanteerd

DWA (m ³ /h)	Verval (m)							
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
500	264.394	264.394	264.394	264.394	264.394	264.394	264.526	267.816
1.000	267.268	267.268	267.268	267.268	273.016	269.460	278.916	294.128
1.500	273.016	281.637	287.385	293.133	293.133	301.754	296.184	299.062
2.000	281.637	287.385	293.133	298.880	298.880	304.628	310.376	303.996
2.500	287.385	293.133	298.880	304.628	304.628	310.376	316.124	309.478
3.000	293.133	298.880	294.128	303.996	303.996	310.574	322.086	336.887
3.500	296.007	301.940	306.737	316.330	316.330	322.086	347.029	356.622
4.000	298.880	310.574	317.152	320.441	320.441	330.309	356.622	365.393
4.500	304.628	320.441	325.375	332.776	332.776	342.643	362.378	389.513
5.000	313.250	324.553	331.405	343.739	343.739	361.555	383.483	402.669

Stap 3 Bepalen Wel/Niet terugverdienbaar binnen technische levensduur

Achtereenvolgens wordt middels de Netto Contante Waarde methodiek berekend of de installatie **wel** of **niet** terugverdiend kan worden binnen de technische levensduur. In tabel 4 is het resultaat te zien voor een installatie met minimale Civiele bouwkosten. In tabel 5 is gepresenteerd of de installatie terugverdienbaar is binnen twintig jaar indien de maximale civiele bouwkosten van toepassing zijn.

Tabel 4 Wel of niet terugverdienbaar binnen 20 jaar, minimale Civiele kosten

DWA (m ³ /h)	Verval (m)							
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
500	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet
1.000	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet
1.500	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel
2.000	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel
2.500	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel
3.000	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel
3.500	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel
4.000	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel
4.500	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel
5.000	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel

Tabel 5

Wel of niet terugverdienbaar binnen 20 jaar, maximale Civiele kosten

DWA (m ³ /h)	Verval (m)							
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
500	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet
1.000	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet
1.500	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet
2.000	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet
2.500	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel	Wel
3.000	Niet	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel
3.500	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel
4.000	Niet	Niet	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel
4.500	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel
5.000	Niet	Niet	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel	Wel