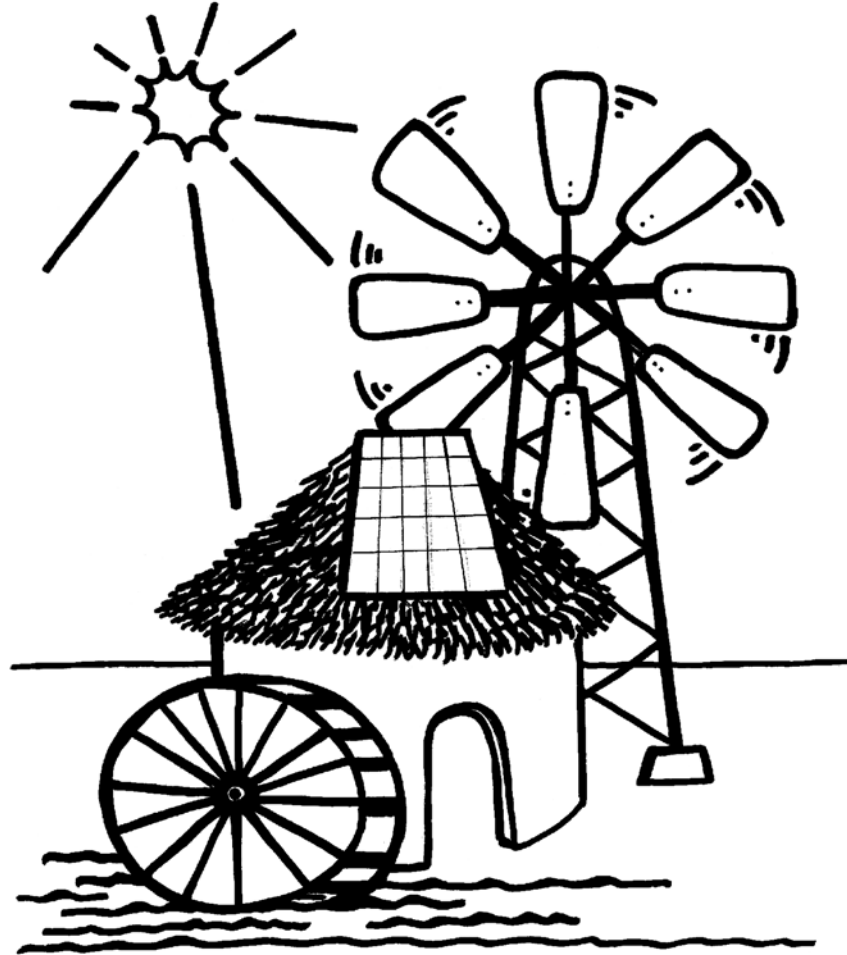


# cursus Duurzame Energie in ontwikkelingslanden



Bundel behorende bij de cursus.

Mei 2003

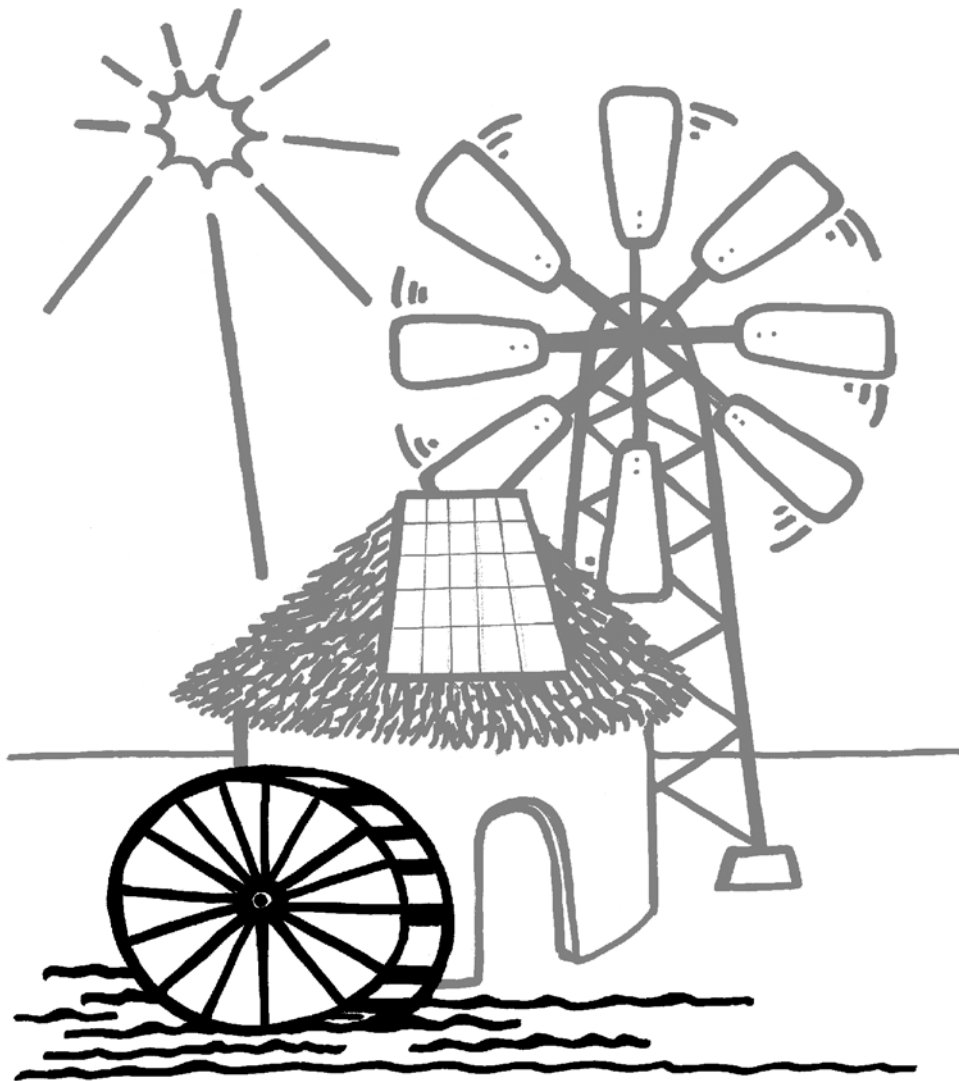
Uitgegeven door: studievereniging MONSOON en de Werkgroep OntwikkelingsTechnieken, Universiteit Twente

Werkgroep OntwikkelingsTechnieken (WOT)  
Universiteit Twente  
postbus 217  
7500 AE ENSCHEDE

Studievereniging MONSOON  
Universiteit Twente  
postbus 217  
7500 AE ENSCHEDE

## Hoofdstuk 2

# Waterkracht



cursus Duurzame Energie in ontwikkelingslanden  
samengesteld door Ferdinand Kroon

<b>2. WATERKRACHT .....</b>	<b>3</b>
2.1 INLEIDING .....	3
2.1.1 <i>Geschiedenis</i> .....	3
2.1.2 <i>Voor- en nadelen</i> .....	3
2.1.3 <i>Potentieel</i> .....	4
Van water naar Watt .....	4
2.1.4 <i>Grootschalige waterkracht</i> .....	5
Werking .....	5
Pumped storage plants .....	6
Variaties in watertoevoer .....	6
Haalbaarheid .....	6
2.1.5 <i>Kleinschalige waterkracht</i> .....	6
Werking .....	7
Variaties in watertoevoer .....	7
2.1.6 <i>De context</i> .....	8
De context voor grootschalige waterkracht projecten .....	8
De context voor kleinschalige waterkracht projecten .....	8
2.2 METEN VAN VERVAL EN DEBIET .....	9
2.2.1 <i>Het meten van het verval</i> .....	9
Waterpaskijker en theodoliet .....	9
Inclinometer .....	10
Waterslang en drukmeter .....	10
Waterpas en rechte lat .....	10
Waterslang en meetlat .....	10
Overige methodes .....	10
2.2.2 <i>Debietmeting</i> .....	11
Afdammen van de rivier .....	11
Meetdam .....	11
Zout-methode .....	11
Snelheids- en profielmeting .....	12
Stroomsnelheidsmeter .....	12
2.3 CIVIELE WERKEN .....	13
2.3.1 <i>Systeem layout</i> .....	13
2.3.2 <i>Dammen en keerdammen</i> .....	14
2.3.3 <i>Vispassages</i> .....	14
2.3.4 <i>Waterinlaat</i> .....	14
2.3.5 <i>Het kanaal</i> .....	15
De bezinkingstank .....	15
Overloop .....	15
Reservoir voor de drukpijp .....	15
2.3.6 <i>Drukpijp</i> .....	15
2.4 TYPES TURBINES .....	16
2.4.1 <i>Impuls turbines</i> .....	16
Watterraderen .....	16
Pelton turbine .....	17
Turgo turbine .....	17
De Ghatta en de Multi-Purpose Power Unit .....	17
Crossflow of Michell-Banki turbine .....	18
2.4.2 <i>Reactie turbines</i> .....	19
Francis turbine .....	19
Propeller en Kaplan turbines .....	20
2.4.3 <i>Keuze van turbine</i> .....	20

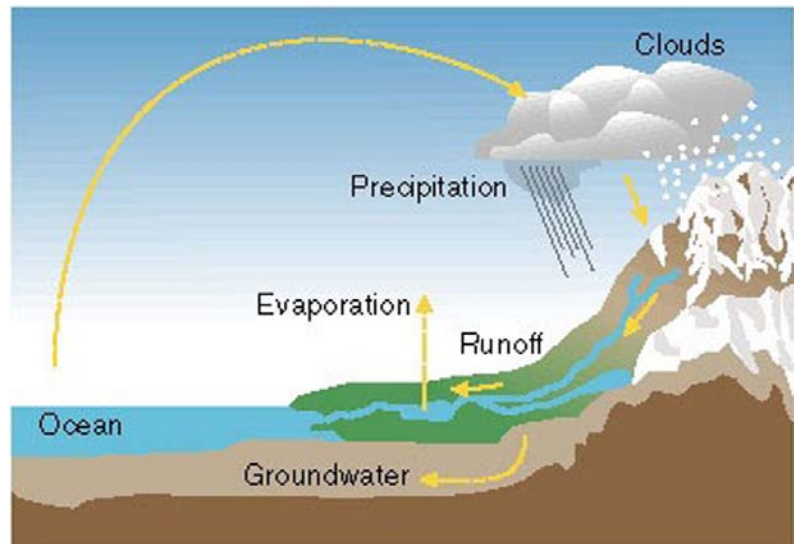
---

2.5 TOEPASSING.....	21
2.5.1 <i>Mechanische energie</i> .....	21
Directe aandrijving.....	21
V-snaren.....	21
Aandrijfriemen en katrollen.....	21
Ketting en tandwielen.....	21
Versnellingen.....	21
2.5.2 <i>Elektriciteitsopwekking</i> .....	22
Snelheidscontrole.....	22
2.6 IMPLEMENTATIE.....	23
2.6.1 <i>Fases bij de invoering</i> .....	23
Planning.....	23
Implementatie.....	23
Bedrijfsvoering.....	23
2.6.2 <i>Problemen bij de invoering</i> .....	24
2.7 WATERRAMMEN.....	25
2.7.1 <i>Geschiedenis</i> .....	25
2.7.2 <i>Werking</i> .....	26
2.7.3 <i>Gebruik</i> .....	27
2.7.4 <i>Types</i> .....	27
2.8 KOSTEN EN OPBRENGSTEN.....	28
2.8.1 <i>Economische aspecten</i> .....	28
Investerings.....	28
Inkomsten.....	29
Bedrijfs- en onderhoudskosten.....	29
2.8.2 <i>Waterrammen</i> .....	29
2.9 ONDERHOUD.....	30
2.9.1 <i>Civiele werken</i> .....	30
2.9.2 <i>Turbines</i> .....	30
2.10 LITERATUUR.....	31

## 2. Waterkracht

### 2.1 Inleiding

Waterkracht ontstaat uit de waterkringloop; De zon verdampt water uit oceanen, zeeën, meren en rivieren waardoor vochtige lucht ontstaat. Boven land stijgt deze vochtige lucht op en worden er wolken gevormd. Met name in heuvels en bergen komt dit als neerslag weer naar beneden. Door rivieren stroomt het water onder invloed van het hoogteverschil weer terug naar zee. De kracht van dit stromend en vallend water kan op verschillende manieren omgezet worden in bruikbare energie. Met behulp van een waterturbine kan de kracht in een draaiende beweging worden omgezet. Door de as van de turbine te koppelen aan een generator wordt elektriciteit opgewekt. De draaiing van de as kan ook direct gebruikt worden in een molen. Met behulp van een waterram kan de kracht gebruikt worden om direct water te verpompen. Naast deze toepassingen zijn er andere mogelijkheden om van waterkracht gebruik te maken. Waaronder golfenergie en energie uit getijdestromingen, we gaan hier in dit hoofdstuk niet op in.



*De waterkringloop*

#### 2.1.1 Geschiedenis

Het gebruik van stromend of vallend water als energiebron kent een lange geschiedenis. Waterkracht is in het verleden veelvuldig ingezet voor het mechanisch bewerken van allerlei grondstoffen, zoals het malen van graan en het zagen van hout. Traditioneel werd de energie van water omgezet met waterraderen. Deze waterraderen werden al gebruikt in de tweede of derde eeuw voor Christus. In het begin van de negentiende eeuw kreeg het gebruik van waterkracht een nieuwe impuls door de uitvinding van de waterturbine om elektriciteit mee op te wekken.

Kleinschalige waterkracht was de meest gebruikte vorm van elektriciteitsopwekking aan het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw. In 1924 waren er bijvoorbeeld in Zwitserland ongeveer 7000 kleinschalige waterkrachtcentrales in gebruik. Het verbeteren van de transportmogelijkheden van elektriciteit door middel van hoogspanningsleidingen zorgde ervoor dat de interesse in kleinschalige waterkracht geleidelijk verdween. Verhoging van de energieprijzen, een milieubewustere gedachte en verbetering van de technologie zorgden voor een hernieuwde interesse in de technologie van kleinschalige waterkracht, die begon in China. Schattingen zeggen dat er daar tussen 1970 en 1985 zo'n 76.000 kleinschalige waterkrachtcentrales gebouwd zijn.

#### 2.1.2 Voor- en nadelen

Waterkracht is een zeer schone vorm van energie. Ze gebruikt het water slechts, nadien is het water beschikbaar voor andere doeleinden, zij het op een lager niveau. Het omzetten van de potentiële energie van water in mechanische energie is een technologie met een zeer hoge efficiëntie (in de meeste gevallen het dubbele van conventionele thermische energiecentrales). Het gebruik van waterkracht kan een bijdrage leveren aan besparingen op het verbruik van uitputbare energiebronnen. Elke 600 kWh elektriciteit die met een waterkrachtcentrale wordt gegenereerd komt overeen met het equivalent van 1 vat olie (bij een omzetting van olie in elektriciteit met een efficiëntie van 38%).

De belangrijkste voordelen van waterkracht zijn:

- het vermogen is meestal continu aanwezig,
- de hoeveelheid beschikbare energie is (redelijk) voorspelbaar,
- geen verbruik van brandstoffen en weinig onderhoud waardoor de bedrijfskosten erg laag zijn en er geen substituten (zoals diesel) ingevoerd hoeven te worden,
- het is een robuuste technologie met een lange levensduur (zonder veel extra investeringen kan een installatie tot 50 jaar meegaan).

Hier tegenover staan de volgende nadelen:

- de technologie is locatiespecifiek,
- de plaats waar waterkracht aanwezig is, is vaak niet de plaats waar de opgewekte energie nodig is,
- er zit een maximum aan het op te wekken vermogen (dit stelt grenzen aan de vraag naar energie).

Voor kleinschalige en grootschalige waterkracht zijn er nog specifieke voor- en nadelen. Deze zullen verderop ter sprake komen.

### 2.1.3 Potentieel

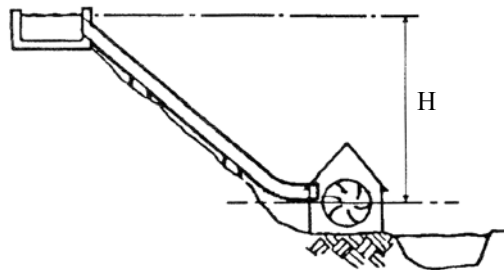
Het energie-potentieel aan waterkracht wordt bepaald door het volume van de afstroming van water door rivieren en de afstand die het water naar beneden valt voor het de oceaan weer bereikt. Schattingen voor het totale potentieel aan waterkracht in de wereld lopen uiteen van 36.000 tot 50.000 terawatt-uur per jaar (TWh/jaar), wat enkele malen meer is dan de totale uitvoer van elektriciteitscentrales in de wereld.

Realistisch beschouwd kan worden aangehouden dat 10.000 tot 20.000 TWh/jaar potentieel economisch te exploiteren is. In 1995 was 2.380 TWh/jaar geëxploiteerd waarvan 2.265 grootschalig, en 115 kleinschalig.

#### Van water naar Watt

Om het vermogenspotentieel van een rivier te bepalen, is het noodzakelijk het verval en het debiet te weten. Het debiet van een rivier is de hoeveelheid water (in m<sup>3</sup>) dat per seconde door een dwarsdoorsnede van de rivier stroomt. Debieten worden uitgedrukt in kubieke meter per seconde (m<sup>3</sup>/s). Het verval is het verticale hoogteverschil (in meters) waarover het water valt.

Het theoretische vermogen (P) dat aanwezig is bij een gegeven verval van het water is recht evenredig met het verval H en het debiet Q.



$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \text{ (kW)}$$

Met P in kiloWatt, Q in m<sup>3</sup>/s en H in meters.

Dit aanwezige vermogen wordt door de waterkrachtcentrale omgezet in mechanische energie en elektriciteit. De efficiëntie van een turbine is over het algemeen niet hoger dan 80%. Daarbij komen nog verliezen van energie door wrijving in de buis en beperkte efficiëntie van de apparatuur die aangedreven wordt. Hierdoor zal het uiteindelijk opgewekte vermogen een gedeelte zijn van het aanwezige vermogen. Grofweg kan uit gegaan worden van een efficiëntie van 50% voor kleinschalige toepassingen. Het theoretisch vermogen moet dan dus met 0,50 vermenigvuldigd worden.

*Voorbeeld: Een rivier met een verval van 10 meter met een debiet van 0,3 m<sup>3</sup> per seconde zal bij benadering leveren: (9,8 x 0,3 x 10 x 0,5 =) 15 kiloWatt.*

## 2.1.4 Grootschalige waterkracht

Grootschalige waterkrachtcentrales beschikken over dammen met daar achter grote stuwmeren. Hierin kunnen grote hoeveelheden water opgeslagen worden die op het moment van aanbod niet gebruikt worden. Water uit natte periodes kan op deze manier in droge periodes (of zelfs droge jaren) gebruikt worden. Het water wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken. Het stroomt door een turbine die gekoppeld is aan een elektriciteitsgenerator. Naast dammen zijn allerlei hulpconstructies nodig zoals overlopen, afsluiters, inlaat voor het water naar de turbines en voorzieningen voor schepen en vissen om de dam te passeren. De meeste dammen in de wereld zijn oorspronkelijk gebouwd zonder een elektriciteitsopwek-functie maar kunnen zeer eenvoudig hiervoor geschikt worden gemaakt.

In de jaren 60 en 70 leken grootschalige waterkrachtcentrales de oplossing voor het energievraagstuk in ontwikkelingslanden. Er werden dan ook volop stuwmeren en waterkrachtcentrales aangelegd. Voorbeelden hiervan zijn Aswan in Egypte, Tarbela in Pakistan en Cahora Bassa in Mozambique.

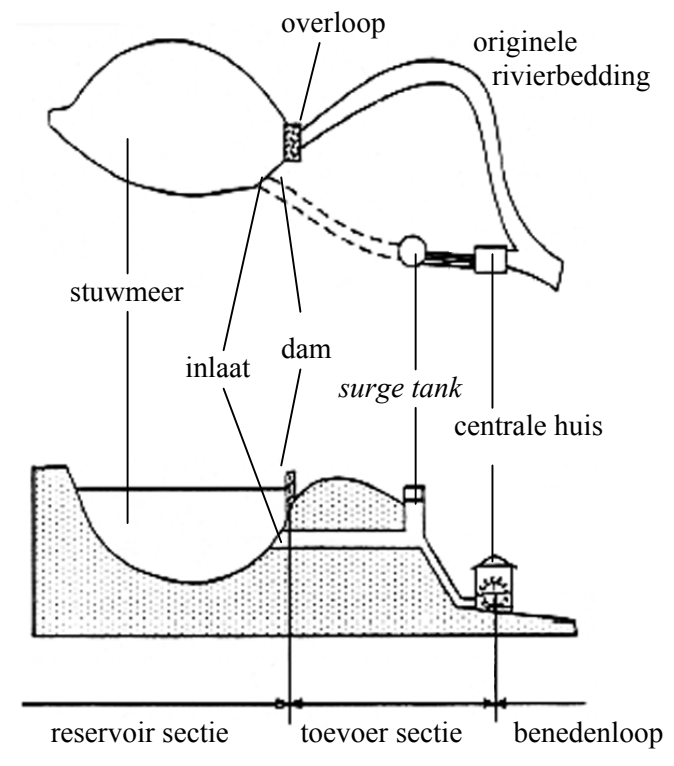
Het enthousiasme voor dergelijke projecten is tegenwoordig nagenoeg verdwenen. De extreem hoge financieringskosten, de lange terugverdientijd en de hoge milieukosten zijn hiervan de oorzaak. Vooral de milieukosten wegen zwaar bij grootschalige waterkrachtcentrales. Als voorbeeld hiervan kan het Kariba-meer, op de grens tussen Zimbabwe en Zambia, dienen. Toen de stuwdam klaar was, en men het meer vol liet lopen, verdween er meer dan 5000 km<sup>2</sup> land onder water en waren 57.000 mensen gedwongen een nieuw onderkomen te vinden. Grootschalige waterkrachtcentrales leiden tot onacceptabel hoge milieu- en sociale kosten: ondergelopen vruchtbaar land (langs een rivier is het land vaak vruchtbaar), gedwongen verhuizingen van plattelandsbevolking en het gevaar van aan stilstaand water gerelateerde ziekten als bilharzia en malaria.

Enkele andere mogelijke effecten van grootschalige waterkracht zijn;

- De begroeiing (biomassa) op de ondergelopen grond van een stuwmeer kan onder water gaan rotten. Dit zorgt voor veel uitstoot van methaan (broeikasgas).
- Effect op het klimaat. Het regent vaker in de buurt van een stuwmeer.
- Effect op seismische activiteit. Door het gewicht van het stuwmeer kunnen er aardbevingen ontstaan.

### Werking

Waterkrachtinstallaties hebben hun specifieke elementen die aangepast dienen te worden aan de situatie van de locatie. In de figuur zijn de belangrijkste elementen van een installatie aangegeven. De dam blokkeert de rivier benedenstrooms met als doel het opslaan van water. De overloop reguleert de maximale hoeveelheid water en zorgt ervoor dat vloedgolven de dam kunnen passeren. De inlaat zorgt voor de toevoer van water naar de turbines en dient beschermd te worden met een vuilrooster. De tunnel en de drukpijp vervoeren het water naar het centrale huis met de turbines. Een zogenaamde 'surge-tank' bevindt zich tussen de inlaat en de turbine(s) om fluctuaties in druk en waterniveau te dempen. Na het verlaten van het centrale huis bevindt het water zich weer op het niveau van de rivier.



elementen van een grootschalige waterkracht installatie

### **Pumped storage plants**

*Pumped storage plants* zijn speciale versies van waterkracht installaties waarbij in de uren met verminderde vraag elektriciteit gebruikt wordt om water van een laag niveau naar een hoger niveau te pompen. Gedurende de piekvraag naar elektriciteit kan dit water weer worden gebruikt om elektriciteit op te wekken. In plaats van conventionele turbines worden hiervoor reversibele pompen gebruikt die zowel het omhoog pompen als het energie opwekken voor hun rekening nemen. Wereldwijd zijn enkele honderden van dit soort installaties gebouwd, met name in ontwikkelde landen.

### **Variaties in watertoevoer**

Ondanks de bouw van een stuwdam is het zeer goed mogelijk dat de fluctuaties in de watertoevoer zodanig zijn dat er niet gedurende het gehele jaar een continue energieopwekking mogelijk is. Een goed voorbeeld van zo'n sterk fluctuerende rivier is de Limpopo op grens tussen Zimbabwe en Zuid Afrika: gedurende de drie droogste maanden van het jaar stroomt er 1 % van de jaarlijkse afvoer door deze rivier, terwijl de natste drie maanden 85 % voor hun rekening nemen!

Dit soort fluctuaties zouden natuurlijk op te vangen zijn door het bouwen van een hogere, grotere dam, maar dit leidt vaak tot enorm hoge kosten en milieuschade. Twee betere oplossingen zijn het koppelen van de dam met een ander reservoir met andere watertoevoer-karakteristiek (door middel van het koppelen van de waterlopen dan wel door het koppelen van de elektriciteitsnetten) en thermische aanvullend vermogen voor periodes van onvoldoende hydraulisch vermogen.

### **Haalbaarheid**

Grootschalige waterkrachtinstallaties vragen een enorme kapitaalinvestering die alleen op lange termijn terug verdiend kan worden. De lange bouwtijd van een dam met de bijbehorende installaties legt kapitaal lang vast zonder dat er inkomsten tegenover staan.

Een bouwtijd van tussen de 3½ en 7½ jaar (voor respectievelijk 20 en 2000 MW vermogen) is niet ongebruikelijk. Daarnaast is een overschrijding van de oplevertermijn met zo'n 25 % ook niet uitzonderlijk. Dit alles maakt een waterkrachtinstallatie erg gevoelig in schommelingen in rentestanden en wijzigingen in de economische situatie. Hier tegenover staat wel een lange levensduur van het geheel.

### **2.1.5 Kleinschalige waterkracht**

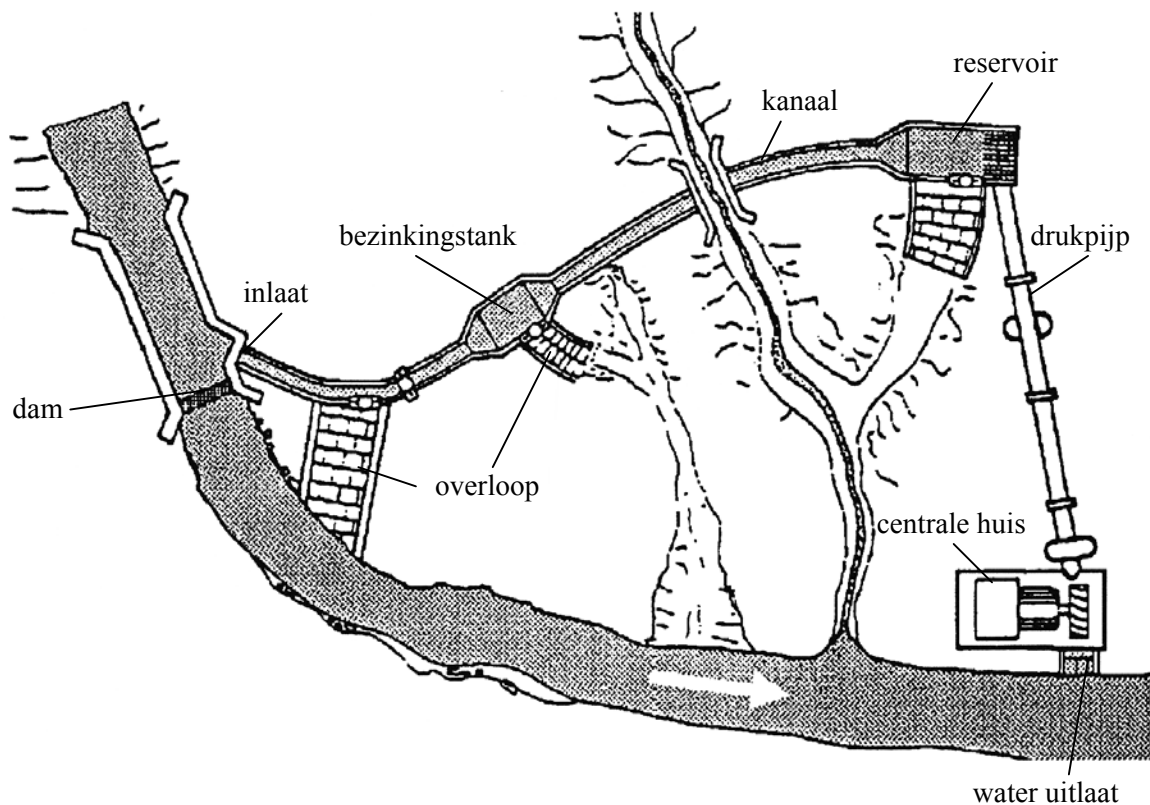
Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat het opzetten van waterkrachtcentrales veel negatieve gevolgen en grote onzekerheden met zich mee brengt. Dit houdt echter geenszins in dat waterkracht geen toekomst heeft. Naast waterkrachtinstallaties die bestaan uit een dam met een stuwmeer, bestaan er ook kleinschalige toepassingen van waterkracht. Het gebruik van kleinschalige waterkracht kent nauwelijks nadelen: geen kostbare energietransporten, geen afhankelijkheid van geïmporteerde brandstoffen en geen noodzaak tot technisch complex onderhoud. Kleinschalige waterkracht kan gedecentraliseerd gebruikt worden (zoals bijvoorbeeld bij het gebruik van dieselgeneratoren), lokaal geïmplementeerd en geleid worden. Het maakt rurale ontwikkeling mogelijk op basis van zelfvoorziening en met gebruik van lokale natuurlijke hulpbronnen.

De door een kleinschalige waterkrachtcentrale opgewekte energie kan gebruikt worden voor de aandrijving van machines voor de verwerking van landbouwproducten (malen, rijstpellen, olie-extractie en dergelijke), lokale verlichting, aandrijving van waterpompen en allerhande huisnijverheid.



### Werking

De volgende figuur geeft de onderdelen van een kleinschalige waterkrachtinstallatie weer.



*elementen van een kleinschalige waterkracht installatie*

Het dammetje leidt water van de rivier door een opening aan de zijkant van de rivier, de zogenaamde inlaat, in het kanaal. Een bezinktank verwijdert zwevende deeltjes uit het water. Het kanaal volgt zoveel mogelijk de hoogtelijnen om verlies aan verval te vermijden. Het water komt via het reservoir in een pijp (de drukpijp) die het water naar de turbine geleidt. In de turbine wordt de energie van het water omgezet in mechanische energie die gebruikt kan worden om allerlei machines (inclusief eventueel een elektriciteitsgenerator) aan te drijven. Het duidelijkste verschil met grootschalige installaties is het ontbreken van een grote dam met daar achter een stuwmeer.

### Variaties in watertoevoer

De hoeveelheid beschikbaar water varieert vaak veel in de verschillende seizoenen, speciaal in tropische klimaten. Hierdoor kan door het ontbreken van een grote dam vaak slechts een deel van het potentieel benut worden.

### 2.1.6 De context

Ter vergelijking wordt hierna de context voor grootschalige waterkrachtinstallaties vergeleken met die van kleinschalige toepassingen.

#### **De context voor grootschalige waterkracht projecten**

1. grote gecentraliseerde vraag naar energie (grootschalige industrieën, stedelijke gebieden),
2. internationale, nationale en regionale elektriciteitsnetwerken,
3. grote ondernemingen of staatsbedrijven met hoog opgeleid en goed betaald personeel,
4. lange termijn planning en grote constructies met moderne, complexe technologieën,
5. afhankelijk van het aanwezige potentieel kan het een belangrijke bijdrage leveren aan de energiebehoefte van een land,
6. van het aanwezige potentiële vermogen wordt tot 90% benut.

#### **De context voor kleinschalige waterkracht projecten**

1. gedecentraliseerde, kleine vraag naar energie (kleine industrie, boerderijen, huishoudens en rurale gemeenschappen),
2. distributienetwerk met lage spanningen (eventueel sub-regionaal netwerk),
3. eigendom van een individu, corporatie of gemeenschap met het gebruik van redelijk geschoold personeel,
4. korte planningstermijnen en constructie periode met gebruikmaking van lokale materialen en vaardigheden,
5. afhankelijk van het gegenereerde vermogen kan het een zeer grote invloed hebben op de lokale leefgemeenschappen (groter dan puur de geleverde hoeveelheid energie),
6. het gedeelte van het aanwezige potentiële vermogen dat benut wordt ligt rond de 10% omdat weinig gegevens over de afvoer van de rivier bekend zijn.

## 2.2 Meten van verval en debiet

Een eerste vereiste voor een succesvolle kleinschalige waterkrachtcentrale is het vinden van de best mogelijke locatie. Het verval en het debiet zijn twee belangrijke details bij een locatieonderzoek. In deze paragraaf zal op enkele methoden om het verval en debiet te meten ingegaan worden.

### 2.2.1 Het meten van het verval

Het verval is het verschil in horizontale hoogte tussen het hoogste en het laagste aanwezige waterniveau. Bij het onderzoeken of in een bepaalde situatie waterkracht toegepast kan worden is het aanwezige verval van groot belang. Bij een eerste globale haalbaarheidsstudie naar waterkracht kan een schatting van het aanwezige verval voldoende zijn. Bij een meer gedetailleerde studie zal men ook het verval nauwkeuriger moeten bepalen.

Niet alle methoden zijn in iedere situatie bruikbaar. Bepaalde methoden voldoen heel goed bij kleine vervallen, maar zijn te ingewikkeld voor grote vervallen. Ook het omgekeerde komt voor.

Het is aan te bevelen om voor hetzelfde verval meerdere verschillende metingen te verrichten en ze onderling te vergelijken. Voor het bepalen van een verval dient in een tijdsplanning voldoende ruimte opgenomen te worden. Na het meten van het verval dient niet van een mogelijke locatie voor waterkracht vertrokken te worden voor de verschillende metingen van het verval met elkaar vergeleken zijn.

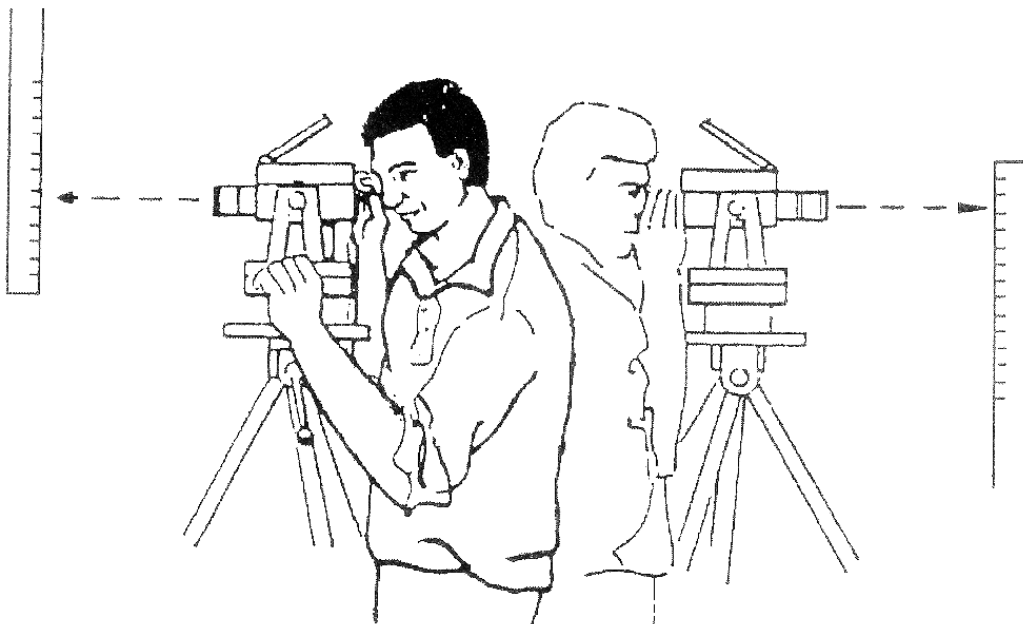
De hoeveelheid water in een rivier kan het aanwezige verval beïnvloeden. Vooral bij kleinere vervallen kan dit effect voor de nodige afwijkingen zorgen in het gemeten verval.

#### Waterpaskijker en theodoliet

Waterpaskijkers en meetlatten worden gebruikt om het verval in stappen te meten. Een waterpaskijker is een instrument waarbij de bediener in een horizontale lijn kan kijken naar een door een collega vastgehouden maatstaf. De grootte van de stappen waarin een verval gemeten kan worden is gelimiteerd door de lengte van de meetlat (normaal niet meer dan drie meter) en de steilheid van de helling. Voor het gebruik van een waterpaskijker is een vrije doorkijk zonder obstakels vereist.

Met waterpaskijkers kan alleen horizontaal gekeken worden, theodolieten hebben daarnaast ook de mogelijkheid verticale en horizontale hoeken te meten. Dit kan de meetprocedure aanzienlijk versnellen.

Zowel voor een waterpaskijker als een theodoliet is het noodzakelijk te beschikken over bekwaam personeel dat kan deze instrumenten bedienen.

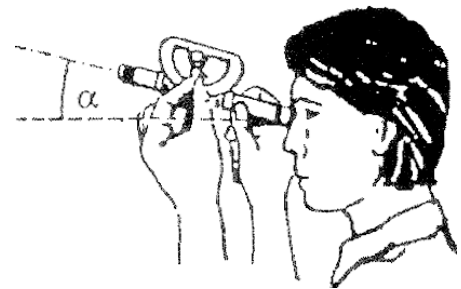


*het gebruik van een waterpaskijker en meetlatten.*

### Inclinometer

Een inclinometer is een uitgebreide handwaterpas. Met dit instrument is het mogelijk de hoek af te lezen tussen de standplaats van de bediener en een punt op de helling. Geofende personen kunnen met dit soort meters eenvoudig en snel een verval opmeten. Een vergissing is echter zeer eenvoudig gemaakt en moeilijk te achterhalen. Het verdient dan ook de aanbeveling meerdere metingen uit te voeren.

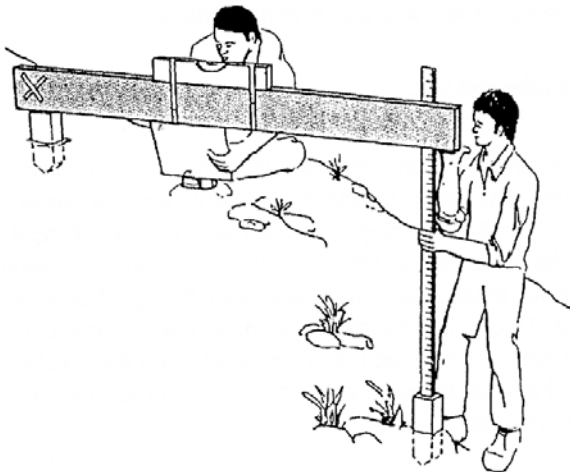
De totale fout in een gemeten verval is persoonsafhankelijk, maar zal tussen de 2 en de 10 % liggen.



*inclinometer*

### Waterslang en drukmeter

Een van de meest eenvoudige vormen om een verval te meten is met behulp van een waterslang en een drukmeter. Een met water gevulde slang met aan het uiteinde een waterdrukmeter wordt gebruikt om het hoogteverschil te meten. Deze methode is te gebruiken bij grote en kleine niveauverschillen. De methode is redelijk betrouwbaar, de meest voorkomende fouten zijn luchtbelletjes in het water en beschadigde meters die geijkt moeten worden.



*vervalmeting met een plank en een waterpas*

### Waterpas en rechte lat

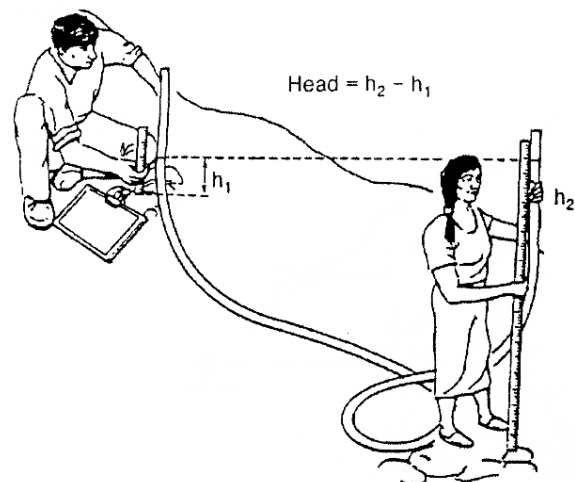
Een zeer eenvoudige, maar tijdrovende manier om het verval te meten is met een waterpas en een rechte plank. De figuur hiernaast toont hoe deze methode uitgevoerd moet worden. Met behulp van de waterpas wordt de plank steeds horizontaal gehouden om het hoogteverschil te overbruggen. De lengte van de plank bepaald de steilheid die de helling minimaal moet hebben om deze methode toe te kunnen passen. Als bij elke meting de plank omgedraaid wordt, is de totale fout in de orde van 2%.

### Waterslang en meetlat.

Deze methode werkt op dezelfde wijze als de methode met de plank en de waterpas. Het horizontale niveau wordt hier bereikt door het gebruik van een waterslang.

### Overige methodes

Andere methodes voor het meten zijn het gebruik van kaarten en hoogtemeters. Kaarten zijn slechts bruikbaar om een globale indruk van het aanwezige verval te krijgen. Er zijn echter niet altijd kaarten beschikbaar met de vereiste nauwkeurigheid. Hoogtemeters kunnen gebruikt worden om een globale schatting te maken van het aanwezige verval. Het verdient aanbeveling meerdere meters naast elkaar te gebruiken en de uitkomsten te middelen om zo de fout te verkleinen.



*vervalmeting met een waterslang en een meetlat*

### 2.2.2 Debietmeting

Naast het verval dient ook de waterafvoer van de rivier waaraan de kleinschalige waterkrachtcentrale gesitueerd is bepaald te worden. Voor het meten van het debiet zijn verschillende methoden te gebruiken. Enkele zullen hier kort behandeld worden.

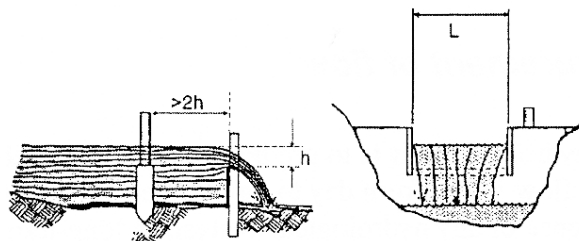
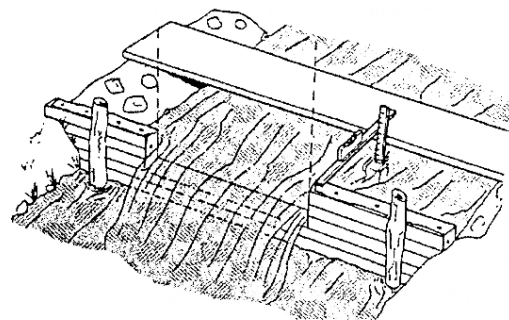
#### Afdammen van de rivier

Deze methode is te gebruiken bij kleine waterhoeveelheden. In de rivier wordt een tijdelijke dam geplaatst en al het water dat over de dam stroomt wordt in emmers of oude olievaten opgevangen. Het debiet (in liters per seconde) is te vinden door de inhoud van het vat of de emmer te delen door de vultijd.

#### Meetdam

Een veel toegepaste meetmethode is het bouwen van een meetdam. Het meetprincipe berust op het feit dat de overstorthoogte van het water over de dam een maat is voor het debiet. Het verschil in hoogte van het water voor de dam en het waterniveau bij de overstort van de dam is evenredig met het debiet. Dit hoogteverschil wordt gemeten door ruim voor de dam een meetlat te plaatsen die de hoogte van het water ten opzichte van de overstort aangeeft. Deze meetwijze wordt geïllustreerd in de figuur hiernaast.

De meetdam moet worden geplaatst in een rustig deel van de rivier, moet verticaal staan en loodrecht op de stroomrichting geplaatst worden. Tijdelijke meetdammen kunnen het beste worden gemaakt van hout, meer permanente dammen van steen of beton.



*Meetdam voor het meten van het debiet*

#### Zout-methode

De zout-methode is een redelijk nauwkeurige (fout  $< 7\%$ ) en eenvoudige methode om snel het debiet van een rivier te bepalen. Een emmer met zeer zout water wordt in de rivier gelegd. De wolk zout water die zo in de rivier ontstaat spreidt zich uit terwijl deze stroomafwaarts stroomt. Op een zeker punt stroomafwaarts zal de wolk de gehele breedte van de rivier beslaan. Het voorste gedeelte van de wolk zal licht gezout zijn, net als de staart van de wolk. Het centrum zal de grootste zoutconcentratie hebben. Deze zouthed kan gemeten worden met een elektrische geleidingsmeter. Als we te maken hebben met een smalle rivier zal de wolk zich niet zo ver kunnen verspreiden en zal de elektrische geleiding van het water hoog zijn. Hierdoor zijn lage debieten te herkennen aan een hoge geleidbaarheid (en andersom).

Des te langzamer het water stroomt des te langer duurt het voordat het zout een bepaalde doorsnede gepasseerd is. Het debiet is dus omgekeerd evenredig met de passeersnelheid van de wolk.

Uit de te meten concentratie en de passeersnelheid is het debiet van de rivier te bepalen.

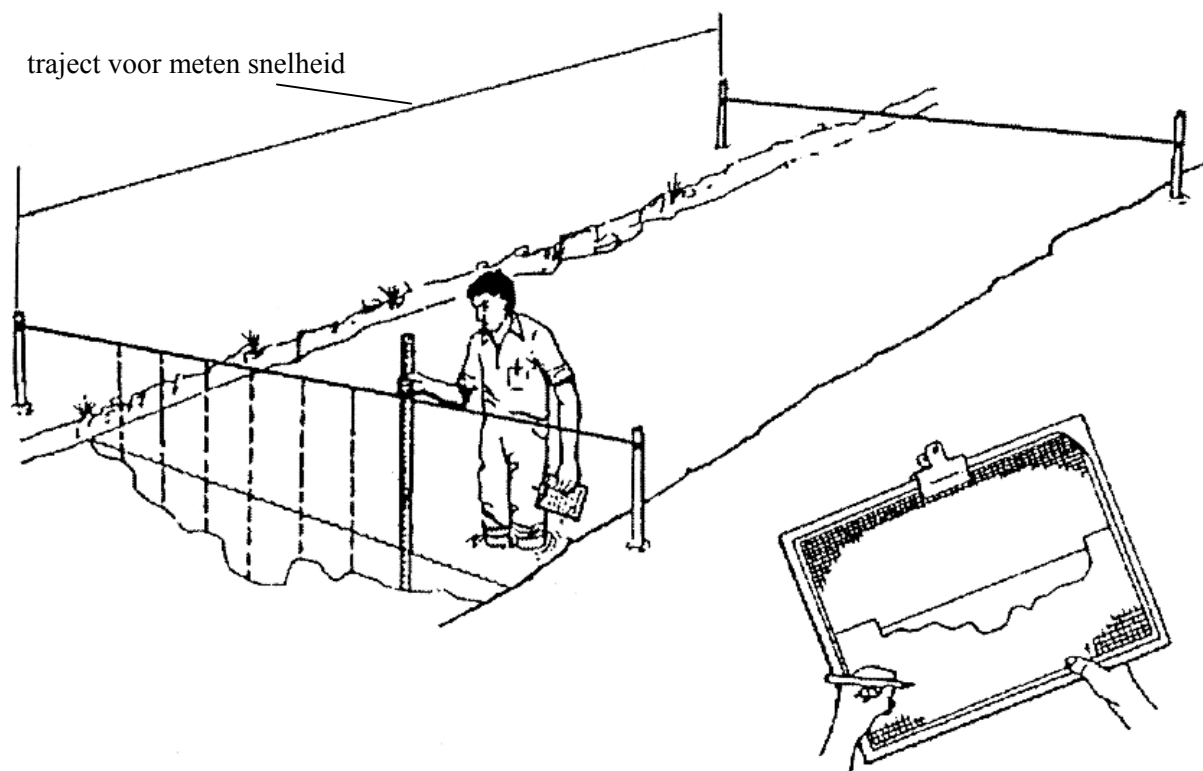
### Snelheids- en profielmeting

Bij deze methode wordt de snelheid van het water gemeten en het dwarsprofiel van de rivier bepaald. Voor de snelheidsmeting worden twee meetpunten langs de rivier uitgezet. Bij het eerste meetpunt wordt een drijver, bijvoorbeeld een stuk hout, in de rivier gelaten. De tijd die de drijver nodig heeft om de afstand tussen de twee meetpunten af te leggen wordt gemeten. Hieruit volgt de snelheid. Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat de snelheid van het water aan de waterspiegel groter is dan die vlak bij de bodem.

Bij beide meetpunten wordt het profiel van de rivier gemeten. Hiertoe wordt een draad dwars over de rivier gespannen. Op regelmatige afstand langs deze draad wordt met een meetlat de diepte van de rivier bepaald. Met behulp van deze gegevens wordt vervolgens de oppervlakte van de rivierdoorsnede berekend.

Het debiet is uitgedrukt in  $\text{m}^3/\text{s}$ , is de oppervlakte van het dwarsprofiel vermenigvuldigd met de snelheid;

$$Q (\text{m}^3/\text{s}) = A (\text{m}^2) \cdot v (\text{m/s})$$



*het bepalen van de dwarsdoorsnede van de rivier*

### Stroomsnelheidsmeter

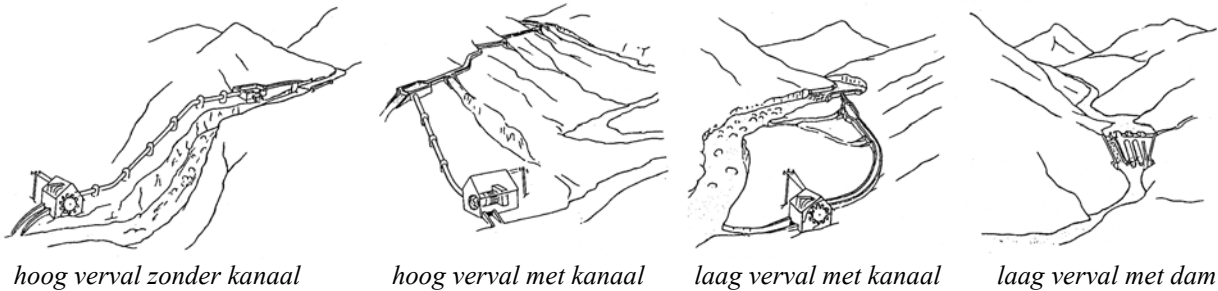
Een stroomsnelheidsmeter bestaat uit een propeller die in de stroom gehouden wordt. Het aantal omwentelingen van de propeller wordt geteld, hieruit volgt de stroomsnelheid van het water.

## 2.3 Civiele werken

De componenten van een waterkrachtcentrale bestaan uit de civiele werken en de mechanische en elektrische onderdelen zoals de turbine. In deze paragraaf wordt de eerste categorie behandeld. In de volgende paragraaf wordt de tweede categorie behandeld. We richten ons daarbij op kleinschalige waterkracht.

### 2.3.1 Systeem layout

Er zijn meerdere mogelijkheden voor de *layout* van een kleinschalige waterkrachtinstallatie. De onderstaande figuur toont een viertal gebruikelijke oplossingen.



Bij het ontwerpen van een kleinschalige waterkrachtcentrale dienen eerst alle mogelijkheden voor een *layout* naast elkaar gezet te worden. Vaak blijkt al direct dat bepaalde oplossingen afvallen in verband met de te verwachten kosten. Goedkope arbeidskrachten maken het vaak rendabel lange kanalen te graven en korte drukpijpen toe te passen. In de eerste fases van het ontwerp van een kleinschalige waterkrachtcentrale moeten de volgende essentiële punten in beschouwing worden genomen.

#### 1) het gebruik van het beschikbare verval

Het totaal aanwezige verval kan niet geheel gebruikt worden voor de omzetting in mechanische energie. Het kanaal en de drukpijp reduceren het maximaal bruikbare gedeelte van het verval doordat er verliezen optreden als gevolg van wrijving.

#### 2) variaties in debiet

Het debiet van een rivier varieert over de loop van het jaar, vooral in ontwikkelingslanden met een duidelijk te onderscheiden natte en droge tijd. Een waterkrachtcentrale wordt echter ontworpen voor een vast debiet. Er dient gekozen te worden tussen het niet benutten van de piekafvoer (dimensionering op minimale debiet), of de turbine stil te leggen als er te weinig water is (dimensionering op piekdebiet, zodat er soms niet genoeg water is om de turbine te laten draaien). Als een kanaal meer water bevat dan de centrale verwerken kan, dient er gezorgd te worden voor een goede afvoer van het overtollige water door middel van overlaten.

#### 3) sediment

De meeste rivieren voeren sediment mee. Harde deeltjes kunnen vitale onderdelen van de turbine beschadigen en door afzettingen kunnen de inlaat en het kanaal geblokkeerd raken. Voorzorgsmaatregelen zijn dus noodzakelijk.

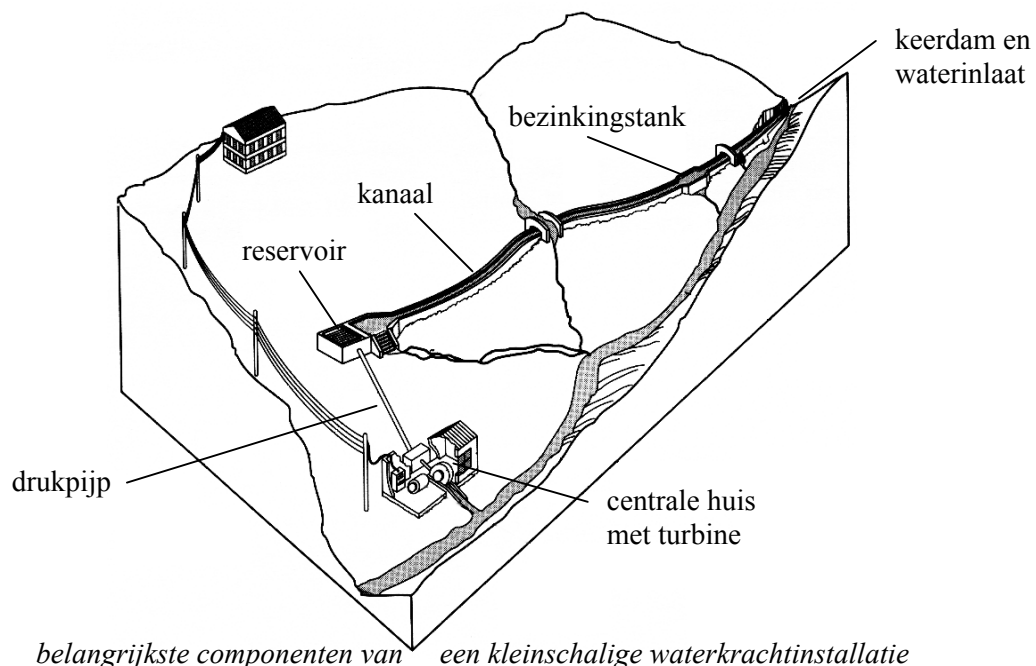
#### 4) overstromingen

Veel rivieren in tropische landen kennen periodes met piekafvoeren waarbij het debiet in zeer korte tijd enorm kan toenemen. Dammen, inlaten, kanalen en overlopen dienen hiertegen bestand te zijn.

#### 5) turbulentie

Alle delen van een kleinschalige waterkrachtcentrale dienen zodanig ontworpen te zijn dat turbulentie in het water zoveel mogelijk voorkomen wordt omdat dit gepaard gaat met energieverliezen. Veranderingen van diepte en breedte van het kanaal dienen hierom geleidelijk plaats te vinden.

Een waterkrachtcentrale moet de benodigde hoeveelheid water stroomopwaarts van de rivier aftappen. Hiervoor zijn civiel technische werken nodig. Aan deze werken kan een groot gedeelte van het budget voor een kleinschalige waterkrachtcentrale op gaan. Op de onderstaande figuur zijn de verschillende componenten aangegeven. Zie ook de figuur op pagina 7.



### 2.3.2 Dammen en keerdammen

Dammen slaan water voor langere tijd op, terwijl keerdammen het water van de rivier de waterinlaat in geleiden. In rotsachtige rivieren kunnen natuurlijke keerdammen het water de waterinlaat in geleiden. Voor kleinschalige waterkracht worden zelden dammen gebouwd. Wel komt het voor dat kleine dammen gebouwd worden die tevens andere functies hebben, zoals opvangen van grote hoeveelheden water om overstromingen te voorkomen, irrigatie of het op peil houden van het waterniveau om onder andere de visstand op peil te houden.

### 2.3.3 Vispassages

Dammen in natuurlijke waterlopen vereisen voorzieningen voor vissen om stroomopwaarts te kunnen trekken. Vispassages zijn hiervoor noodzakelijk. Voor vispassages zijn drie vormen mogelijk; natuurlijke stroom, vijver-passage en visladder. Vispassages dienen te voldoen aan vier voorwaarden:

- 1) voldoende mogelijkheid voor de vissen om de dam te passeren (door middel van een gelijkmatige waterstroom),
- 2) zo min mogelijk verbruik van water,
- 3) een ingang die gemakkelijk te vinden is voor vissen,
- 4) solide en duurzaam gebouwd.

### 2.3.4 Waterinlaat

De inlaat van een waterkrachtcentrale wordt ontworpen om een bepaald deel van de rivierstroom af te tappen. Dit gedeelte kan oplopen tot 100% als alle beschikbare water via de turbine geleid wordt.

Aan een inlaat worden de volgende eisen gesteld:

- 1) de gewenste hoeveelheid water moet afgetapt worden,
- 2) de piekafvoer van de rivier moet de inlaat en de bijbehorende dam kunnen passeren zonder hieraan schade toe te brengen,
- 3) het voorkomen dat grote hoeveelheden los materiaal het kanaal binnen stromen d.m.v. een rooster,
- 4) mogelijkheid tot het verwijderen van opgehoopt sediment. Hieruit volgt dat de positionering en de vorm van de inlaat zeer belangrijk zijn.



### 2.3.5 Het kanaal

Het kanaal geleidt het water van de inlaat naar het reservoir voor de drukpijp. De lengte van dergelijke kanalen is afhankelijk van de lokale situatie en kan aanzienlijk zijn. In Nepal komen kanalen voor van een paar kilometer om een verval te creëren van 10 tot 30 meter. In sommige gevallen is het noodzakelijk of goedkoper een lang kanaal en een korte drukpijp toe te passen. In andere situaties kan een kort kanaal met een lange drukpijp beter voldoen.

In het kanaal zijn een aantal elementen opgenomen die hierna kort behandeld zullen worden. Dit zijn:

- de bezinkingstank,
- overlopen,
- het reservoir voor de drukpijp.

#### **De bezinkingstank**

In het kanaal dient een bezinkingstank opgenomen te zijn. Het belangrijkste doel hiervan is het reduceren van de hoeveelheid meegevoerd sediment omdat dit de turbine kan beschadigen. De werking van de bezinkingstank berust op snelheidsreductie van het water. Door het kanaal plaatselijk te verbreden en te verdiepen neemt de stroomsnelheid van het water af en daarmee ook de draagcapaciteit voor sediment.

De afmetingen van de bezinkingstank zijn een compromis tussen de gewenste reductie van het sedimenttransport en de kosten om de tank aan te leggen. Uitgaande van de maximale toelaatbare grootte van een meegevoerd deeltje in het water na het verlaten van de bezinkingstank en de stroomsnelheid van het water kunnen de afmetingen van de bezinkingstank uitgerekend worden.

#### **Overloop**

Gedurende hoge waterstanden of bij het sluiten van de turbinetoevoer zal er meer water het kanaal binnen stromen dan het kan verlaten. Het overtollige water zal proberen een uitweg te vinden via de rand van het kanaal. Dit water dient geleid te worden door middel van een overloop omdat anders ernstige erosie kan optreden. Via een overloop kan het water op een gecontroleerde manier terug naar de rivier vloeien.

#### **Reservoir voor de drukpijp**

Voor de ingang van de drukpijp bevindt zich een bassin. Dit is bedoeld om de laatste zwevende deeltjes te laten bezinken voor het water de drukpijp in gaat. Afhankelijk van de afmetingen van het reservoir kan het ook dienen als opslag voor water om variaties in het debiet van de rivier op te vangen.

### 2.3.6 Drukpijp

De drukpijp is de pijp die het water onder druk transporteert naar de turbine. De drukpijp is vaak één van de meest kostbare elementen van een kleinschalige waterkrachtcentrale. Soms wordt tot 40% van het budget voor een groot verval installatie opgeslokt door de drukpijp. Veel gebruikte materialen voor de drukpijp zijn staal, ijzer, plastic (PVC of HDPE) en beton.

Bij kleinschalige waterkracht moet gedacht worden aan een diameter tussen 5 cm en 60 cm. De diameter van de drukpijp is een afweging tussen kosten en vervalverlies. De verliezen in de pijp als het gevolg van wrijving nemen enorm af met het toenemen van de diameter van de pijp. Hier tegenover staan grote kostentoeenames bij grotere pijpdiameters.

De ontwerpfilosofie is om eerst de beschikbare pijpopties te inventariseren en dan een maximaal toelaatbaar vervalverlies vast te stellen. Een goed uitgangspunt is 5% van het bruto verval. Op grond hiervan kan men kosten en gederfde inkomsten door het verminderde netto verval gaan evalueren.

## 2.4 Types turbines

Een turbine zet de energie in de vorm van vallend water om in roterende kracht. Deze roterende kracht kan rechtstreeks gebruikt worden om machines aan te drijven, of worden omgezet in elektriciteit. De keuze voor een bepaald soort turbine is afhankelijk van de kenmerken van de plaats waar de turbine gebruikt moet gaan worden. Elke turbine heeft een specifieke combinatie van verval, stroomsnelheid en rotatiesnelheid voor een optimale efficiëntie. Vaak vereisen de door de turbine aan te drijven machinerieën een bepaalde snelheid. De snelheid van de turbine moet hieraan aangepast zijn.

Waterkracht turbines zijn te rangschikken in twee groepen, namelijk reactie en impuls turbines. Bij reactie turbines bevindt de rotor van de turbine zich geheel onder water. De aandrijvende kracht is hier het drukverschil tussen het water voor en na de turbine. De belangrijkste types reactie turbines zijn bekend onder de namen Francis- en Kaplan-turbines. Bij impuls turbines wordt de drijvende kracht ontleend aan de kinetische energie van het (vallende) water. Deze energie wordt omgezet in beweging doordat het water een turbineschoep raakt onder atmosferische druk. Het belangrijkste type impuls turbine is de Pelton-turbine.

### 2.4.1 Impuls turbines

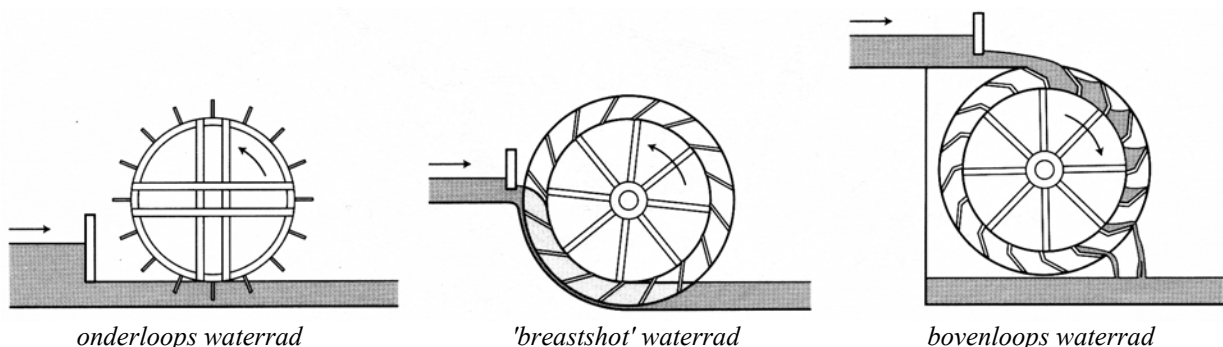
Impuls turbines zijn over het algemeen meer geschikt voor toepassing in kleinschalige waterkrachtcentrales dan reactie turbines, vanwege de volgende voordelen:

- grotere tolerantie voor zand en andere in het water meegevoerde deeltjes,
- betere toegang tot de bewegende delen (onderhoud),
- geen drukdichte verbindingen rond de as,
- eenvoudiger te fabriceren en te onderhouden en
- een betere efficiëntie bij partiële belasting.

Het grootste nadeel is dat impuls turbines nagenoeg onbruikbaar zijn voor situaties met een klein verval vanwege hun lage specifieke snelheid, een te grote versnelling zou dan nodig zijn om machines aan te drijven.

#### Waterraderen

Waterraderen werden traditioneel gebruikt voor waterkrachtcentrales. In het algemeen zijn de raderen gemaakt van hout, zijn zwaar en vergen veel materiaal. Een maximale efficiëntie van 60% kan bereikt worden. De vermogen/kracht verhouding is hoog en het maximale vermogen dat met een waterrad te verkrijgen is ligt om en nabij de 100 kW (hiervoor is dan wel een rad nodig met een diameter van 10 meter). Er zijn drie types, zoals in onderstaande figuur aangegeven is.



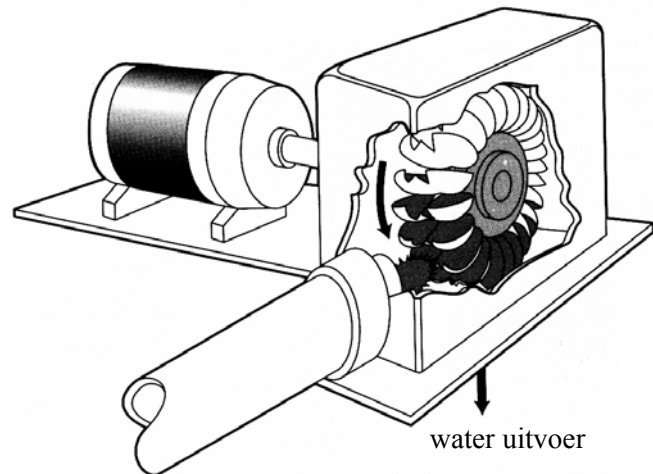
Onder andere in de Himalaya wordt gebruik gemaakt van primitieve waterraderen met een **verticale** as. Door de lage massa/vermogen ratio wordt een hoge snelheid bereikt die het gebruik van versnellingen overbodig maakt. Evenmin zijn overbrengingssystemen nodig om maalstenen aan te drijven. Het maximale vermogen is echter gelimiteerd tot een paar kW.

### Pelton turbine

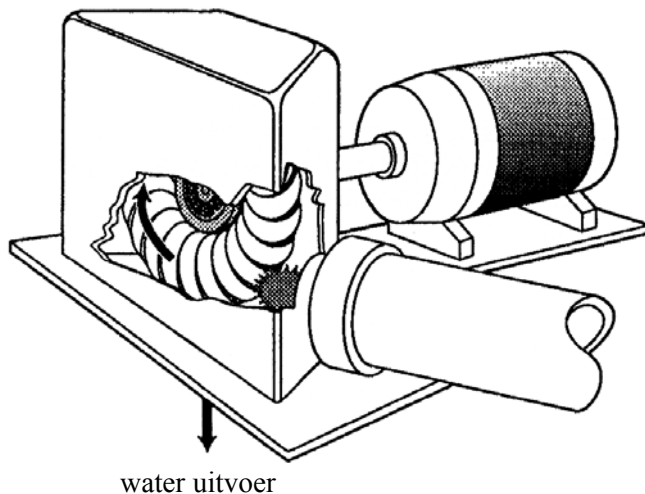
De technologie van het traditionele waterrad is verbeterd terug te vinden in de Pelton turbine. De turbine bestaat uit een wiel met daar aan dubbele lepel-vormige schoepen. Een waterstraal met hoge snelheid raakt deze schoepen en zorgt voor een roterende beweging. Een spuitmond zorgt voor de gewenste waterstraal. De vorm van de schoepen is zodanig gekozen dat de hoogst mogelijke overdracht van kinetische energie bereikt wordt. Uit het midden van de schoepen is een klein stukje verwijderd om de waterstraal de mogelijkheid te geven de volgende schoep te bereiken.

In grote waterkrachtcentrales worden Pelton turbines alleen gebruikt voor vervallen boven de 150 meter, maar voor kleinschalige toepassingen kunnen Pelton turbines gebruikt worden bij vervallen vanaf 20 meter. Beneden deze waarde wordt de rotatiesnelheid van een Pelton turbine te laag en de diameter te groot. Indien de afmetingen van de turbine en de lage rotatie snelheid geen probleem vormen in een specifieke situatie dan kan een Pelton turbine zelfs bij kleine vervallen efficiënt gebruikt worden.

Als een grotere rotatie snelheid gewenst is bestaat er de mogelijkheid het rad aan te drijven met meerdere waterstralen. Hierdoor kan een kleinere diameter volstaan of wordt de snelheid hoger. Bijkomend voordeel is een betere efficiëntie bij partiële belasting omdat dan één of meerder waterstralen afgesloten kunnen worden.



*Pelton turbine*



*Turgo turbine*

### Turgo turbine

De Turgo turbine is een verbeterde versie van de Pelton turbine. De schoepen van een Turgo turbine delen de waterstraal niet in tweeën, maar buigen hem bijna 180° af. De waterstraal nadert de turbine meestal onder een hoek van 20 graden en verlaat de turbine aan de andere zijde dan waar hij binnen is gekomen. Een Turgo turbine draait, onder gelijke omstandigheden, twee maal zo snel dan een Pelton en meet daarbij maar de helft van de diameter. De Turgo turbine heeft een efficiëntie van meer dan 90% en is toepasbaar bij vervallen vanaf 10 meter.

### De Ghatta en de Multi-Purpose Power Unit

De Ghatta is een traditioneel Nepalees waterrad, het is een verticale as turbine waarbij het water het waterrad van boven nadert. De turbine wordt gemaakt van hout zodat de bouw en reparaties eenvoudig zijn uit te voeren. Als gevolg van dit ontwerp is de efficiëntie erg laag en is het vermogen beperkt tot een maximum van 12 kW.

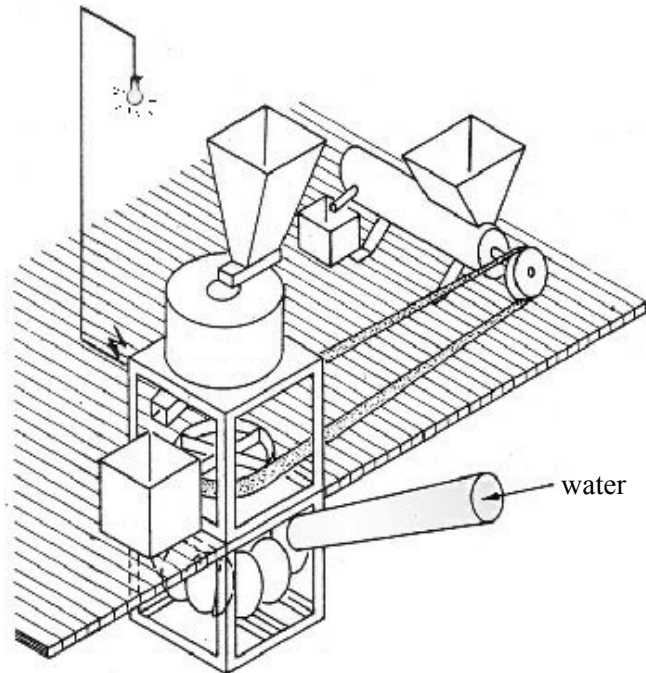
Uit deze traditionele Ghatta is de verbeterde Ghatta ontwikkeld. Het houten waterrad werd verbeterd en later vervangen door metalen exemplaren met ronde schoepen. Doordat de impuls overdracht door het water verbeterd is verdubbelt het vermogen.

De Multi-Purpose Power Unit (MPPU) zit chronologisch gezien tussen de Ghatta en de verbeterde Ghatta in. De term multi-purpose slaat op het feit dat de MPPU zodanig geconstrueerd is dat er een heel scala aan machines op aan gesloten kan worden. Het concept van de MPPU is globaal hetzelfde als van de verbeterde Ghatta: een verticale as met een vaste en een roterende maalsteen. Qua technische complexiteit, prestaties en kosten zit de MPPU tussen de verbeterde Ghatta en de crossflow turbine in.

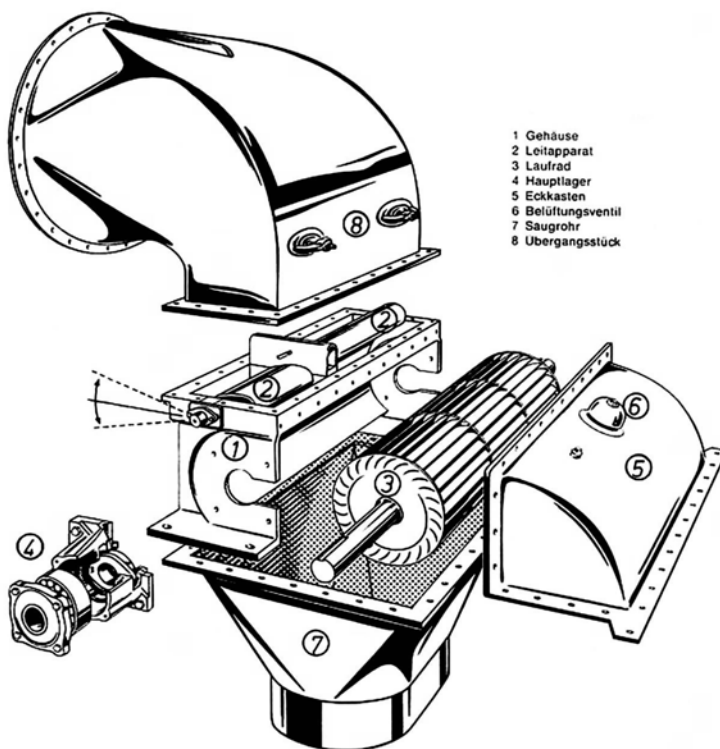
Alle onderdelen zijn van metaal in plaats van hout. Het waterrad is van hetzelfde type als in de verbeterde Ghatta. De open aanvoer van water bij Ghatta is vervangen door een drukpijp en een aanpasbare spuitmond. De wrijvingskrachten zijn verminderd en de controle mogelijkheden vergroot.

Bij het ontwerp van de MPPU is niet gestreefd naar een maximale efficiëntie maar naar een ontwerp dat algemeen toepasbaar is. De gehele installatie is zo eenvoudig en goedkoop mogelijk gehouden en speciale aandacht is besteed aan de transporteerbaarheid.

Het maximale vermogen ligt rond de 14 kW.



*Multi-Purpose Power Unit*



*Crossflow turbine*

### **Crossflow of Michell-Banki turbine**

Het belangrijkste kenmerk van de *crossflow* turbine is dat de waterstraal de schoepen twee keer passeert. Ze worden veel toegepast omdat ze relatief makkelijk te maken zijn in een simpele werkplaats. Het water stroomt eerst van buiten naar het centrum van de rotor om daarna, na het passeren van de lege ruimte in de rotor, weer naar buiten te stromen. Overdracht van energie gebeurt dus twee keer: bij het binnen komen van de rotor en bij het verlaten van de rotor.

De *crossflow* turbine is geschikt voor vervallen van twee tot meer dan 100 meter, het geleverde vermogen varieert hierbij van 7 tot meer dan 200 kW. Door de breedte van de inlaat aan te passen kan de *crossflow* turbine gebruikt worden bij verschillende debieten. De diameter van de rotor hoeft hierbij niet aangepast te worden. Een belangrijke eigenschap van de *crossflow* turbine is de redelijk constante efficiëntie van ongeveer 83%.

## 2.4.2 Reactie turbines

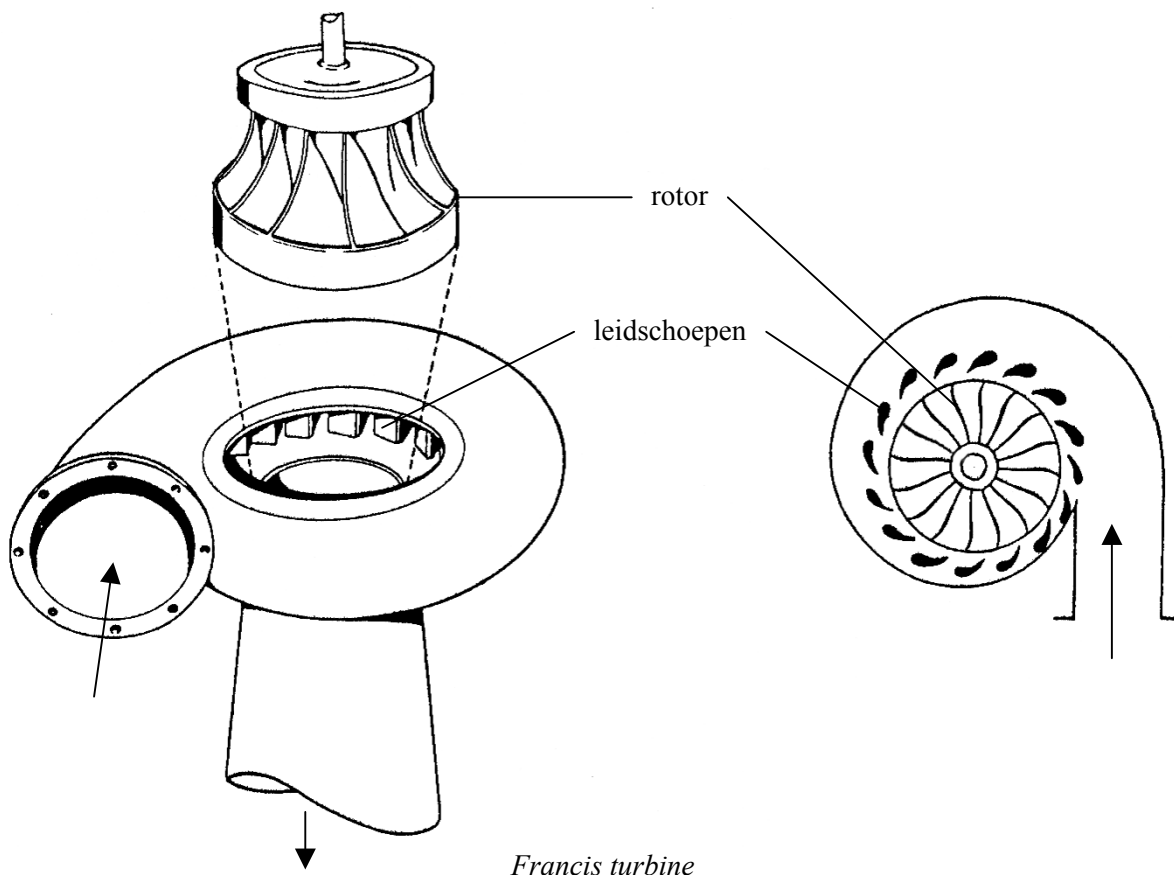
In tegenstelling tot een impuls turbine zit de rotor van een reactie turbine geheel in het water. Bij een gegeven verval draaien reactie turbines sneller dan impuls turbines. Het gevolg hiervan is dat een reactie turbine meestal rechtstreeks aan een generator gekoppeld kan worden zonder dat een versnelling nodig is. Sommige fabrikanten leveren vaste combinaties van reactie turbine en generator.

Reactie turbines zijn moeilijker te fabriceren dan impuls turbines omdat ze speciaal gevormde bladen en een drukdichte omhulling vergen. De extra hieraan verbonden kosten worden gecompenseerd door een hogere efficiëntie, een hogere rotatiesnelheid en een redelijk compacte installatie.

De gecompliceerde fabricage maakt dit soort turbines minder geschikt voor toepassingen in kleinschalige waterkrachtcentrales in ontwikkelingslanden. De meeste reactie turbines hebben een slechte efficiëntie als ze partieel belast worden.

### Francis turbine

Francis turbines zijn het meest voorkomende type reactie turbines. Het ontwerp kan aangepast worden aan een grote verscheidenheid van verval en debiet combinaties. Het water komt de turbine radiaal richting het centrum binnen en verlaat de turbine in de richting van de as.

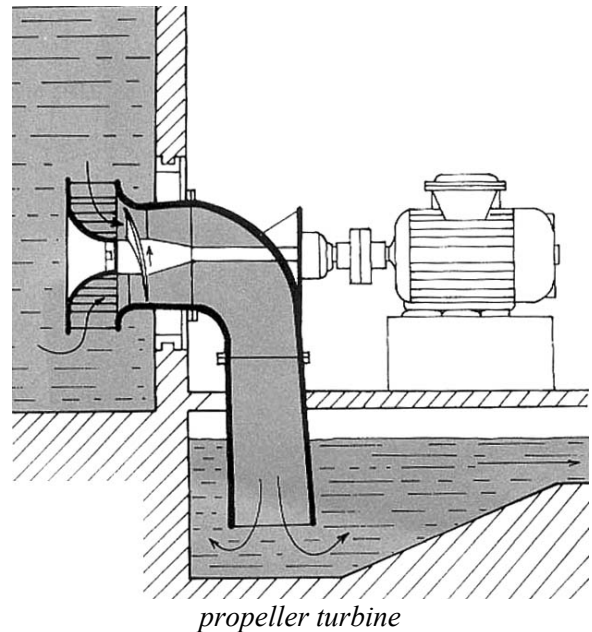


De leidschoepen rond de rotor zijn zodanig geconstrueerd dat de energie van het water voor het grootste gedeelte omgezet wordt in rotatie-energie. De stand van de leidschoepen is aan te passen aan variabele waterhoeveelheden en de belasting van de turbine. Een enkele Francis turbine is ongeschikt voor een situatie met sterk wisselende hoeveelheden water omdat de efficiëntie snel daalt bij afnemende waterhoeveelheden. In een dergelijke situatie kunnen meerdere, parallel geschakelde Francis turbines een oplossing bieden. De efficiëntie van Francis turbines is bij de ontwerp debiet/verval combinatie zeer hoog (tot 99%).

### Propeller en Kaplan turbines

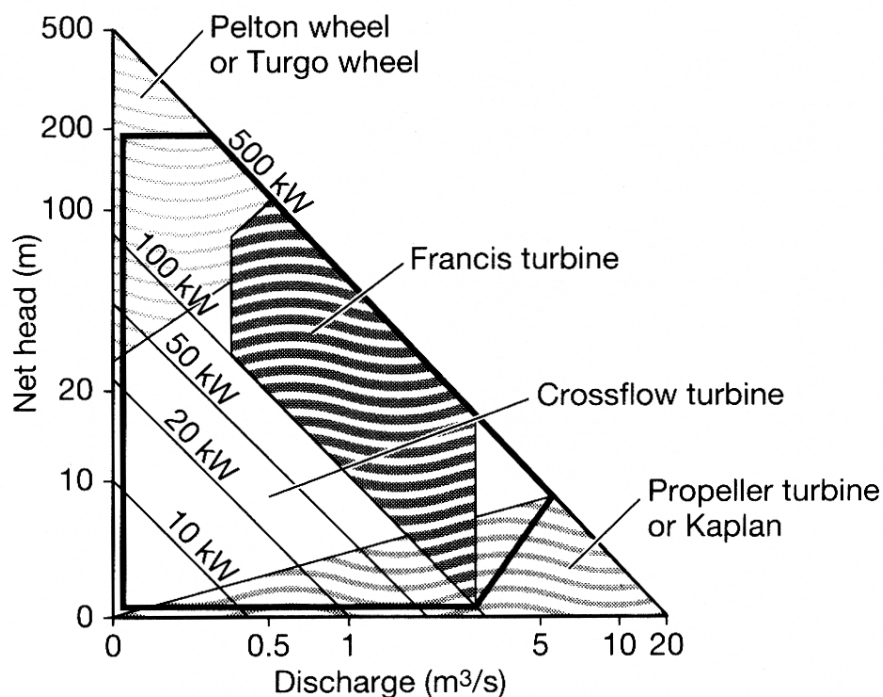
Een propeller turbine bestaat uit een propeller (vergelijkbaar met een sloopsschroef) in een verlenging van de drukpijp. De turbine-as verlaat de drukpijp op een punt waar deze buigt. De propeller heeft normaal gesproken drie tot zes schoepen. De waterstroom langs de propeller wordt gereguleerd met een aantal vaste schoepen voor de propeller. Dergelijke turbines zijn redelijk eenvoudig te fabriceren tegen lage kosten zodat ze goed bruikbaar zijn in ontwikkelingslanden.

De slechte efficiëntie bij verminderde waterhoeveelheden is een nadeel. Grote waterkrachtcentrales maken gebruik van meer geavanceerde propeller turbines waarbij de stand van de schoepen instelbaar is. Dergelijke turbines worden Kaplan turbines genoemd. De toepassing van propeller turbines kan geschieden bij vervallen van 1 tot 30 meter, capaciteiten variëren van 100 kW tot 200.000 kW.



### 2.4.3 Keuze van turbine

Bij grootschalige waterkracht worden de turbines op maat gemaakt. Turbines voor kleinschalige waterkracht worden echter vaak in serie geproduceerd. Om het juiste type turbine te kiezen kan onder andere gebruik gemaakt worden van onderstaande tabel.



## 2.5 Toepassing

### 2.5.1 Mechanische energie

De door een waterkracht turbine opgewekte energie kan gebruikt worden om allerlei machines aan te drijven. Voorbeelden hiervan zijn maalstenen, rijstplanners, oliepersen en zaaginstallaties.

Om de mechanische energie over te brengen van de as van de turbines naar de machines kan gebruik gemaakt worden van verschillende overbrengingsvormen. Te weten:

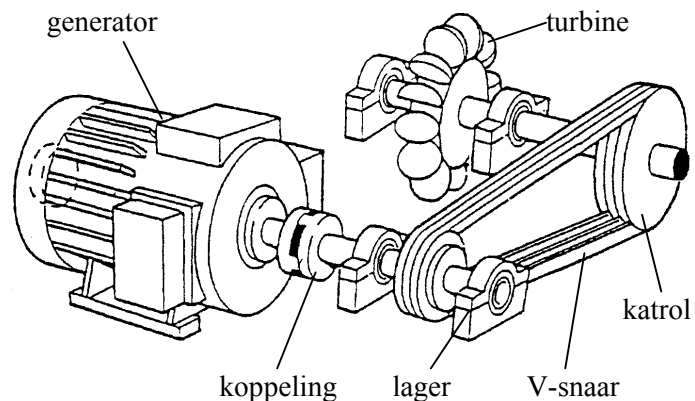
- 1) directe aandrijving,
- 2) V-snaren,
- 3) drijfriemen,
- 4) ketting en tandwielen,
- 5) versnellingsbak.

#### Directe aandrijving

Deze methode kan alleen gebruikt worden als de snelheid van de turbine hetzelfde is als de gewenste aandrijfsnelheid van de machine. Bij directe aandrijving wordt gebruik gemaakt van een flexibele koppeling om beide assen met elkaar te verbinden. De voordelen zijn weinig onderhoud, een hoge efficiëntie (>98%) en lage kosten. Het enige nadeel is de vereiste nauwkeurigheid van de positionering van de turbine en de machine ten opzichte van elkaar. De verkrijgbare directe koppelingen verschillen onderling in de tolerantie in de positionering: des te duurder de koppeling des te groter de tolerantie. Deze extra investering kan opwegen tegen de problemen die ontstaan bij positioneringsfouten

#### V-snaren

V-snaar aandrijvingen worden veel toegepast in kleinschalige waterkrachtcentrales tot een vermogen van 100 kW. V-snaren zijn in ontwikkelingslanden bekend en goed verkrijgbaar omdat ze veel gebruikt worden in kleinschalige industrieën. De werking van V-snaren berust op de wrijving van de snaar in groeven op de katrol. Grote longitudinale krachten (spanning op de snaar) zijn hierdoor niet nodig. De tolerantie voor positionering is groot, maar de efficiëntie ligt tussen de 85 en 95%.



*Aandrijving met behulp van katrollen en een V-snaar*

#### Aandrijfriemen en katrollen

Moderne aandrijfriemen werken met grote spanning op de banden. De wrijving tussen de band en de katrol zorgt voor de overbrenging van de krachten. Aandrijfriemen zijn efficiënter dan V-snaren en zorgen voor minder rubberstof. Door de grote spanning op de riem komen er grote krachten op de katrollen. Deze dienen dus zwaarder uitgevoerd te worden.

Een nadeel van aandrijfriemen kan de beschikbaarheid zijn: in lang niet alle landen zijn ze eenvoudig te verkrijgen.

#### Ketting en tandwielen

Kettingen in combinatie met tandwielen hebben een hoge efficiëntie, maar slijten zeer snel. Een nadeel is de slechte verkrijgbaarheid en het verbruik van olie.

#### Versnellingen

Versnellingen worden gebruikt als de andere mogelijkheden niet toepasbaar zijn. Versnellingen zijn zeer kostbaar en vragen een grote nauwkeurigheid. In normale omstandigheden zijn ze te duur.

## 2.5.2 Elektriciteitsopwekking

Het omzetten van het vermogen van de turbine in elektriciteit biedt grote voordelen:

- Grotere toepasbaarheid; het gegenereerde vermogen kan nu voor alle typen elektrische apparaten gebruikt worden (hierdoor ontstaat een vergroting van het aantal gebruiksmogelijkheden),
- Groter bereik; het gebruik van de door de turbine geleverde energie is niet meer gekoppeld aan de plaats waar de turbine zich bevindt. De elektriciteit kan gedistribueerd worden naar meerdere plaatsen (een vergroting van het aantal plaatsen waar de energie benut kan worden).

Een installatie die mechanische energie (zoals die geleverd wordt door de turbine) omzet in elektriciteit heet een generator. Elektriciteit komt voor in twee verschillende vormen: gelijk- en wisselstroom. Voor installaties met een vermogen tot 1,5 kW wordt meestal gebruik gemaakt van gelijkstroom. De gebruikte voltages zijn 12 of 24 Volt voor het opladen van accu's en 110 of 220 V voor verlichting. Het voordeel van het gebruik van gelijkstroom is dat bij lage voltages de snelheidscontrole voor de turbine niet zo nauw luistert. Voor grotere vermogens (> 1,5 kW) wordt meestal overgestapt op wisselstroom, met 1-fase stroom tot 10 of 20 kW en drie-fase stroom daar boven. Globaal gesproken zijn zowel drie-fase motoren als generatoren goedkoper per kW dan hun 1-fase tegenhangers. Drie-fase stroom heeft echter als groot nadeel dat het transformeren en transporteren ervan een complexe zaak is. Voor vermogens tot 20 kW is daarom 1-fase stroom te prefereren.

Voor kleinschalige waterkrachtcentrales is het gebruikelijk synchrone generatoren te gebruiken met vier polen. De gewenste snelheid is dan 1500 toeren/ minuut voor 50 Hz en 1800 voor 60 Hz. Lagere snelheden zijn mogelijk maar dan moeten meer-polige generatoren gebruikt worden die een stuk duurder in de aanschaf zijn.

De generatoren in kleinschalige waterkrachtcentrales zijn meestal '*stand-alone*'-units, dat wil zeggen niet aangesloten op het elektriciteitsnet. Voor dit soort doeleinden worden synchrone generatoren gebruikt. Dit type generatoren kan ook parallel geschakeld worden met het elektriciteitsnet. Inductiegeneratoren daarentegen kunnen alleen in combinatie met het net gebruikt worden. Zij hebben een simpeler constructie en zijn goedkoper, maar zijn dus niet in een '*stand-alone*'-situatie te gebruiken.

### Snelheidscontrole

Wisselstroom wordt gegenereerd met een frequentie van 50 of 60 Hz. Deze frequentie is afhankelijk van het toerental van de generator en moet binnen nauwe grenzen gehouden worden. Te grote variaties in de frequentie van de opgewekte stroom kunnen beschadigen in elektrische apparaten veroorzaken.

Om de frequentie constant te houden bestaan twee verschillende methodes:

- correctie van de hoeveelheid water die door de turbine gaat,
- elektronische belastingsregeling.

Bij waterhoeveelheidscorrectie wordt de hoeveelheid water die tot de schoepen van de turbine toegelaten wordt aangepast als er veranderingen in de rotatiesnelheid worden waargenomen. Hiervoor zijn bewegende delen nodig (al dan niet automatisch bestuurd). Het voordeel van deze methode is dat slechts die hoeveelheid water gebruikt wordt die daadwerkelijk nodig is. Het niet gebruikte water kan opgeslagen worden (dit voordeel verdwijnt als de centrale geen opslag mogelijkheid voor water heeft). Bij een elektronische belastingsregelaar wordt de hoeveelheid afgenomen stroom zodanig geregeld dat de turbine met een constante snelheid draait. Elektronische meetinstrumenten bepalen de gevraagde en de geleverde hoeveelheid stroom. Ballastweerstand (bijvoorbeeld verwarming van water) worden ingeschakeld om de afgenomen hoeveelheid stroom op een zodanig peil te brengen dat de frequentie constant blijft.

Voor kleinschalige waterkrachtcentrales zijn elektronische belastingsregelaars een goed en betrouwbaar alternatief voor de dure mechanische installaties voor het regelen van het debiet door de turbine.



## 2.6 Implementatie

### 2.6.1 Fases bij de invoering

Bij de invoering van kleinschalige waterkracht in een bepaald gebied zijn drie fases te onderscheiden; de planningsfase, de implementatiefase en de bedrijfsvoeringfase.

#### Planning

In de planningsfase van de invoering van kleinschalige waterkracht wordt om te beginnen het op te wekken vermogen vergeleken met het gevraagde vermogen. Bij het vaststellen van het gevraagde vermogen moet een onderscheid gemaakt worden tussen situaties waarbij waterkracht een bestaande energiebron vervangt en situaties waarbij waterkracht geen bestaande energiebron vervangt maar geheel nieuw is. De vraag naar energie is in de eerste situatie gelijk aan het nu geleverde vermogen. In de tweede situatie is de gevraagde hoeveelheid energie veel moeilijker te bepalen. Wel dient in beide gevallen rekening gehouden te worden met de aantrekkingskracht die het aanbod van energie heeft op de vraag ernaar.

Het op te wekken vermogen wordt bepaald aan de hand van topografische, hydrologische en technische onderzoeken.

Verdere aandachtspunten tijdens de planningsfase zijn:

- onderzoek naar de sociale en economische haalbaarheid,
- gevolgen voor de bestaande infrastructuur ,
- analyse van de wettelijke mogelijkheden en beperkingen,
- het opzetten van een systeem-ontwerp,
- het opzetten van een managementstructuur voor de bouwen de bedrijfsvoering van de kleinschalige waterkrachtcentrale.

De managementstructuur voor de bouwen de bedrijfsvoering van een kleinschalige waterkrachtcentrale kan op verschillende manieren vorm gegeven worden. Afhankelijk van de bemoeienis van de overheid kan deze structuur variëren van staatsondernemingen tot particuliere bedrijven. Vaak zal de bouw plaats vinden in een projectvorm waarbij meerdere partijen betrokken zullen zijn, waarna de bedrijfsvoering overgelaten wordt aan een hiervoor geschikte organisatie. Die organisatie hoeft hiervoor niet speciaal opgericht te worden, maar kan een bestaande zijn.

Omdat de omstandigheden per land verschillend zijn en geen enkele kleinschalige waterkrachtcentrale hetzelfde is, is het niet mogelijk eenduidig aan te geven welke organisatievorm het beste is.

#### Implementatie

In de implementatiefase worden de materialen aangekocht, de turbine gefabriceerd, de civiele werken en de elektrische installatie en het distributienetwerk aangelegd.

#### Bedrijfsvoering

Onder de bedrijfsvoering vallen de training van het bedienende personeel, het vaststellen van de tariefstructuur en inningswijze en het onderhoud van de installatie.

## 2.6.2 Problemen bij de invoering

Waterkracht bestaat bij gratie van stromend water. Fluctuaties in de rivierafvoer kunnen echter voor problemen zorgen. Vaak bestaan geen afvoergegevens van een bepaalde rivier over een langere periode, terwijl daarnaast ook goede topografische kaarten ontbreken. Voor een project gestart wordt moet dit goed gerealiseerd worden. In veel gevallen zal men genoeg moeten nemen met een niet-wetenschappelijke benaderingswijze. De hierbij gepaard gaande risico's moeten onderkent worden. Het kan worden aangetoond dat zelfs onder deze omstandigheden de implementatie van een waterkracht-project levensvatbaar kan zijn. Andere punten die vaak onduidelijkheden kunnen opleveren zijn waterrechten, licenties, rurale elektrificatieplannen en de wettelijke eisen als waterkracht gebruikt wordt voor productieve doeleinden.

Om later een betere bezettingsgraad (de ratio tussen de gevraagde en de opgewekte energie) te krijgen zal er veel energie gestoken moeten worden in de voorlichting over energiegebruik. Het doel hiervan is het vermijden van pieken van korte duur en een verhoging van de benuttingsgraad.

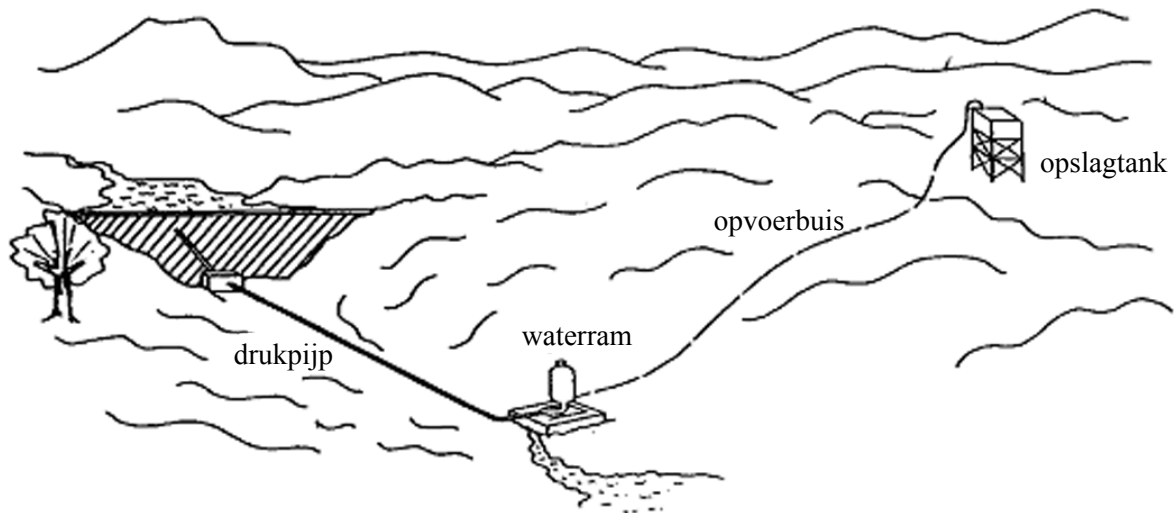
Het verkrijgen van medewerking van de lokale bevolking en hen betrekken in de uitvoering van het project is cruciaal voor het slagen van een ontwikkelingsproject, kleinschalige waterkracht vormt hierop geen uitzondering. Bij het doen van veldonderzoek en locatie vaststelling moet benadrukt worden dat het eerste probleem dat opgelost moet worden niet van technische maar van sociale aard is. Zodra een geschikte locatie gevonden is voor een kleinschalige waterkrachtcentrale moet de prioriteit liggen bij het benaderen van de lokale bevolking, de dorpsoudsten en gemeenschapsleiders. Tot in detail moet duidelijk gemaakt worden wat het effect van een kleinschalige waterkrachtcentrale zal zijn op hun levensomstandigheden. Men moet duidelijk zijn in wat er van de bevolking verwacht wordt in termen van medewerking en wat de uiteindelijke kosten voor de bevolking zullen zijn.

Pas nadat de medewerking van de bevolking is verkregen en men de gevolgen van het opzetten van een kleinschalige waterkrachtcentrale realiseert, kan er begonnen worden met de technische kant van het verhaal.

Bij het bepalen van de locatie en de grootte van een kleinschalige waterkrachtcentrale moet terdege rekening gehouden worden met het gebruik van rivier water voor irrigatie. Het bovenloops van de waterkrachtcentrale onttrekken van water aan de rivier ten behoeve van irrigatie beïnvloed de beschikbare hoeveelheid water voor de waterkrachtcentrale. Vroegtijdig overleg met de boeren hierover is dus gewenst.

## 2.7 Waterrammen

Waterrammen zijn eigenlijk geen turbines. Er wordt geen roterende beweging opgewekt. Waterrammen zijn pompen die werken op waterkracht. De druk van water wordt direct gebruikt om een deel van dat water te verpompen, bijvoorbeeld naar een opslagtank op een heuvel, of om het water horizontaal te verplaatsen. Er wordt dus niet eerst met een turbine elektriciteit opgewekt en er worden geen brandstoffen gebruikt.



*Overzicht van een waterram installatie*

Waterrammen kunnen op dezelfde manier als waterturbines geïnstalleerd worden. Het civieltechnische gedeelte is dus min of meer gelijk. Verschil is wel dat er ook een opvoerleiding en een opslagtank aanwezig moet zijn om het gepompte water mee te vervoeren en op te slaan. Door de werking van de waterram moet de drukpijp grotere krachten kunnen weerstaan dan bij een turbine. Voor kleine waterrammen kan nog HDPE gebruikt worden, maar ijzeren drukpijpen worden toch aanbevolen voor grotere waterrammen. Voor een optimale werking moet de lengte van de drukpijp 3 tot 7 maal de verticale lengte zijn.

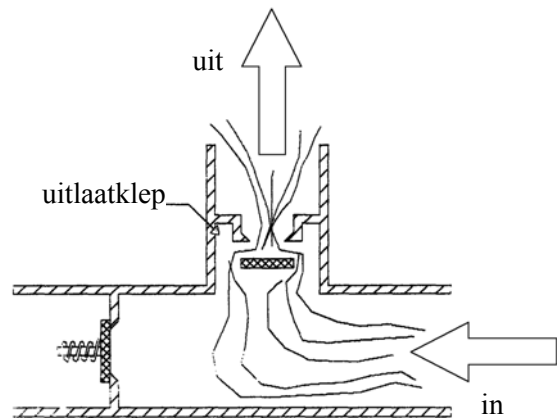
### 2.7.1 Geschiedenis

Reeds twee eeuwen wordt de technologie van de waterram toegepast. Zij vindt haar oorsprong in 1772, toen J. Whitehurst op theoretische manier de ram uitdacht, gebruik makend van de 'waterhamer' (water in beweging dat plotseling tot staan gedwongen wordt). Dit idee is vervolmaakt door J.M. de Montgolfier waarvoor hij in 1797 een patent verwierf. Inmiddels is de waterram vooral bekend om haar toepassingen als waterpomp in ontwikkelingslanden. Dit vooral in het kader van projecten in de drinkwatervoorzieningen op dorpsniveau. Minder bekend is, dat de waterram ook in geïndustrialiseerde landen toepassingen kent en gebruikt wordt. Heel wat fabrikanten hebben een productie opgezet, velen hebben hun eigen model ontworpen waardoor men echter bijna altijd voor onderdelen en onderhoud afhankelijk is van de desbetreffende fabriek. Deze rammen kenmerken zich meestal door hun uitzonderlijke robuustheid, met als gevolg hogere kosten.

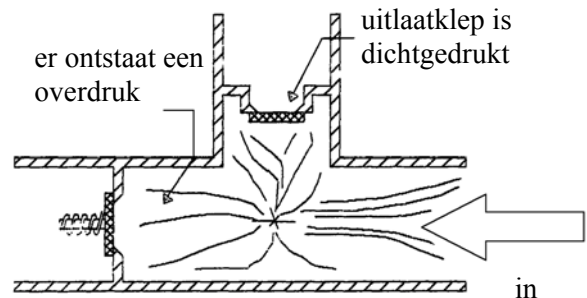
### 2.7.2 Werking

In de figuren is het hart van de waterram schematisch weergegeven. Rechts is steeds de ingang van de waterram. Hierdoor stroomt continu water naar binnen. Dit wordt aangeleverd door de drukpijp, die een minimale verticale hoogte heeft van 1 meter.

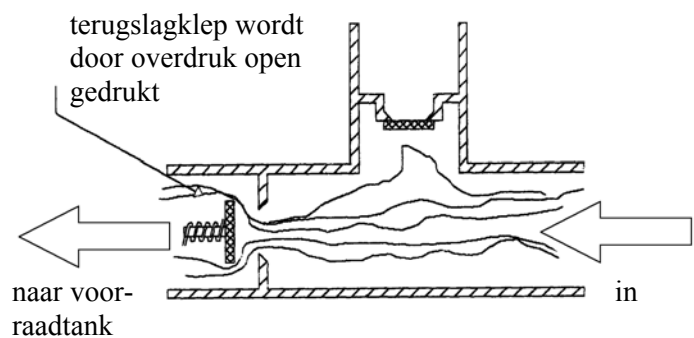
In eerste instantie stroomt het water in de waterram de bocht om, naar boven. (zie bovenste figuur) Hier komt het weer vrij in de buitenlucht terecht en stroomt terug in de rivier. Het water begint echter steeds meer snelheid te maken, tot op een gegeven moment het water de uitlaatklep meesleurt. Hierdoor sluit het water zijn eigen uitgang af.



Toch komt er door de aanvoerpijp nog water aangestroomd. Dit geeft een overdruk in de waterram. (zie middelste figuur) Als je thuis de kraan snel dichtdraait, is ook 'opeens' de uitgang dicht. Je hoort een 'toink' in de waterleiding. Dit heet wel de 'waterhamer'. Hieraan dankt de waterram zijn naam.



In de waterram wordt deze waterhamer nuttig gebruikt: met de overdruk wordt de terugslagklep links geopend. (zie onderste figuur) Dit leidt naar de opvoerbuis. Na verloop van korte tijd verdwijnt de overdruk. Hierdoor sluit de terugslagklep zich weer. Nu staat het water vrijwel stil. Door de zwaartekracht valt de uitlaatklep boven in de waterram weer naar beneden. Dit brengt ons bij het begin van de cyclus. Het hele proces gebeurt zo'n 2-3 keer per seconde. Uiteindelijk wordt telkens een klein beetje water naar de opvoerleiding geperst, en dus als het ware opgepompt.



### 2.7.3 Gebruik

Een belangrijk voordeel van een waterram is dat hij uit zichzelf volledig automatisch werkt, zolang er maar water wordt toegevoerd. In de praktijk zijn er veel toepassingen bekend, waarin rammen jarenlang zonder storingen non-stop hebben gewerkt. De waterram ondervindt hierbij nauwelijks slijtage, en is gratis in gebruik. Waterrammen kunnen parallel geschakeld worden met elk een eigen drukpijp, maar een gezamenlijke opvoerleiding. Bij variaties in watertoevoer kunnen dan enkele rammen aan- of afgesloten worden om toch optimaal te blijven pompen.

Ongeveer 10% van het water dat door de waterram stroomt wordt verpompt, de rest stroomt terug in de rivier. De opbrengst van de waterram hangt erg af van onder andere het verval, de opvoerhoogte en de grootte van de waterram. Opbrengsten variëren tussen 0,5 m<sup>3</sup> per dag per waterram tot enkele honderden m<sup>3</sup> per dag per waterram.

### 2.7.4 Types

Er zijn vele ontwerpen voor waterrammen in omloop. Op commerciële basis zijn al lange tijd gegoten waterrammen beschikbaar. Gegoten waterrammen zijn vrij duur en zijn vaak alleen aantrekkelijk voor grote toepassingen. Bovendien is er nogal wat kennis voor nodig om het apparaat te installeren en eventueel te repareren. Om de waterram aantrekkelijker te maken en omdat het werkingsprincipe van een waterram vrij eenvoudig is, hebben enkele organisaties met succes zelfbouw-rammen ontwikkeld. Dat wil zeggen, dat hij uit gemakkelijk verkrijgbare onderdelen zelf samen te stellen is. In 1996 heeft de WOT ook haar eigen waterram ontworpen: de Breurram.

Zelfbouwrammen hebben een lagere efficiëntie dan commerciële rammen. Echter, de kosten zijn over het algemeen lager en de beschikbaarheid hangt af van beschikbare kennis, vaardigheden en gereedschappen, en niet zozeer van financiële middelen en beschikbaarheid van leveranciers.

De kosten voor een commerciële waterram variëren tussen de 2400 US\$ voor een ram voor 2-inch drukpijpen en 8000 US\$ voor een ram voor 4-inch of 6-inch drukpijpen.

## 2.8 Kosten en opbrengsten

### 2.8.1 Economische aspecten

In dit hoofdstuk zal een globale economische analyse gegeven worden voor een kleinschalige waterkrachtcentrale. Hierbij zullen de volgende drie punten beschouwd worden:

- 1) investeringen (kapitaalkosten),
- 2) inkomsten,
- 3) bedrijfs- en onderhoudskosten.

#### Investerings

De kosten van kleinschalige waterkrachtcentrale variëren niet proportioneel met het gegenereerde vermogen. Een combinatie van groot verval en een klein debiet geeft hetzelfde vermogen als een combinatie met een klein verval en een groot debiet. De kosten zullen in het laatste geval echter veel hoger liggen omdat er een veel duurere turbine nodig zal zijn. Bij het gebruik van verkleinde versies conventionele technologie zoals bij grote waterkrachtcentrales gebruikt wordt, vallen de kosten voor een kleinschalige waterkrachtcentrale onacceptabel hoog uit. Bij het gebruik van speciale, voor kleinschalige projecten ontwikkelde, technologie verandert het kostenbeeld aanzienlijk.

De goedkoopste kleinschalige waterkracht systemen zijn lokaal gefabriceerd en worden alleen gebruikt voor mechanische toepassingen, zoals malen. De kosten hiervan kunnen liggen rond de US\$ 200 per geïnstalleerde kilowatt. De duurste kleinschalige waterkrachtcentrales zijn 'turn-key'-projecten voor elektriciteitsopwekking in afgelegen gebieden. Door het gebruik van moderne, geïmporteerde westerse technologieën en aannemers, kunnen de kosten oplopen tot 10.000 US\$/kW. Globaal genomen kost een kleinschalige waterkrachtcentrale voor het opwekken van elektriciteit tussen de US\$ 1000 en US\$ 4000 per kW (inclusief generator en distributienet).

De belangrijkste kosten voor een kleinschalige waterkrachtcentrale zijn de civiele werken en constructies aan de ene kant en de technische installaties aan de andere kant. Een algemene indeling van de te maken kosten is niet te geven omdat iedere kleinschalige waterkrachtcentrale uniek is in zijn verval/debiet combinatie en in de geologische omstandigheden. Voor een globaal idee kunnen echter de getallen aangehouden worden zoals die weergegeven zijn in de volgende tabel.

Klein verval		Groot verval	
dam en inlaat	35 %	inlaat en bezinkingstank	12 %
centralehuis	15 %	drukpijp	35 %
turbine en generator	35 %	centralehuis	9 %
200m elektriciteitskabel	5 %	turbine en generator	24 %
transport en installatie	5 %	200m elektriciteitskabel	5 %
diverse	5 %	transport en installatie	9 %
		diverse	6 %
totaal	100 %	totaal	100 %

Tabel: Verdeling van de kosten voor een kleinschalige waterkrachtcentrale.

Voor de (globale) prijzen van turbines geeft de volgende tabel enig inzicht.

Vermogen (kW)	Pelton	Turgo	Crossflow	Francis	propeller
2	2 – 4	2 – 4	1 – 2	4 – 6	4 – 6
5	3 – 8	5 – 8	2 – 6	8 – 10	8 – 10
20	8 – 20	12 – 20	3 – 14	20 – 30	20 – 30
100	40 – 80	55 – 80	30 – 50	40 – 100	40 – 100
200	60 – 100	80 – 100	50 – 80	60 – 120	60 – 120

Tabel: Kosten van turbines in 1.000 US\$

Aan de hand van de investeringskosten en de levensduur van de installatie kan een jaarlijks equivalent van de investeringskosten berekend worden.

### **Inkomsten**

De inkomsten kunnen bij een haalbaarheidsstudie slechts globaal geschat worden. Als de vraag naar geleverd vermogen bekend is, kan er een bepaalde prijs aan gekoppeld worden om zo het inkomen te berekenen. Voor systemen voor elektriciteitsopwekking zouden de lokale elektriciteitsstarieven gebruikt kunnen worden. Helaas is het vaak zo dat deze gesubsidieerd zijn en hierdoor onbereikbaar laag zijn voor een kleinschalige waterkrachtcentrale. Beter is het gebruik te maken van de kosten van de kleinschalige waterkrachtcentrale en de te verwachten benuttingsgraad (de fractie van het gegenereerde vermogen dat daadwerkelijk gebruikt wordt).

Een andere grondslag voor prijsbepaling kunnen de brandstofkosten zijn die door een kleinschalige waterkrachtcentrale uitgespaard worden. Een richtlijn is dat elektriciteit uit het nationale elektriciteitsnet bijna nooit verkocht wordt voor minder dan US\$ 0,04 /kWh. Waterkrachtcentrales kunnen werken voor kosten rond de US\$ 0,1 - 0,2 /kWh, terwijl de kosten bij het gebruik van dieselaggregaten liggen rond de US\$ 0,4 /kWh.

Bij mechanische systemen kan uitgegaan worden van de hoeveelheid product dat verwerkt kan worden en de hierbij verwachte opbrengst.

### **Bedrijfs- en onderhoudskosten**

De bedrijfskosten van een kleinschalige waterkrachtcentrale blijven beperkt tot een persoon die de installatie moet bemannen (al dan niet *part-time*). Onderhoudskosten worden meestal geschat op 3% per jaar van de investeringskosten. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de kosten van stilstand gedurende het onderhoud (tussen de 1 a 2 dagen en een week per jaar, afhankelijk van de lokale situatie).

### **2.8.2 Waterrammen**

De economische aspecten van een waterram liggen anders. Watervoorziening wordt vaak niet gemeten of verkocht. De haalbaarheid wordt dan ook vaak vergeleken met andere alternatieven zoals handpompen.

## **2.9 Onderhoud**

### **2.9.1 Civiele werken**

Het is aan te raden dagelijks te controleren of er geen opstoppingen in het aanvoerkanaal zitten. Ook is het belangrijk eventuele lekkages snel te repareren. Een lek kan snel groter worden en de grond langs of onder het kanaal wegspoelen. De bezinkingstank moet leeg geschept worden zodra deze te vol raakt met bezinksel. Ook het vuilrooster voor de drukpijp moet ontdaan worden van vuil indien nodig.

De drukpijp zelf vergt weinig onderhoud. Elke maand kijken of er geen lek is, is voldoende.

### **2.9.2 Turbines**

Turbines vergen weinig onderhoud zolang het water schoon gehouden wordt. Bij mechanische gebruik hangt het van de overbrenging af wat er aan onderhoud gedaan moet worden. Over het algemeen volstaat het om af en toe te controleren of de bouten en moeren nog goed vast zitten. Bij elektriciteitsopwekking kan het beste de onderhoudsinstructies van de leverancier van de generator gevolgd worden.



## 2.10 Literatuur

Dit hoofdstuk is gebaseerd op de volgende bronnen;

- *Micro-hydro power. Technical Brief.* - Intermediate Technology Development Group.  
[http://www.itdg.org/html/technical\\_enquiries/technical\\_briefs.htm](http://www.itdg.org/html/technical_enquiries/technical_briefs.htm)
- *Microhydro web portal.* - Wim Klunne.  
<http://www.microhydropower.net/>
- *Kleinschalige waterkracht voor gebruik in ontwikkelingslanden.* Wim Klunne. 1993.
- *Waterkracht.* - Projectbureau Duurzame Energie.  
<http://www.duurzame-energie.nl/downloads/factsheets/Waterkracht.pdf>
- *Micro-hydropower. A guide for development workers.* P. Fraenkel, e.a. - Intermediate Technology Development Group. 1991.
- *Micro-hydro design manual. A guide to small-scale water power schemes.* - A. Harvey. Intermediate Technology Development Group. 1993.
- *Renewable Energies.* - Climate Action Network Central and Eastern Europe (CAN CEE).  
<http://www.cancee.org/ren/ren.html>
- *The power guide.* Hulscher, Fraenkel - Intermediate Technology Publications/Technology and Development Group, University of Twente. 1994.
- *Water and Energy.* - Unesco.  
[http://www.unesco.org/water/wwap/facts\\_figures/water\\_energy.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_energy.shtml)
- *Hydraulic ram pumps. Technical brief.* - Intermediate Technology Development Group.  
[http://www.itdg.org/html/technical\\_enquiries/technical\\_briefs.htm](http://www.itdg.org/html/technical_enquiries/technical_briefs.htm)
- *Hydraulic rams* - TU Delft/Cicat. 1998