



# EVALUATIE VAN WATERPOMPSYSTEMEN

Energie-efficiency Beoordelingshandleiding  
Eerste Editie



Drinkwater en sanitaire  
voorzieningen



Duurzame energie en klimaatverandering  
voorzieningen



**Inter-Amerikaanse Ontwikkelingsbank**

# **EVALUATIE VAN WATERPOMPSYSTEMEN**

## **Energie-efficiency Beoordelingshandleiding**

Eerste Editie

Water and Sanitation Initiative  
Sustainable Energy and Climate Change Initiative  
Washington, D.C.  
2011

© Inter-American Development Bank, 2012. De standpunten en meningen in deze publicatie zijn die van de auteurs en niet noodzakelijkerwijs het officiële standpunt van de Inter-American Development Bank of de bij haar aangesloten landen.

Neem contact op met informatie: [agua@iadb.org](mailto:agua@iadb.org) or [secci@iadb.org](mailto:secci@iadb.org)

IDB-MG-112

# INHOUDSOPGAVE

PRESENTATIE .....	VII
AFKORTINGEN EN DEFINITIES .....	IX
<b>Hoofdstuk 1</b> .....	1
<b>Inleiding</b> .....	1
<b>Hoofdstuk 2</b> .....	5
<b>Kernpunten van energiemanagement</b> .....	5
2.1. Energie-Efficiency Comité .....	5
2.2. Energie-Efficiency Plan (EEP) .....	6
2.3. Beoordeling prestaties .....	7
2.4. Doelstelling .....	7
<b>Hoofdstuk 3</b> .....	9
<b>Methodologie investeringsgraad energie ‘audit’ (IGEA)</b> .....	9
Veld/praktijkwerk .....	10
Stap 1 – Gegevens Verzamelen .....	10
Stap 2 – Veld/praktijkmetingen .....	10
Kantoorwerk .....	10
Stap 3 – Analyse van de informatie .....	10
Stap 4 – Identificatie van besparingsmogelijkheden van de energie .....	11
Stap 5 – Evaluatie bezuinigingsmaatregelen .....	11
Stap 6 – Uitvoering Actieplan .....	11
<b>Hoofdstuk 4</b> .....	13
<b>Evaluatie (Energie-efficiency diagnose)</b> .....	13
4.1. Gegevens verzamelen .....	13
4.1.1. Drinkwater en energiesector: nationaal verband .....	13
4.1.2. Situatie van het drinkwater- en afvalwaterbedrijf .....	14
4.1.3. Basisgegevens .....	14
4.1.4. Gegevens van het elektrische systeem .....	14
4.2. Veld/Praktijkmetingen .....	18
4.2.1. Elektrische Metingen .....	19
4.2.2. Hydraulische Metingen .....	22
4.2.3. Temperatuurmetingen .....	26
4.2.4. Metingen en waarnemingen voor onderhoudscontrole .....	27
4.2.5. Veld/praktijkgegevens logsjablonen .....	28
4.3. Analyse en rendementsbeoordeling .....	28
4.3.1. Berekenen van de elektrische verliezen in het elektrische systeem .....	28
4.3.2. Berekening van de verliezen en het rendement van de elektromotor .....	33
4.3.3. Berekening van de verliezen en het rendement van de pomp .....	37
4.3.4. Berekening van verliezen in het distributienet .....	43
4.3.5. Berekening van de energie-indicatoren .....	48
4.3.6. Werkelijke energiebalans .....	49
4.3.7. Analyse van de werkomstandigheden .....	50
<b>Hoofdstuk 5</b> .....	53
<b>Identificeren van energiebesparingsmogelijkheden</b> .....	53
5.1. Maatregelen betreffende de energieprijs .....	53
5.1.1. Optimalisatie elektrisch servicetarief .....	53
5.1.2. Beheersing van de vraag naar elektriciteit .....	54
5.2. Maatregelen ter vermindering van verlies in de elektrische installaties .....	54

5.2.1. Koelingverbetering in transformatoren	54
5.2.2. Upgrade Elektrische Kabels	55
5.2.3. Cosinus Phi Optimaliseren	55
5.3. Maatregelen om het rendement van de motoren te verhogen	55
5.3.1. Herstel Spanningfluctuaties	55
5.3.3. Rendement van de motor optimaliseren	56
5.3.4. Vervang de motor-pomp combinatie	56
5.4. Maatregelen om pomprendement te verhogen	58
5.4.1. Stel de pompinstallatie af op het eigenlijke werkpunt	58
5.4.2. Waaierpositie afstellen in open waaier-turbinepompen	59
5.5. Verminderen van opvoerhoogteverliezen	60
5.5.1. Corrigeer de fouten in de persleidingconfiguratie en bediening	60
5.5.2. Verminder wrijvingsverliezen in stroomleidingen	60
5.6. Lekkagevermindering	61
5.6.1. Implementatie van een lekdetectiesysteem en reparatie	61
5.7. Operationele verbeteringen	61
5.7.1. Installatie van frequentieomvormers	61
5.7.2. Installatie van waterslagtanks	63
5.8. Vervanging stroomvoorzieningsbron	64
5.8.1. Gebruik van duurzame energiebronnen	64
5.8.2. Productie en gebruik van biogas in afvalwaterzuiveringsinstallaties	66
<b>Hoofdstuk 6</b>	67
<b>Beoordeling bezuinigingsmaatregelen</b>	67
6.1. Energiebesparingsevaluatie (Verwachte Energiebalans)	67
6.1.1. Het rendement van de investeringsanalyse	68
<b>Hoofdstuk 7</b>	69
<b>Energie audit verslag</b>	69
7.1. Samenvatting	69
7.2. Evaluatie Installatiebeschrijving	69
7.3. Analyse van energieverbruik	69
7.4. Aanbevelingen van bezuinigingsmaatregelen en kosten	70
<b>Hoofdstuk 8</b>	71
<b>Onderhoud: belangrijkste aspecten</b>	71
8.1. Inventaris van apparatuur en installaties	71
8.2. Activiteiten en frequentie van uitvoering	72
8.3. Schema onderhoudsprogramma	72
<b>Hoofdstuk 9</b>	77
<b>Ontwerp actieplan</b>	77
9.1. Uitvoerende projecten	77
9.2. Activiteiten en het kritieke pad	79
9.3. Financieringsplan	82
<b>Hoofdstuk 10</b>	85
<b>Actieplan uitvoering</b>	85
10.1. Actieplan toezicht	85
10.2. Technische training	86
<b>Hoofdstuk 11</b>	87
<b>Monitoren en evaluatie</b>	87

## Lijst afbeeldingen

Afbeelding 1:	Onderdelen van een energie-efficiency programma .....	2
Afbeelding 2:	Schema van een succesvol energie-efficiency managementplan .....	5
Afbeelding 3:	Algemene samenvatting van de methode voor een IGEA. ....	9
Afbeelding 4:	Typisch energieverbruik en -verliezen in drinkwatervoorzieningen en afvalwatersystemen in het Caribische gebied .....	13
Afbeelding 5:	Meting van de spanning in een pompinstallatie .....	20
Afbeelding 6:	Elektrische stroommeting .....	21
Afbeelding 7:	Metten van de cosinus phi voor de condensatorbank .....	22
Afbeelding 8:	Metten van de cosinus phi na de condensatorbank .....	22
Afbeelding 9:	Positie van de vloeimeter .....	23
Afbeelding 10:	Drukmeting met een Bourdon manometer .....	24
Afbeelding 11:	Drukmeting in de persleiding .....	24
Afbeelding 12:	Drukmeting als er manometers in de zuig- en persleiding aanwezig zijn. ....	25
Afbeelding 13:	Niveaumeting pompinstallatie .....	25
Afbeelding 14:	Dynamische niveaumeting van pomp zuigput .....	26
Afbeelding 15:	Dynamische niveaumeting van een laag niveau reservoir .....	26
Afbeelding 16:	Typische elektromotorische systeemcomponenten van een pompsysteem .....	28
Afbeelding 17:	Energiestroom elektrische motor .....	33
Afbeelding 18:	Typisch rendement versus belastingcurve van een inductiemotor bij 1800 toeren .....	34
Afbeelding 19:	Rendementsvariatie gebaseerd op de afwijkingen t.o.v. de oorspronkelijke spanning in een elektrische motor .....	35
Afbeelding 20:	Vermogensvermindering van een elektromotor op basis van spanningsfluctuatie .....	36
Afbeelding 21:	Verliezen in een centrifugaalpompe .....	38
Afbeelding 22:	Schema van rendementen die bestaan uit elektromechanische rendementen .....	39
Afbeelding 23:	Moody-diagram .....	42
Afbeelding 24:	Centrifugaalpompen in Parallelregeling .....	44
Afbeelding 25:	Belastingcapaciteit van centrifugaalpompen in parallelbedrijf .....	44
Afbeelding 26:	Het effect van verschillende parallelpompen in een leidingstelsel .....	45
Afbeelding 27:	Nomogram voor de berekening van dezelfde lengte van leiding accessoires .....	47
Afbeelding 28:	Schematisch diagram van de problemen van een draaiende pompe die afwijkt van zijn werkpunt .....	51
Afbeelding 29:	Pompwerking en rendementsbeïnvloeding van wege variabele bedrijfsomstandigheden .....	52
Afbeelding 30:	Typische curven van twee pompen met verschillende H-Q kromme .....	58
Afbeelding 31:	Schema van turbinepompe met open waaier .....	59
Afbeelding 32:	Schema van een verticale as motor gekoppeld aan een turbinepompe* .....	60
Afbeelding 33:	Werking van een windmolen om grondwater op te pompen .....	65
Afbeelding 34:	Fabrikant data sheet van pompinstallatie .....	78
Afbeelding 35:	Voorbeeld van een energie-efficiency programma .....	80
Afbeelding 36:	Voorbeeld van een financieringsplan .....	82

## Lijst tabellen

Tabel 1:	Informatie die verzameld moet worden van het drinkwaterbedrijf .....	15
Tabel 2:	Beschrijving van de meetcampagne .....	18
Tabel 3:	Berekeningen voor totale hydraulische opvoerhoogte en gemeten parameters .....	27
Tabel 4:	Gegevens en kenmerken van het elektrische systeem catalogusformulier .....	29
Tabel 5:	Hydraulische en elektrische metingen catalogusformulier .....	30
Tabel 6:	Voorbeeld van weerstand t.o.v. verschillende kabelafmetingen en spanningsval .....	31
Tabel 7:	Voorbeeld berekening van energieverlies door het Joule Effect .....	32
Tabel 8:	Afschrijven van het rendement van een motorwikkeling volgens temperatuur .....	35
Tabel 9:	Waarden van de absolute ruwheid voor verschillende leidingmaterialen .....	41
Tabel 10:	Dynamische viscositeit van water .....	42
Tabel 11:	Voorbeeld van de energiebalans in een pompsysteem .....	49
Tabel 12:	Aanbevolen acties om de conditie van de transformator te verbeteren .....	54
Tabel 13:	Aanbevolen acties om de spanningsfluctuatie in elektromotoren te herstellen .....	56
Tabel 14:	Aanbevolen acties om inefficiënte bedrijfsomstandigheden van elektromotoren te herstellen .....	57
Tabel 15:	Aanbevolen maatregelen om de pompcurve af te stellen op de werkelijke werkconditie .....	58
Tabel 16:	Voorbeeld energieverbruikskaart .....	62
Tabel 17:	Voorbeeld overzichtsformulier energiebesparingsplan .....	68
Tabel 18:	Aanbevolen frequentie voor verschillende onderhoudsactiviteiten .....	73
Tabel 19:	Voorbeeld onderhoudsschema .....	75
Tabel 20:	Belangrijkste indicatoren voor monitoren van het drinkwatersysteem .....	87





## PRESENTATIE

Als onderdeel van de technische samenwerking 'Energiebesparing voor de Caraïbische Drinkwater en Afvalwaterbedrijven' heeft het 'Sustainable Energy and Climate Change Initiative (SECCI)' van de IDB een regionale methodologie ontwikkeld om de energie-efficiency en het onderhoud van drinkwaterbedrijven in de Latijns-Amerikaanse en Caraïbische landen te verbeteren. Deze methodologie, ontwikkeld door de consultancybureaus Econoler International en Alliance to Save Energy, richt zich in hoofdzaak op het electromechanische rendement van pompsystemen in het Caraïbische gebied. Dit is de energie-efficiency beoordelingshandleiding. Een rekenblad, een rekenbladgids en een energie-efficiency handleiding zijn ook beschikbaar op de portal van IDB Publicaties: Portal: <http://www.iadb.org/publications/> and the Water and Sanitation Initiative Portal: <http://www.iadb.org/en/topics/water-sanitation/energy-efficiency-for-utilities,4492.html>.

Deze handleiding werd uitgevoerd onder supervisie van Sustainable Energy and Climate Change Initiative (SECCI) en de Water and Sanitation Division (WSA). Hieraan werkten mee: Christoph Tagwerker (SECCI), Marcello Basani (WSA), Rodrigo Riquelme (WSA) en Gerhard Knoll (WSA). De handleiding om energie te besparen is ontwikkeld door de consultancy bureaus Econoler International en Alliance to Save Energy – Arturo Pedraza en Ramón Rosas.

Drinkwater en sanitaire voorzieningen  
Duurzame energie en klimaatverandering voorzieningen



## AFKORTINGEN EN DEFINITIES

Afkorting en definities worden hieronder weergegeven om algemene concepten te verduidelijken voor de gebruikers van deze handleiding.

### AFKORTINGEN

AP	Actieplan
AWG	Amerikaanse kabeldiameter eenheid
EEP	Energie-Efficiency Programma
$\eta$	Rendement
EI	Energie Index
PK	Paardenkracht
H <sub>0</sub>	Opvoerhoogte
I <sub>R</sub>	Elektrische stroom in fase R
I <sub>S</sub>	Elektrische stroom in fase S
I <sub>T</sub>	Elektrische stroom in fase T
IDB	Inter-American Development Bank
IGEA	Investeringsgraad voor energiecontrole
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattuur (Werkelijk vermogen)
kVA	Schijnbaar vermogen
kVAr	Blindvermogen
mwk	Meter waterkolom
mm <sup>2</sup>	Vierkante millimeter (kwadraat)
N <sub>R</sub>	Referentieniveau
N <sub>Z</sub>	Zuigniveau
(D <sub>R-M</sub> )	Aftand van referentieniveau tot manometer of drukmeter
Cos $\phi$	Cosinus Phi Factor
P <sub>Z</sub>	Zuigdruk
P <sub>P</sub>	Persdruk
Q	Waterdebiet
Omw/min	Omwentelingen per minuut
B.F.	Bedrijfsfactor
UCE	Eenheidsprijs energie
WSC	Drinkwater- en afvalwaterbedrijf
\$	Munteenheid

### DEFINITIES

**Werkelijk vermogen** – Vermogen gebruikt door een elektrische motor die nuttige arbeid verricht.

**Schijnbaar vermogen** – Som van het werkelijke en het blindvermogen of het product van de stroom en spanning.

**Drinkwater** – Kleurloze, smaakloze and reukloze vloeistof aanwezig in de natuur of geproduceerd door middel van een zuiveringsproces; gebruikt voor consumptie door mens en dier.

**Elektrische stroom** – De stroming van elektrische lading in ampère (A) die door een kabel gaat met een weerstand (R) onder een spanning (V).

**Elektrisch vermogen** – Vermogen in watts, dat nodig is aan de ingang van de elektrische motor die gekoppeld is aan de pomp wanneer deze normaal functioneert.

**Elektrische spanning** (V) – Elektrisch potentieel spanningsverschil gemeten tussen twee punten in een stroomkring.

**Debiet** – Volume van water gemeten per tijdseenheid, meestal uitgedrukt in liter per seconde (l/s).

**Wrijvingsfactor** – Wrijvingscoëfficiënt van water met de leidingwand. De factor is afhankelijk van het materiaal van de pijp, of deze vervaardigd of bekleed is, de diameter van de pijp en het water dat er doorheen stroomt.

**Debietmeting** – Watervolume gemeten volgens een tijdseenheid. Uitgedrukt in liter per seconde (l/s).

**Lekkages** – Fysieke lekkages van water in een waterleidingnetwerk.

**Opvoerhoogte leidingnet** – Algebraïsche som van de belaste persdruk gemeten aan de perszijde, gecorrigeerd met de hoogte naar de hartlijn van de drukmeters, het dynamische niveau, de wrijvingsverliezen in de leidingen en de snelheidsdruk.

**Cosinus Phi Factor** – Verhoudingsfactor tussen het werkelijke vermogen en het schijnbare vermogen; de cosinus phi factor beschrijft de relatie tussen het vermogen dat wordt omgezet in nuttige en werkelijke arbeid en het totale verbruikte vermogen.

**Pomp** – Hydraulisch apparaat dat mechanische energie omzet in drukenergie, die vervolgens wordt overgedragen naar het water.

**Blindvermogen** – Vermogen verbruikt door een elektrische motor om het nodige magnetische veld te genereren om te kunnen functioneren. In de driehoek die gevormd wordt door het werkelijk vermogen, is de tegenovergeselde poot van schijnbaar vermogen en elektrisch vermogen het blindvermogen, en de hypotenusa is het schijnbare vermogen. De hoek Phi wordt gevormd door het schijnbare vermogen en het werkelijke vermogen, en de Cosinus Phi is  $\cos \theta$

**Referentieniveau** – Het niveau dat gekozen wordt als referentie voor alle hydraulische metingen. Het is meestal het onderste vlak van de montageplaat van de pompinstallatie.

**Druksnelheid** – Kinetische energie per gewichtseenheid van de stromende vloeistof.

**Zuigniveau** – Verticale afstand vanaf het referentieniveau tot het wateroppervlak, wanneer de pompinstallatie in bedrijf is

**Zuigput** – Extra hydraulische structuur van het hydraulische systeem hetgeen dient voor het opvoeren van elke vloeistof van een lager naar een hoger niveau; wordt toegepast voor drinkwater, gezuiverd water, afvalwater drainage en regenwater drainage

**Waterbron** – Locatie waar de inname van drinkwater plaatsvindt alvorens het geleverd wordt aan het distributiesysteem.

# Hoofdstuk 1

## INLEIDING

Het primaire doel van drinkwater- en afvalwaterbedrijven is om de bevolking van drinkwater te voorzien en een belangrijke rol in het algemene watermanagement op zich te nemen. De voortdurende urbanisatiegroei heeft de vraag naar en de exploitatie van drinkwatervoorziening(en) vergroot en op grond daarvan is er een toename van de energiebronnen die gebruikt worden voor de verwerking en distributie van deze belangrijke bron naar de bevolking. Beperkte energiebronnen, watervoorzieningen en een gebrek aan milieubewustzijn in de regio zijn een uitdaging voor de Caraïbische drinkwater- en afvalwaterbedrijven, die de services dienen te verhogen tegen lage kosten en tegelijkertijd de energie- en watervoorraden moeten maximaliseren en de negatieve consequenties voor het milieu dienen te verminderen.

De drinkwater- en afvalwatersector in het Caraïbische gebied vergt constante updates van de infrastructuur en aanpassingen in de uitvoer om de efficiency van drinkwater en energie van drinkwatersystemen te bevorderen. Niettemin zijn de economische middelen in de regio schaars en zodoende wordt de ontwikkeling van een uitgebreid integraal plan om het probleem op te lossen belemmerd.

Energie-efficiency metingen, mits die worden toegevoegd aan een integraal plan, worden soms uitgesteld en in sommige gevallen elimineren dit soort metingen de noodzaak voor investeringen in extra infrastructuur. Het samenstellen van een uitgebreid plan voor energie-efficiency verbeteringen in de openbare waterdienstverlening is een waardevolle investering omdat het terugverdiend wordt in de vorm van besparingen in operationele kosten door het dienstverleningsniveau op te voeren en het drinkwater- en afvalwaterbedrijf van financiële duurzaamheid te voorzien.

Zich bewust van het probleem in de Caraïbische landen, heeft De Inter-American Development Bank (IDB) het project 'Energie-efficiency in de drinkwater- en afvalwaterbedrijven van het Caraïbische gebied' gelanceerd, waardoor elk land een energie-efficiency plan (EEP) kan ontwikkelen met als doel het verbeteren van de energie-efficiency en het verminderen van de energiekosten in de Caraïbische drinkwater- en afvalwatersector.

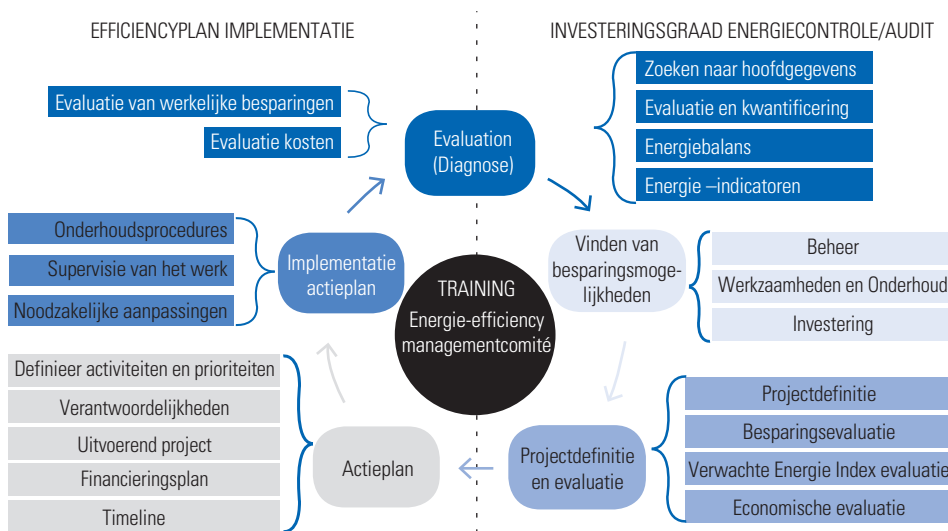
Het specifieke doel is om de Caraïbische landen te voorzien van een algemene methode, dat wil zeggen: het ontwikkelen van een actieplan om de energie-efficiency te verhogen waarmee nutsbedrijven hun voorzieningen zelf kunnen evalueren, hun verbeteringen door middel van technologie en praktijk kunnen identificeren en evalueren, projecten kunnen uitvoeren en energie-efficiency kunnen controleren.

Het uitvoeren van een EEP voor een drinkwater- en afvalwatersysteem brengt het volgende met zich mee: het ontwikkelen van een reeks stappen om te bepalen waar en hoeveel energie het systeem verbruikt, de mate van efficiency, de metingen en specifieke projecten om het verbruik en de kosten te verlagen, de kosten-batenanalyse of het rendement van zulke activiteiten, het uitvoeringsplan, de beoordelingsmethoden en de resultaten.

Het EEP kan worden onderverdeeld in twee hoofdactiviteiten: een energie-efficiency controle of *audit* en het uitvoeren en controleren van activiteiten voor energie-efficiency verbetering.

Afbeelding 1 geeft een goed beeld van de onderdelen van het EEP.

## AFBEELDING 1: Onderdelen van een energie-efficiency programma



Dit proces is als volgt onderverdeeld:

- Vaststellen en bevestigen van echte betrokkenheid van het drinkwater- en afvalwaterbedrijf, wat neerkomt op het aanstellen van een EEP-comité.
- Evaluatie van de werkelijke prestaties in energieverbruik, inclusief de relatie tussen het actuele systeem en het onderhoud.
- Bepaling van mogelijkheden voor verbetering en besparingsmogelijkheden, gebaseerd op de evaluatie van de werkelijke prestatie (van het huidige systeem).
- Evaluatie van de gevonden mogelijkheden en suggesties om projecten en verwachte besparingen te definiëren.
- Ontwerp van een actieplan, met omschreven doelstellingen, 'timelines', beleidsmakers en de middelen die gebruikt worden.
- Uitvoering van het actieplan, wat neerkomt op supervisie op de uitvoering van het werk, uitvoeringsprocedures, uitvoering van onderhoud en het geven van feedback tijdens de uitvoering van verbeteringen.
- Beoordeling en controleren van de resultaten, wat neerkomt op een periodieke meting van de vooruitgang tot aan het eind van het hele proces. Hiermee kunnen de resultaten van de werkelijk behaalde voordelen vastgelegd worden en verbeteringen doorgevoerd worden.

Het implementeren van een EEP is een continu proces van verbeteringen dat bestudeerd moet worden gedurende de levensduur van een drinkwater- en afvalwaterbedrijf, en moet vastgelegd worden als een permanent programma.

Deze handleiding is bedoeld om een methode te ontwikkelen voor het implementeren van een EEP en het definiëren van elk onderdeel. Hoofdstuk 2 richt zich op de criteria voor het vormen van een

energie-efficiency management comité en de richtlijnen ervan. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de methode voor het uitvoeren van een energie-efficiency controle en bestaat uit het volgende:

- De evaluatie of bepaling van de energie-efficiency
- Het identificeren van mogelijkheden voor verbetering
- De definitie en evaluatie van projecten voor verbetering

Hoofdstukken 4 t/m 7 bespreken de drie onderdelen van een energie-efficiency controle (of zogenaamde ‘audit’) en de inhoud van een dergelijke *audit*. Hoofdstuk 8 geeft aanbevelingen van kernpunten voor onderhoudswerkzaamheden. Hoofdstuk 9 heeft betrekking op de voorwaarden en de onderdelen die deel uitmaken van het actieplan. Hoofdstuk 10 beschrijft de activiteiten en aanbevelingen voor het implementeren van het actieplan. En tot slot beschrijft hoofdstuk 11 de methoden en technieken om de besparingen te beoordelen zodra het actieplan wordt uitgevoerd.





## Hoofdstuk 2

### KERNPUNTEN VAN ENERGIEMANAGEMENT

Succesvol energiebeheer voor een Caraïbische waterbedrijf komt neer op het toepassen van fundamentele principes van energie-efficiency:

1. Beheer – effectief toepassen van deze principes wat betreft het beheer van het EEP en projecten.
2. Financiering – het creëren van financiële strategieën voor energiebesparende maatregelen op de korte, middellange en lange termijn om de investering snel terug te verdienen.
3. Uitvoering – voortdurend zoeken naar betere en efficiëntere manieren om goedkope waterdistributie services aan de bevolking te leveren.
4. Inkomsten – het beheren van de inkomsten van water services om de energie-efficiency te verbeteren en tegelijkertijd de winst te verhogen.

Het uiteindelijke doel van energiemangement is om het financieel rendabel te maken door middel van gestructureerde inspanningen. Daarom is het van essentieel belang om personeel te mobiliseren om resultaten te bereiken met een plan dat navolging verdient.

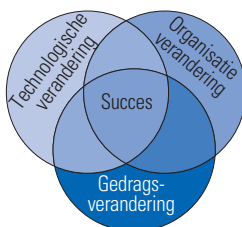
De eerste stap voor energiemangement vloeit voort uit de bereidheid en motivatie van het drinkwater- en afvalwaterverwerkingsbedrijf (WSC) om de totale energie-efficiency te verbeteren. Om dit te doen, moeten alle afdelingen van het waterbedrijf worden betrokken bij het bewerkstelligen van een gedragsverandering. Afbeelding 2 laat zien hoe de drie belangrijkste onderdelen van een waterbedrijf geïntegreerd moeten worden om energie-efficiency te bereiken.

Ongeacht de omvang van het bedrijf zal het bedrijf het juiste en noodzakelijke personeel moeten aanstellen evenals financiering moeten aanboren om een permanente verbetering te zien. Als dit eenmaal gebeurd is, is het belangrijk om een energie-efficiency comité aan te stellen.

#### 2.1. ENERGIE-EFFICIENCY COMITÉ

Dit comité moet een voorzitter hebben, de ‘energie-beschermheer/vrouwe’ genaamd die wordt bijgestaan door het uitvoerend personeel. Het aanstellen van een ‘energie-beschermheer/vrouwe’ is heel belangrijk voor een geslaagd EEP. Hij/zij bepaalt de doelstellingen, volgt de vooruitgang en bevordert het energiemangement programma. Deze persoon is niet altijd een deskundige in energie- en technische systemen maar hij/zij begrijpt hoe energiemangement het bedrijf kan helpen met het

**AFBEELDING 2:** Schema van een succesvol energie-efficiency managementplan



verwezenlijken van de financiële en ecologische doelstellingen. Afhankelijk van de omvang van het bedrijf, kan de rol van de energiebeschermheer/vrouw een fulltime functie zijn of een aanvulling op de verantwoordelijkheden van het uitvoerend personeel.

De belangrijkste taken van de voorzitter omvatten vaak:

- Creëren en leiden van het energieteam
- Aanspreekpunt voor senior management
- Coördinatie en sturen van het complete energieprogramma
- Zichtbaar maken van energiemangement binnen de organisatie
- Bepaling van een energiebeleid
- Beoordeling van de potentiële waarde van een verbeterd energiemangement
- Garanderen van voldoende middelen om strategisch energiemangement te implementeren
- Garanderen van de verantwoordingsplicht en de motivatie van de belangrijkste delen van de organisatie
- Identificeren van mogelijkheden voor verbetering en toezien op de uitvoering hiervan (inclusief training van het personeel)
- Meten, volgen, evalueren en communiceren van de resultaten
- Het verkrijgen van erkenning voor prestaties

Als de energie beschermheer/vrouw niet direct rapporteert aan een senior manager, is het vaak nuttig voor een lid van het senior management om als ‘uitvoerend bondgenoot’ te dienen. Betrokkenheid van hoger management is een essentieel onderdeel voor succesvolle programma’s. Een bondgenoot biedt een directe link naar het hoger management en helpt bij het streven naar aanhoudende verbetering(en).

In aanvulling op de planning en uitvoering van specifieke verbeteringen, meten en volgen **medewerkers van het energieteam** de energieprestaties en communiceren zij updates/nieuws bestemd voor management, andere medewerkers en andere belanghebbenden. De grootte van het energieteam hangt af van de grootte van het bedrijf. In aanvulling op de beschermheer/vrouw die het team en eventuele medewerkers leidt, is het een goed idee om een vertegenwoordiger van elke afdeling van het bedrijf die energieverbruik aanzienlijk beïnvloedt, aan te stellen. Voorbeelden van dergelijke afdelingen zijn:

- Engineering
- Inkoop
- Exploitatie en onderhoud
- Gebouw(en) / facilitair management
- Milieu, gezondheid en veiligheid
- Vastgoed
- Bouwmanagement
- Zzp’ers en leveranciers
- Nutsbedrijven / computersystemen

## 2.2. ENERGIE-EFFICIENCY PLAN (EEP)

De tweede belangrijke stap van energiemangement is het door het team vastgestelde energie-efficiency plan. Zo een plan vormt de basis voor een succesvolle energiehuishouding. Het formaliseert de

ondersteuning van het senior management en verwoordt de inzet van de organisatie wat betreft energie-efficiency voor de werknemers, aandeelhouders, de gemeenschap en andere belanghebbenden

Een succesvol EEP houdt zich aan de volgende richtlijnen:

- Doelstelling — een duidelijke meetbare doelstelling die de verbintenis, cultuur en prioriteiten van de organisatie weerspiegelt.
- Verantwoording — maak een draaiboek, omschrijf de verschillende rollen in de organisatie en geef bevoegdheid aan het personeel om het EEP uit te voeren
- Aanhoudende verbetering — stel bepalingen op voor het evalueren en het bijwerken van het plan om de veranderende behoefte en prioriteiten aan te geven.
- Bevorderen van doelstellingen — context voor het vaststellen van prestatiegerichte doelstellingen door energiedoelstellingen te koppelen aan de totale financiële en milieudoelstellingen van de organisatie.

Een succesvol EEP moet verder:

- Een bedrijfschef benoemen voor de officiële beleidskwesties en het overbrengen van beleidsveranderingen aan het personeel voor grotere betrokkenheid en motivatie.
- De belangrijkste mensen in de ontwikkeling van het plan betrekken om te zorgen voor aanvullende inkoop.
- Passen bij de omvang van de cultuur van de organisatie.
- Begrijpelijk zijn voor medewerkers en publiek.
- De vaardigheden en capaciteiten van het management en de medewerkers weergeven.
- Dagelijkse werkzaamheden weergeven.

### **2.3. BEOORDELING PRESTATIES**

Inzicht in het huidige en het eerdere verbruik van de energie is een manier waarop veel organisaties mogelijkheden identificeren om energieprestaties te verbeteren om zo financiële voordelen te behalen. Beoordeling van de prestaties komt neer op het periodieke proces van de evaluatie van het energieverbruik van alle belangrijke voorzieningen en functies in de organisatie en het vaststellen van een basis voor het meten van toekomstige resultaten van de efficiency-inspanningen.

De beoordeling van een energieprestatie helpt bij het:

- Rangschikken van het huidige energieverbruik per brandstoftype, operationele afdeling, installatie, productlijn, enz.
- Identificeren van goed presterende installaties voor erkenning en praktijken die voor herhaling vatbaar zijn.
- Identificeren van slecht presterende installaties die onmiddellijk verbeterd dienen te worden.
- Verkrijgen van inzicht in de bijdrage van energie-uitgaven voor de exploitatiekosten.
- Ontwikkelen van een historisch perspectief en kader voor acties en beslissingen in de toekomst.
- Opzetten van referentiepunten voor het meten en belonen van goede prestaties.

### **2.4. DOELSTELLING**

Prestatiedoelstellingen sturen energiemangement en bevorderen een aanhoudende verbetering. Het stellen van een duidelijk en meetbaar doel is van cruciaal belang voor het begrijpen van de beoogde

resultaten en het ontwikkelen van effectieve strategieën om financiële winst te behalen. Goed doelstellingen leiden ook tot dagelijkse besluitvorming en vormen de basis voor het volgen en meten van vooruitgang. Het overbrengen en publiceren van doelstellingen kan het personeel motiveren om energiemangement in de gehele organisatie te ondersteunen. Doelstellingen helpen de energiebeschermheer/vrouw met het:

- Zetten van de toon voor verbetering in de hele organisatie
- Meten van succes van het programma voor energiebeheer
- Bijstaan van het energiecomité in het identificeren van de vooruitgang en tegenslagen van het bedrijf op een breed vlak.
- Bevorderen van betrokkenheid bij het energiemangement van het personeel
- Tonen van betrokkenheid bij de vermindering van nadelige milieu-effecten.
- Maken van een agenda voor het upgraden van werkzaamheden en het identificeren van mijlpalen.

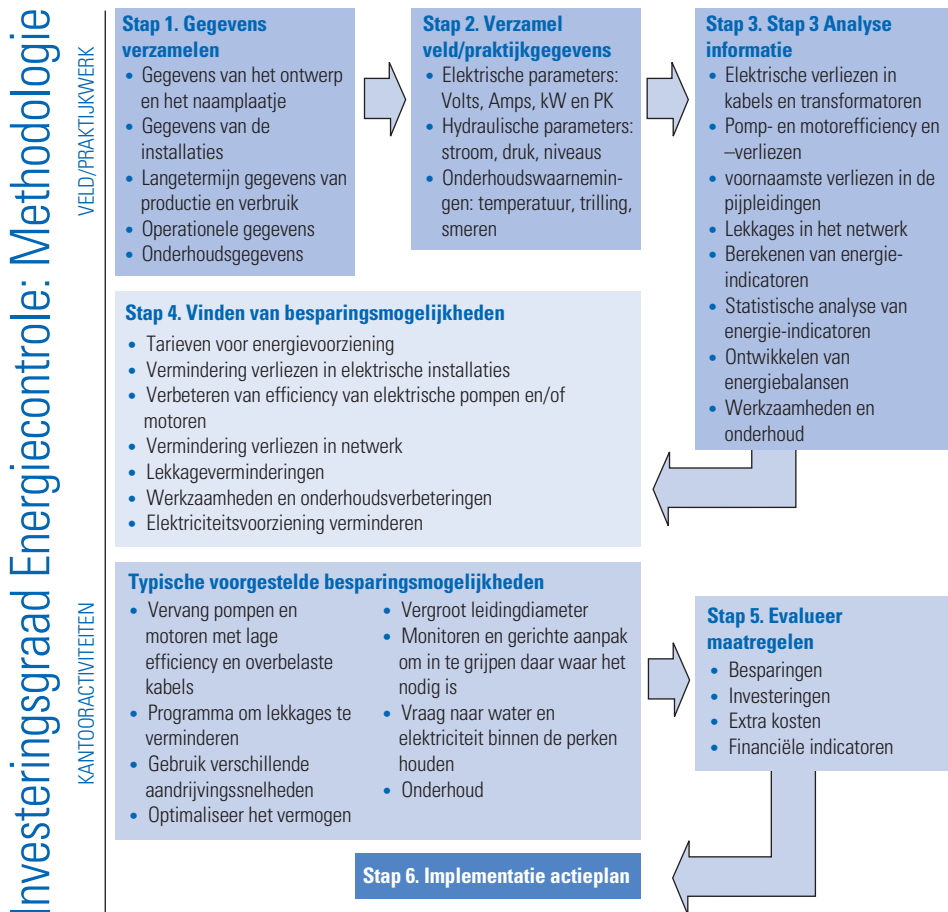
Het is belangrijk om gebruik te maken van de brede kennis van het energiecomité om agressieve maar realistische doelen te stellen. De directie van het bedrijf zou deze doelstellingen moeten evalueren voor feedback en ondersteuning.

## Hoofdstuk 3

### METHODOLOGIE INVESTERINGSGRAAD ENERGIE 'AUDIT' (IGEA)

De investeringsgraad van de energie 'audit' (IGEA) in een drinkwater- en afvalwatersysteem betekent de implementatie van een aantal technieken om te bepalen hoe en waar de energie wordt verbruikt en bepaalt eveneens de efficiency van elke energie-verbruikend onderdeel van de drinkwater- en afvalwaterinstallaties. Het uiteindelijke doel is om rendabele, technische en bedrijfsmaatregelen voor energiebesparing te identificeren als onderdeel van de ontwikkeling van een alomvattend plan voor energie-efficiency. Bij de uitvoering van de IGEA leidt een geordende volgorde van activiteiten meestal tot betere resultaten. De voorgestelde volgorde vergt werkzaamheden in de praktijk en op kantoor. Afbeelding 3 toont een schema met een samenvatting van de belangrijkste werkzaamheden die nodig zijn om een IGEA uit te voeren van een drinkwaterbedrijf in het Caraïbische gebied.

**AFBEELDING 3:** Algemene samenvatting van de methode voor een IGEA



## VELD/PRAKTIJKWERK

### Stap 1 – Gegevens Verzamelen

Het verzamelen van gegevens geeft een beter beeld van de algemene werkomstandigheden van een drinkwater- en afvalwaterbedrijf en identificeert de installaties die de grootste mogelijkheid bezitten om energie te besparen. Het verzamelen van gegevens gebeurt op twee manieren:

**a) Voorafgaande evaluaties** – Controle van bestaande rapporten van het bedrijf die te maken hebben met het land, de wetgeving en het sociale, politieke en economische beheer met betrekking tot water- en energiebeheer. Bekijk eerdere *audits* om te bepalen welke systemen en apparatuur zouden kunnen profiteren van een IGEA.

**b) Gegevens die nodig zijn voor een IGEA** – Verzamel basisgegevens van de pomp- en distributiesystemen, motoren, pompen, leidingen, tanks, elektrische en hydraulische plannen, werkomstandigheden, bevolking en topografie.

### Stap 2 – Veld/praktijkmetingen

**a) Planning van de veld/praktijkmetingen** – Voer, met de verkregen informatie van Stap 1, een bedrijfsanalyse uit en rangschik alle processen op basis van hun energieverbruik. Er moet een strategie worden ontwikkeld voor veld/praktijkmetingen die zich richt op het energieverbruik van ieder van de gerangschikte processen.

**b) Veld/praktijkmetingen** – Veld/praktijkmetingen moeten op elektrische en hydraulische parameters gericht zijn om de berekening van een energiebalans te kunnen bepalen die aangeeft waar de belangrijkste energieverliezen zijn. Met deze informatie moeten die onderdelen en installatie(s) geïdentificeerd worden die besparingsmogelijkheden bieden en voorstellen gemaakt worden voor de overeenkomstige bezuinigingsmaatregelen. Houd ook, in deze stap, waarnemingen bij zoals temperatuurmetingen, overmatige trillingen, smeren van de mechanische onderdelen, lekkage in kleppen en hoofdpersleidingen; de reiniging van elektrische installaties moet worden uitgevoerd om onderhoudswerkzaamheden te definiëren binnen het actieplan.

## KANTOORWERK

Zodra het bovengenoemde werk voltooid is, moet er een reeks van kantoorwerkzaamheden plaatsvinden om de IGEA verder te verwerken.

### Stap 3 – Analyse van de informatie

Zodra de gegevens uit de praktijk zijn verzameld, moeten ze worden geanalyseerd. Het analysevoorstel in deze methode verwijst naar verliesberekeningen en analyses van de volgende informatie:

- Berekening van de energieverliezen in elektrische kabels en transformatoren, elektrisch motorrendement en energieverliezen, pomp- en motorrendement en het energieverlies, drukverlies in pijpleidingen, het percentage van lekkage in het waternetwerk en een energie-indicatoren analyse.

- Analyse van statistische indicatoren, exploitatie en onderhoudswerkzaamheden.
- Uitwerken van energiebalansen.

Deze analyses identificeren de plekken waar hoge verliezen of een laag rendement optreden en naar aanleiding daarvan kunnen besparingsmogelijkheden worden voorgesteld.

#### **Stap 4 – Identificatie van besparingsmogelijkheden van de energie**

Na de analyse en evaluatie van de grootste energieverbruikende onderdelen, kunnen de volgende besparingsmogelijkheden worden geïmplementeerd:

- Besparingen door het veranderen van de tarieven van de energievoorziening als gevolg van een eerdere analyse.
- Vermindering van de verliezen in de elektrische installaties.
- Verbetering van het rendement van de elektrische motoren, het rendement van de pompen in de watersystemen, onderhoudswerkzaamheden, of het vervangen van de voeding.
- Vermindering van de verliezen in het netwerk.
- Programma voor de vermindering van lekkage.
- Technologische veranderingen.
- Gebruik van hernieuwbare energiebronnen.

#### **Stap 5 – Evaluatie bezuinigingsmaatregelen**

De evaluatie van de bezuinigingsmaatregelen bestaat uit het:

- Berekenen van directe en indirecte energie en het totale bedrag van de investeringen die nodig zijn voor de uitvoering van de maatregel.
- In kaart brengen van extra kosten (exploitatie, onderhouds- en installatiematerialen d.w.z. smeermiddelen of pakkingen) vanwege de maatregel.
- Het bepalen van de financiële indicatoren (terugverdienen, netto contante waarde, en de analyse van de levenscyclus van het project).

#### **Stap 6 – Uitvoering Actieplan**

In overeenstemming met deze methode, zullen de volgende hoofdstukken de theoretische basis, procedures en specifieke activiteiten uiteenzetten die een drinkwater- en afvalwaterbedrijf in staat stellen om een IGEA in pompsystemen uit te voeren.



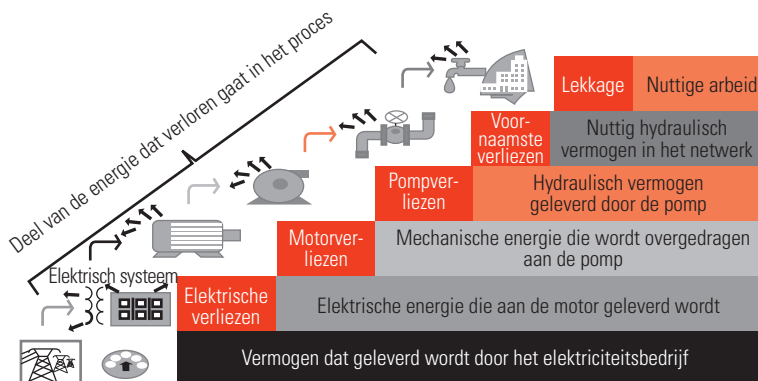


## Hoofdstuk 4

### EVALUATIE (ENERGIE-EFFICIENCY DIAGNOSE)

In het geval van drinkwater- en afvalwatersystemen in het Caraïbische gebied, laat afbeelding 4 de belangrijkste elementen zien voor de voorziening en de transformatie van energie via het proces van waterproductie. De afbeelding beschrijft de keten van apparatuur van de leverancier en het bijbehorende verbruik en verlies van energie in de transformator en het elektrische besturingsysteem. De onderdelen van dit systeem bestaan uit de elektrische motor, de overdracht van mechanische energie naar de pomp, de geleverde hydraulische energie aan het distributienetwerk en de resterende energie die uiteindelijk wordt omgezet in nuttige arbeid om water te leveren aan de gebruiker.

**AFBEELDING 4:** Typisch energieverbruik en -verliezen in drinkwatervoorzieningen en afvalwatersystemen in het Caraïbische gebied



De volgende hoofdstukken beschrijven de procedures die nodig zijn om de evaluatie van dergelijk energieverbruik en -verlies uit te voeren.

#### 4.1. GEGEVENS VERZAMELEN

Om een algemene indruk van een drinkwater- en afvalwaterbedrijf te krijgen, is het essentieel om een vooronderzoek van de huidige situatie en doelstelling(en) van het bedrijf te doen voordat een energie *audit* van de pompinstallaties kan worden uitgevoerd. Het vooronderzoek bestaat uit een evaluatie van het land van het bedrijf en het daarbij behorende beleid wat betreft de water- en afvalwatersector, inclusief andere relevante aspecten om de problemen en uitdagingen te ontdekken waarmee het waterbedrijf geconfronteerd wordt of zou kunnen worden. Bij de toepassing van deze methode, moeten de systemen die potentieel grote besparingen kunnen opleveren kort geanalyseerd worden tijdens dit stadium van het onderzoek. Voorafgaand onderzoek bestaat verder ook uit het verzamelen van alle informatie over de geschiedenis van het waterbedrijf in de water- en energiesector.

##### 4.1.1. Drinkwater en energiesector: nationaal verband

De onderzoeker moet weten wat de huidige positie van het drinkwater- en het afvalwaterbedrijf is in nationaal verband. Dit betekent kennis van de nationale wetten, reglementen, statistische gegevens en

de rol die het bedrijf speelt in de nationale drinkwatersector. Dit betekent ook dat er informatie verzameld moet worden wat betreft:

- Algemene bevolkingsgegevens
- Energiesituatie, energiebronnen en het verbruik van energie door de sector
- De structuur van de energieprijzen
- Bepaalde energieproblemen
- Soorten waterbedrijven (openbaar, particulier, enz.)
- Juridisch verband van het (drink)watermanagement
- Het beschikbare drinkwater en de belangrijkste bronnen
- Statistische gegevens over de vraag naar drinkwater, het aanbod van drinkbaar water en riolering, enz.
- Problemen voor de watervoorziening in het land, inclusief topografische kenmerken en de afstand tot waterbronnen
- Juridische en institutionele kader voor energie-efficiency

#### **4.1.2. *Situatie van het drinkwater- en afvalwaterbedrijf***

In het bijzonder vereist dit eerste onderzoek ook een overzicht van de omvang van de watervoorziening, de wijze van exploitatie, de gebruikte technologie en de specifieke aspecten van drinkwater en afvalwater waar het bedrijf betrekking op heeft. De volgende informatie is hiervoor noodzakelijk:

- Algemene infrastructuur, het aantal en het soort faciliteiten.
- Impact van de watersector op het nationale energieverbruik.
- Faciliteiten met een groter energieverbruik en hun impact op de totale kosten.
- Andere aspecten die van belang zijn, zoals de hoeveelheid drinkwaterverliezen en de structuur van het energiemangement.

Vanwege het belang van verbruiksgegevens, is het bovenstaande onderzoek een betere aanvankelijke planning van de pompsystemen die geëvalueerd moet worden in een IGEA, vooral die pompsystemen die de mogelijkheid bieden voor energiebesparing.

#### **4.1.3. *Basisgegevens***

Een IGEA kan niet worden uitgevoerd zonder de nodige basisgegevens; tabel 1 laat de vereiste basisgegevens zien, evenals de informatiebronnen die gebruikt worden om ze te verzamelen en geeft een aantal algemene waarnemingen.

De informatie moet zo recent mogelijk en bij voorkeur digitaal zijn. Controleer de mate van betrouwbaarheid van de gegevens en voer veld/praktijkbezoeken uit om de gegevens te verzamelen en te controleren. Het is toegestaan om toevlucht te nemen tot andere alternatieve databases zoals het internet en satellietssystemen, zoals bijvoorbeeld 'Google Earth'. Uiteindelijk is het noodzakelijk om informatiebronnen zoals nationale, provinciale en gemeentelijke (overheids)kantoren aan te boren. Als het bedrijf zelf niet alle gegevens heeft, moeten de gegevens in het veld/uit de praktijk worden verzameld. Deze gegevens bestaan uit gegevens van het elektrische systeem, de elektrische motor en de pompegegevens.

#### **4.1.4. *Gegevens van het elektrische systeem***

De volgende gegevens van het elektrische systeem moeten worden verzameld.

**TABEL 1:** Informatie die verzameld moet worden van het drinkwaterbedrijf

Drinkwaterbedrijf Gebied	Informatie Bron	Nodige Informatie	Opmerkingen
Algemeen	Waterservice klanten database	Waterservice inname (aantal)	Ingedeeld naar aanleiding van soort gebruik met/zonder meter
	Beschikbaarheid water services en levensvatbaarheid	Waterdistributienetwerk en de complete beschikbaarheid	Percentage van de oppervlakte en de bevolking en de voorziene en geplande ontwikkelde gebieden
	Overheidsgegevens	Bevolkingscensus	Laatste drie tellingen en de nationale census
Technisch	Drinkwaterproductie	Systeem geleverde volumes	Maandelijkse samenvatting van ten minste het afgelopen jaar; gemeten in kubieke meter
		Debiet geproduceerd door waterbronnen	Jaarlijks gemiddelde, dagelijks maximum, en maximum voor zomer en winter in extreme weersomstandigheden
		Kenmerken van de Meetinstrumenten	Type, model, datum van installatie, kalibrering en de diameter
	Technologische gegevens	Kaarten van het distributienetwerk	De volledige schaal, geografische referenties, met diameters, materialen, ruwheid en de lengte van de leiding; topografische afmetingen van netwerken en locaties van de bronnen, pompstations, tanks en afsluiters
		Profieltekeningen van leidingen	Met aanduidingen van verandering in diameter en apparatuur; locaties van lucht en uitlaatkleppen
		Vorige uitgevoerde projecten	Aanvullende gegevens, tekeningen en metingen die verkregen kunnen worden
Energie Gerelateerd	Factuur- gegevens	Algemene voedingsgegevens	Naam Energiebedrijf, spanning in volt, tarief aan de hand van draaiuren pompen, maandelijkse facturering, maximale vraag (kW), verbruik (kWh / maand), Cosinus Phi en geschiedenis/context(jaar)
	Plannen, apparatuur-inventaris en veldwerk	Elektromechanische infrastructuur	Enkel lijndiagram (kaliber, de beveiligingen, transformatoren, motoren, condensatoren en generatoren); elektrische verbruik (type, los- gekoppeld item, zekering); elektrisch onderstation (type, het aantal transformatoren, aarding); transformatoren (identificatie, type, kVA oorspronkelijke capaciteit, leeftijd en transformatieverhouding); condensatoren (locatie, capaciteit kVA, batterij, type element); meetapparatuur
		Elektrische motorsysteem gegevens	Starter (elektrisch capaciteitstype); elektrische kabels (aantal draden, lengte, maat, materiaal, isolatie type); elektromotor (merk, type, ontwerp vermogen), Volt, de voedingsspanning, nominale stroom, aantal polen, de snelheid bij volle belasting, bedrijfsfactor, originele rendement, afschrijving, het aantal keer dat motor opnieuw gewikkeld is, bedrijfstemperatuur (in ° C)
		Hydraulische pomp-apparatuurgegevens	Pompen (identificatie, merk, type, model, behuizing materiaal, ontwerpdebiet, ontwerpdruk, ontwerp- rendement en ontwerpvermogen); zuigkracht (dynamisch niveau in de watervoerend laag); kenmerken persleiding; dynamische niveaus van afgelopen jaar
Institutioneel	Uitvoerende verslagen	Indicatoren voor het Management	Indicatoren van fysiek-, drinkwater- en energierendement; historische ontwikkelingen in een jaar; effecten; kosten en baten
		Haalbaarheid en masterplannen	Geprojecteerde programma's, investeringen op korte en lange termijn, efficiency in de ontwikkeling en jaarlijkse doelstellingen
		Organisatorische structuur van de instelling	Beschrijf functies, personeel en de onderlinge verhoudingen met andere gebieden
		Inter-institutionele programma's	Programma van staats- en lokale instellingen

**Elektrisch Schema** – Beschrijf de aansluitingen van het enkel lijndiagram van de elektrische apparatuur, de inname, bekabeling, transformatoren, hoofdschakelaar en starter, indien van toepassing.

**Voeding** – Geef de volgende informatie wat betreft de elektrische voorziening van de leverancier en het contract dat beschreven werd in tabel 1:

- Naam van het elektriciteitsbedrijf
- Het contractnummer in de kwitantie of elektrische factuur van het pompsysteem.
- De schaal of naam van het tariefschema in het contract
- Spanningniveau van de voedingsspanning

**Transformator** – De belangrijkste kenmerken van de transformator moeten worden genoteerd:

- Type van de transformator die de elektrische apparatuur voedt
- Capaciteit van de transformator (kVA)
- Als de voeding van meer dan één transformator afkomstig is, moet de capaciteit van elke transformator worden verzameld
- De ingangs- en uitgangsspanning van de transformator (V)
- Als de transformator meer dan één uitgangsspanning heeft, de echte spanning (de spanning van de transformator op dat moment)

**Hoofdschakelaar** – Noteer de gegevens van de hoofdschakelaar van de apparatuur die de energie van de transformator of de hoofdstroom verzorgt van de apparatuur:

- Merk of de fabrikant van de schakelaar
- De oorspronkelijke capaciteit van de schakelaar (A)
- Als de schakelaar een afstelbaar type is, de originele capaciteit waar de schakelaar op is afgesteld (A)

**Starter** – Als de motor een starter heeft, moeten de volgende gegevens worden genoteerd:

- Starter type
- Startercapaciteit (PK)

**Beveiliging** – Verzamel de overbelasting beveiligingsgegevens van de startmotor:

- Fabrikant van het thermomagnetische element van de motorbeveiliging
- Capaciteit van het thermomagnetische element van de motorbeveiliging (A)
- Instelpunt van het thermomagnetische element

**Condensatoren** – Als de apparatuur een condensatorbank heeft, geef de totale capaciteit van de bank in kVAr. Ook het type condensator, evenals de installatiemethode (bijv. condensatoren voor enkele apparaten in vergelijking met condensatoren voor groepsapparatuur) moet worden opgegeven.

**Aardingssysteem** – Controleer of er een aardingssysteem is en of het helemaal gescheiden is van het neutrale systeem. Beschrijf de diameter van de aangesloten aardkabel.

**Kabels** – De ingevoerde gegevens van de kabels hebben betrekking op de grootte en lengte van de kabels op twee locaties, waarvan de eerste zal lopen van de voeding, hetzij een transformator of een

directe voeding, naar de starter of hoofdschakelaar. De tweede is de kabel die van de starter of hoofdschakelaar naar de motor loopt. In beide gevallen, moet de volgende informatie verzameld worden:

- De diameter van de elektrische kabel (mm<sup>2</sup>) of (AWG) (schrijf de stempelgegevens van de kabelmantel op)
- De totale lengte van de kabels in het beschreven traject
- De beschrijving van de groepering van de kabels

### Elektrische Motorgegevens

Het verkrijgen van de originele gegevens van de elektromotor en de onderhoudsgeschiedenis van de apparatuur. De volgende informatie moet worden genoteerd:

**Gegevens Naamplaatje** – Deze informatie wordt beschreven op de motorplaat. (Als de plaat onleesbaar is, gebruik het bestellingsformulier of het document waarin de kenmerken van de motor staan):

- Merk – Merk en fabrikant van de motor
- Capaciteit – De oorspronkelijke capaciteit van de motor (PK)
- Toeren – Hoeksnelheid van de motor (Omw/min)
- Spanning – De oorspronkelijke spanning van de motor (V)
- Stroom – De oorspronkelijke stroom van de motor (A)
- Rendement – De fabricage of nieuw motorrendement in percentage (–)
- Type – Type motor
- Frame – Het frametype of nummer van het motorframe
- S.F. (SF) – De service factor is ook te lezen op het typeplaatje. Een service factor geeft het percentage van de overbelasting van de motor. Wanneer deze niet getoond is op de naamplaat dan is de service factor één (1); een factor van meer dan één geeft aan dat de motor bestand is tegen grotere overbelasting.

**Geschiedenis** – De onderhoudsgeschiedenis van de motor:

- Leeftijd of de tijd (in jaar) dat de motor in bedrijf is sinds de installatie
- Gemiddeld aantal bedrijfsuren in een jaar (uur/jaar)
- Aantal keren dat de motor opnieuw gewikkeld is in zijn levensduur

### Pompgegevens

De ontwerpgegevens van de pomp zijn ook vereist. Als veld/praktijkgegevens niet beschikbaar zijn of de naamplaat van de pomp onleesbaar is, gebruik dan de papieren die bij aankoop van de pomp geleverd zijn. De volgende gegevens moeten genoteerd worden:

**Frame** – Gegevens met betrekking tot de behuizing van de pomp:

- Pompfabrikant
- Type pomp; bijvoorbeeld, pomp, turbine verticaal, horizontaal, centrifugaal enz.
- Model van de pomp volgens de fabrikant
- Leeftijd of de tijd (in jaar) dat de apparatuur in bedrijf is sinds de installatie

**Waaier** – Noteer de volgende gegevens van de waaier:

- Type van de aandrijfpomp
- Waaiermateriaal
- Oorspronkelijke diameter van de waaier (in mm)
- Leeftijd van de waaier of de tijd dat de waaier in bedrijf is (in jaar). Let wel: de leeftijd van de waaier kan verschillen van die van de pomp als dit onderdeel vervangen is tijdens de levensduur van de pomp.

**Aandrijfas** – Gegevens voor de transmissie-as tussen de motor en de pomp. Noteer diameter en lengte.

**Ontwerpegegevens** – Volgens het model van de fabrikant staan deze beschreven op het werkpunt van de pompkarakteristieke curve. Het is zeer belangrijk om minimale gegevens van de ontwerpdruk en de debietcapaciteit te verzamelen.

**Vloeistofeigenschappen** – Het is ook belangrijk om de belangrijkste kenmerken van de verpompte vloeistof te noteren; dit zal afhangen of het drinkwater of rioolwater betreft. Verzamel gegevens over:

- Vloeistof – Beschrijving van het type vloeistof (bijv. drinkwater, gezuiverd water of rioolwater)
- Temperatuur – Bedrijfstemperatuur van de vloeistof (°C)
- Dichtheid – De dichtheid van de te verpompen vloeistof (kg/m<sup>3</sup>)

Verzamelen van deze basisgegevens in het veld/in de praktijk moet op hetzelfde tijdstip plaatsvinden als de veldmetingen die in het volgende hoofdstuk worden beschreven.

## 4.2. VELD/PRAKTIJKMETINGEN

**Zodra de gegevens zijn verkregen, plan en voer een meetcampagne van de elektrische en hydraulische parameters uit voor de controle van de elektromechanische onderdelen van de pompinstallatie. Het elektromechanische rendement van de gemeenschappelijke motorpomp en het gedrag van bochten op het belaste debietrendement van de pompinstallatie worden bepaald op basis van de resultaten van de veldmetingen. De meetcampagne is verdeeld in hydraulische activiteiten en elektromechanische werken in pompsystemen en bronnen zoals aangegeven in Tabel 2.**

Om de metingen zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren en nauwkeurige rendementswaarden te krijgen, moeten de landmeters ervoor zorgen dat *de meetapparatuur gekalibreerd wordt en in goede staat is, en*

**TABEL 2:** Beschrijving van de meetcampagne

Meetcampagne	Activiteit	Doelstelling	Apparatuur en benodigdheden
Elektromechanische metingen in pompinstallaties	Meting van de elektrische parameters	Bepaling van de elektrische bediening en het berekende rendement	Scanner voor het elektriciteitsnetwerk of meetapparatuur (voltmeter, ampèremeter, enz.)
	Perspomp debietmeting	Bepaling van operationeel installatiedebiet	Ultrasonische of elektromagnetische vloeimeter.)
	Pers en zuigdrukmeting	Bepaling van de operationele installatiebelasting	Draagbare Bourdon manometer
	Definitie van basislijnen van pompen	Bepaling van belasting en hydraulische belastingverliezen	Elektrische meetpen, meetlint

*het systeem in een stabiele toestand wordt gemeten*, zonder een storing hetgeen een valse meting kan veroorzaken. Het volgende gedeelte geeft belangrijke details en aanbevelingen voor het uitvoeren van metingen om de best mogelijke resultaten te verkrijgen en veel tijdsverlies (door herberekening) te voorkomen. (In de bijlage zijn de sjablonen en gedetailleerde procedures voor deze activiteit te vinden).

#### **4.2.1. Elektrische Metingen**

Alle metingen moeten worden gerealiseerd tijdens normale bedrijfsomstandigheden (niet bij het opstarten van de pomp) en, om risico's te vermijden, mogen alleen uitgevoerd worden door getraind/ervaren personeel volgens de interne veiligheidsprocedures en de praktijken die hieronder beschreven staan.

##### **Richtlijnen:**

- Evalueer de omgeving voordat er gemeten wordt.
- Verbied alleen werken op gevaarlijke locaties.
- Draag de juiste persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM), zoals bepaald en aanbevolen door de plaatselijke beveiligings- en gezondheidsdienst.
- Zorg ervoor dat het meetinstrument geschikt is voor de meetomgeving.
- Wees bekend met en wees op de hoogte van hoe de apparatuur gebruikt wordt voordat eventuele gevaarlijke metingen voltrokken worden.

##### **Praktijken:**

- Meet op het laagst mogelijke spanningspunt. Bijvoorbeeld, als u spanning aan het meten bent op een automatenpaneel, zoek dan de laagste nominale automaat die beschikbaar is, en doe daar uw meting.
- Wees alert op de omgeving waar gemeten wordt en houd beide handen vrij als de situatie hierom vraagt.
- Voor één fase, bevestig de nuldraad als eerste – de spanningsvoerende als tweede. Na het noteren van de meting, ontkoppel de spanningsvoerende draad als eerste, de nuldraad als tweede.
- Bij het testen van de spanning, gebruik deze testmethode.
  1. Test een vergelijkbaar bekend spanningsvoerend circuit eerst
  2. Test het 'te testen circuit'
  3. Test het eerste bekende spanningsvoerende circuit opnieuw
- Dit proces controleert of uw meetinstrument goed werkt - een belangrijk onderdeel van uw persoonlijke veiligheid.
- Bij het verrichten van metingen in of rond hoge energie driefasen distributiepanelen, gebruik meetpennen met een minimum hoeveelheid aan metalen, zoals 0,12 in (4 mm) metalenpunt meetpennen. Dit vermindert het risico van een toevallige vlamboog van de meetpennen.
- Verminder de mogelijkheid om een gesloten circuit te maken tussen beide handen en meet, als het mogelijk is, slechts met één hand. Raak geen geaarde constructie aan tijdens het meten van spanningsvoerende fasen.

De elektrische parameters die worden gemeten zijn:

- Spanning
- Elektrische stroom
- Cosinus Phi factor
- Actief of Werkelijk vermogen
- Blindvermogen

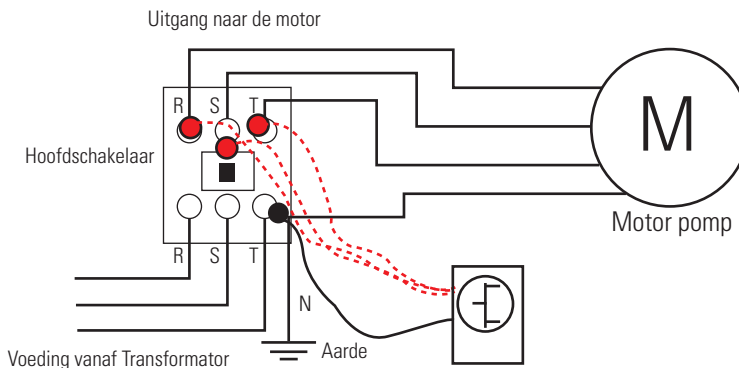
Uiteraard is het gebruik van geschikte meetapparatuur, zoals een voltmeter, ampèremeter, wattmeter of multimeter van essentieel belang. Om het proces te vereenvoudigen, raden wij u aan om een elektrisch netwerk ‘analyzer’ te gebruiken. Deze *analyzer* kan parameters per fase meten en de gegevens in het geheugen opslaan. Het kan dan deze gegevens direct integreren voor de waarden van drie fasen om trends te bepalen en in de meeste gevallen, metingen van andere elektrische parameters. Dit is belangrijk bij de beoordeling van de kwaliteit van de energie die wordt gebruikt voor de apparatuur zoals bijvoorbeeld bij de harmonische vervorming.

#### 4.2.1.1. Spanning

Voor het meten van de elektrische spanning in de pompinstallatie is het gebruik van een voltmeter nodig. Zie afbeelding 5 en ga als volgt te werk:

1. Neem de meting bij de inkomende spanningsdraden van de hoofdschakelaar naar de motorpomp.
2. Plaats de rode kabel van de tester op het puntje van de schakelaaruitgang van de fase ‘R’.
3. Plaats de zwarte kabel van de tester op het puntje van de nuldraad ‘N’.
4. Noteer de aflezing voor de ‘R’ fasespanning ( $U_{RN}$ ).
5. Herhaal deze handeling door de rode draad van de tester op de uitgangspunten van de fasen ‘S’ en ‘T’ van de schakelaar te plaatsen (met de zwarte draad aangesloten op de nuldraad of aarde) en neem achtereenvolgens metingen van de spanning ( $U_{SN}$ ) in fase ‘S’ en de spanning ( $U_{TN}$ ) in fase ‘T’.
6. Voor het meten van de spanning tussen de fasen, moet u de procedure van hierboven herhalen door de rode draad van de voltmeter op de uitgang van de schakelaar in punt ‘R’ plaatsen en de zwarte draad op de ‘S’, uitgang, daarna tussen ‘R’ en ‘T’; en als laatste tussen ‘S’ en ‘T’.
7. Met het gemiddelde van deze drie waarden, kan de waarde van de drie fasen-spanning (V) worden berekend. We raden drie metingen van elke draad aan om de gegevens te bevestigen. Een realistisch variatiebereik voor minimale en maximale aanvaardbare waarden moet worden gedefinieerd.

**AFBEELDING 5:** Meting van de spanning in een pompinstallatie



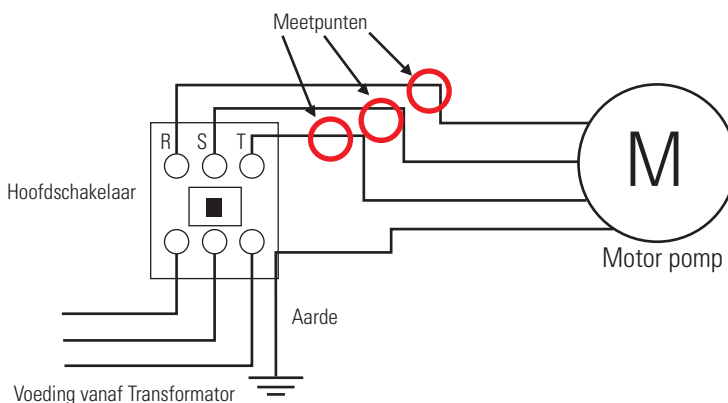
#### 4.2.1.2. Elektrische Stroommeting

De elektrische stroom wordt gemeten met een ampèremeter. Zie afbeelding 5.



- Bij gebruik van een ampèremeter, worden enkelfase elektrische stroommetingen uitgevoerd door het stuk voor stuk plaatsen van de ampèremeter op elk van de drie kabels die vanaf de hoofdschakelaar of starter naar de motor leiden. De stroom wordt in elke kabel per fase  $I_R$ ,  $I_S$  en  $I_T$  gemeten en de totale drie fasen-elektrische stroom wordt berekend met deze drie waarden. We raden aan drie metingen in elke kabel te doen ter bevestiging van de gegevens.
- Als u een elektrisch netwerk-analyzer gebruikt, hoeft u niet individueel de elektrische stroom af te lezen, maar plaatst u de drie versterkers tegelijk op de kabels die uit de hoofdschakelaar komen en naar de motor lopen. Op deze manier kan de elektrische stroom van elke kabel rechtstreeks worden gemeten door de online scanner.

**AFBEELDING 6:** Elektrische stroommeting



#### 4.2.1.3. Cosinus Phi meting en berekening van het elektrische vermogen

Voor de meting van de Cosinus Phi ( $\cos \phi$ ), kunt u de procedure op dezelfde manier uitvoeren als de meting van stroom of spanning met behulp van een vergelijkbaar proces bij het testen van de elektrische weerstand. Deze methode is handig als er geen wattmeter bij de hand is. Op deze manier wordt de Cosinus Phi waarde verkregen met behulp van alleen de ampèremeter of de voltmeter en de toepassing van wiskundige formules (de sinus- en de cosinuswet).

#### 4.2.1.4. Werkelijk Vermogen

Een wattmeter, die wordt geplaatst op de uitgangskabel van de schakelaar, wordt gebruikt om het werkelijke vermogen naar de motor te meten. Dit doet men als volgt:

1. Zet de spanningsaansluiting van de wattmeter op de kabel van fase 'R'.
2. Zet de andere spanningsaansluiting op de nuldraad 'N'.
3. Plaats de haak van de ampèremeter op de fasedraad 'R'.

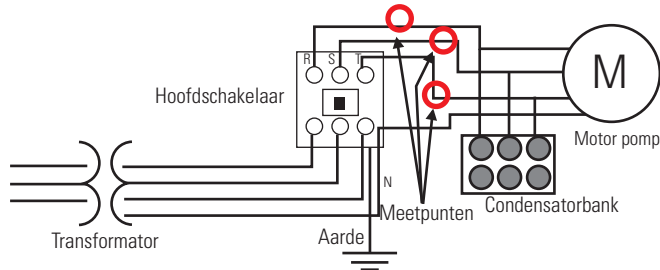
Het werkelijke of actieve vermogen wordt rechtstreeks in de wattmeter geregistreerd. Herhaal het bovenstaande proces om het werkelijke vermogen te meten van de fasen 'S' en 'T'.

Als de pompinstallatie voorzien is van een condensatorbank, dan raden we u aan twee metingen te verrichten. Zie afbeeldingen 7 en 8 voor meer informatie.

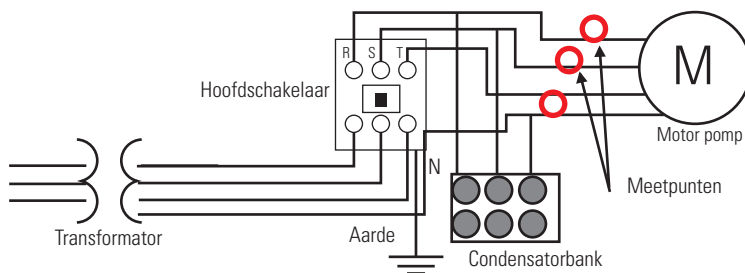
De metingen van de rechtstreeks gestuurde dompelpomp of verticale turbines en pompen moeten vóór het aansluitpunt van de condensatorbank worden verricht, zodat de metingen niet worden beïnvloed door het effect van de condensatorcompensatie en op die manier de werkelijke situatie van de elektromotor weerspiegelen tijdens de meting.

De tweede meting moet vanaf de condensator worden gedaan. Deze meting zal het effect beschrijven van de compensatie van de Cosinus Phi op het elektrische netwerk.

**AFBEELDING 7:** Meten van de Cosinus Phi voor de condensatorbank



**AFBEELDING 8:** Meten van de Cosinus Phi na de condensatorbank



#### 4.2.2. Hydraulische Metingen

De meting van de hydraulische parameters moet ook met gekalibreerde meetapparatuur worden verricht. Er moeten geen storingen in het systeem zijn tijdens de metingen. Bij installaties zoals bronnen of pompinstallaties, worden de metingen rechtstreeks gedaan in de persleidingen. Voor installaties die uit verschillende delen van de pompinstallatie bestaan, worden de metingen van de hydraulische parameters afzonderlijk in hun eigen persleiding gedaan.

De werkingcurve, met het debiet versus de totale hydraulische pompdruk ( $Q-H_0$ ), wordt ontwikkeld door het meten van deze twee parameters en omvat een aflezing van veranderingen van de werking van de pomp.

De volgende metingen zijn nodig om de gegevens en hydraulische parameters te krijgen:

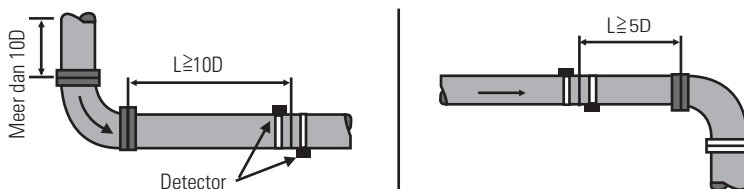
- Debietmeting van de persleiding van de pomp ( $Q$ )
- Meting van de druk op de zuig- ( $P_Z$ ) en pers- ( $P_P$ ) manometers
- Definitie van het referentieniveau ( $N_R$ )
- Meting van het dynamische niveau van de zuiging ( $N_Z$ )
- Metingen van de afstanden tot het midden van de manometers ( $D_{R-M}$ ), inclusief de zuig- en de persleiding

#### 4.2.2.1. Persleiding debietmetingen

Debietmetingen vinden plaats in iedere waterproductie-installatie van het drinkwatersysteem op plaatsen zoals putten, bronnen, dammen en filtergalerijen. Debietmetingen moet worden gedaan op het juiste punt in de leidingen waar het water het distributienet instroomt. In zuiveringsinstallaties, tanks of pompstations, is het van belang om het debiet te meten in de persleiding van deze installaties. Wij raden u aan gebruik te maken van de vloeimeter die geïnstalleerd is in het watersysteem, maar het is belangrijk om op de hoogte te zijn van de precisie van dit apparaat vóór de metingen. Wanneer er geen vloeimeter is, gebruik dan een draagbare ultrasone of elektromagnetische meter, die een hoog nauwkeurigheidsgehalte heeft en veelzijdigheid biedt. Deze meter moet door een geaccrediteerd laboratorium worden gecertificeerd.

De positie van de vloeimeter in de leidingen moet in een recht gedeelte van de leiding zijn en bij voorkeur horizontaal. Voor en na de meter mogen er geen obstakels zoals bochten, kleppen, versmallingen, verbredingen of pompen zijn die de snelheid van het water in het testgedeelte vervormen. De positie van de vloeimeter moet een afstand hebben die gelijk is aan tienmaal de diameter voor en vijfmaal de diameter na de as van de vloeimeter (zie afbeelding 9). Momenteel zijn er echter vloeimeters op de markt die deze afstanden kunnen verminderen volgens de specificaties van de desbetreffende fabrikant.

**AFBEELDING 9:** Positie van de vloeimeter



Debietmetingen worden in een korte periode uitgevoerd en duren niet langer dan een half uur. Als er geen vloeivariaties zijn van  $\pm 5$  procent in de loop van een volledige dag, dan wordt die waarde beschouwd als de gemiddelde debietwaarde. Als de vloeifluctuatie groter is dan dit percentage, dan moet er 24 uur lang aanhoudend getest worden voor een gemiddelde vloeiswaarde.

#### 4.2.2.2. Zuig- en persdrukmeting

Voor het meten van zuig- ( $P_Z$ ) en pers- ( $P_P$ ) drukbelasting, raden we u aan Bourdon manometers te gebruiken, bij voorkeur meters die glycerine bevatten en die goed gekalibreerd zijn zodat zij in het middelste derde deel van de schaal meten waar de nauwkeurigheid optimaal is. De manier om de meting uit te voeren wordt hieronder aangetoond in de foto's van afbeelding 10.

**AFBEELDING 10:** Drukmeting met een Bourdon manometer



Voor praktische doeleinden is het aanbevolen om de berekeningen van de drukbelasting uit te drukken in meter waterkolom (mwk), hoewel de meters doorgaans schalen hebben in  $\text{kg}/\text{cm}^2$  of PSI waarbij  $1\text{kg}/\text{cm}^3$  gelijk is aan 10,3 mc en 1 PSI gelijk is aan 0,7031 mwc.

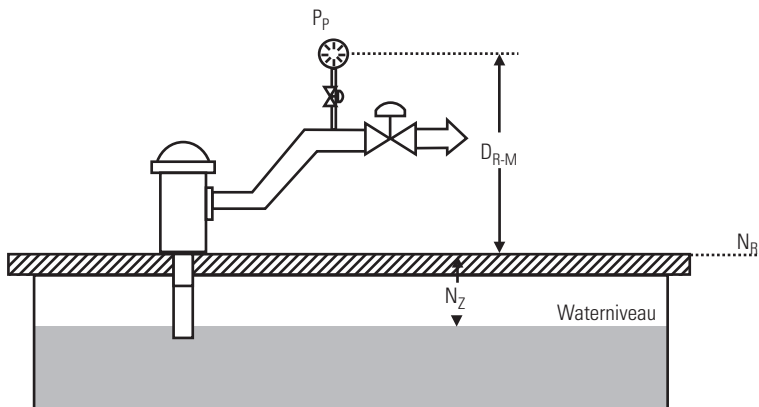
- $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 10,3 \text{ mwk}$
- $1 \text{ PSI} = 0,7031 \text{ mwk}$

Zuig- en drukmetingen moeten zo dicht mogelijk bij de pomp worden uitgevoerd. Als het niet mogelijk is om de zuigdruk te meten omdat het een verticale pomp is of omdat er geen beschikbare meetpunten zijn, moet deze situatie in het logboek worden beschreven. Het is echter van essentieel belang om druk in de persleiding te meten.

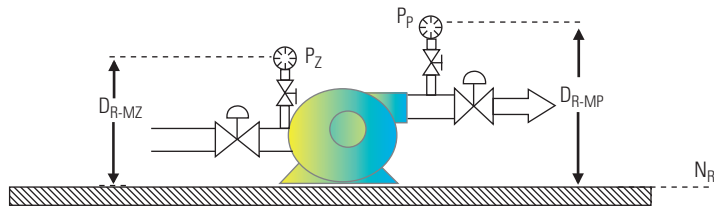
#### 4.2.2.3. Definitie Referentieniveau

Bij de berekening van de totale hydraulische pompbelasting, gebruik een referentieniveau van waaruit de andere niveaus gemeten kunnen worden. Het referentieniveau ligt meestal op de montageplaat van de motor. Zie afbeeldingen 11 en 12.

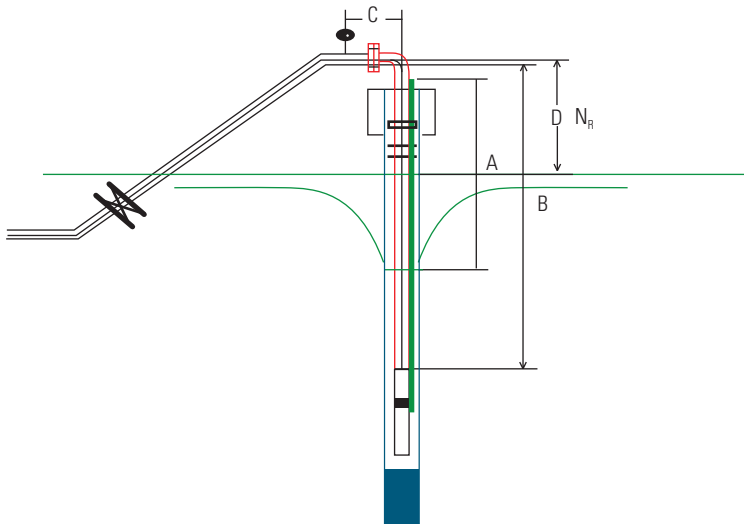
**AFBEELDING 11:** Drukmeting in de persleiding



**AFBEELDING 12:** Drukmeting als er manometers in de zuig- en persleiding aanwezig zijn



**AFBEELDING 13:** Niveaumeting pompelpomp



Bij een pompinstallatie, is het referentieniveau meestal de hoogte van de persleiding van de bron, zoals afgebeeld hierboven.

#### 4.2.2.4. Dynamische Niveaumeting

Het zuigniveau ( $N_Z$ ) is de verticale afstand tussen het referentieniveau en het wateroppervlak van waaruit het water wordt gepompt in normale en stabiele bedrijfsomstandigheden. Metingen kunnen worden verricht met een niveausonde of met een vlotter. Bij het nemen van metingen van een pomp met een zuigput of een laag niveau waterreservoir, is het dynamische zuigniveau het niveau van het wateroppervlak van de zuigput of het waterreservoir. In het geval van een bron, komt het zuigniveau overeen met het dynamische niveau van de watervoerende laag. De foto's hieronder tonen de meting van de dynamische niveaus met een elektrische sonde.

Als het niveau aanzienlijk verandert tijdens het meten in een zuigput of reservoir, dan moet de zuigniveau-meting gelijktijdig gemeten worden met het debiet, de druk en de elektrische parameters. De waarde kan positief of negatief zijn, afhankelijk of het niveau lager of hoger is dan het referentieniveau.

**AFBEELDING 14:** Dynamische niveaumeting van pomp zuigput



**AFBEELDING 15:** Dynamische niveaumeting van een laag niveau reservoir



#### 4.2.2.5. Niveaumeting tot het midden van de manometer

Afbeeldingen 11 en 12 laten zien hoe de niveaus bepaald kunnen worden tot het midden van de manometers. Als slechts de druk van de persdruk wordt gemeten, zal dit niveau worden aangewezen als  $D_R - MP$ . Als zowel de pers- als de zuigdruk wordt gemeten, wordt het niveau van de pers-manometer aangewezen als  $D_R - MP$  en het niveau van de zuig-manometer als  $D_R - MZ$ .

#### 4.2.2.6. Bepaling van de totale hydraulische opvoerhoogte

De niveaus die in 4.2.2.2 t/m 4.2.2.5 beschreven zijn en de drukmetingen worden gebruikt om de totale hydraulische opvoerhoogte ( $H_0$ ) te berekenen, hetgeen bestaat uit de som van de verschillende gemeten waarden die afhankelijk zijn van het pomptype en de pompregeling. Tabel 3 beschrijft de berekening en de parameters die overwogen moeten worden bij het bepalen van de totale hydraulische opvoerhoogte, afhankelijk van het type apparatuur en de toepassing van de parameters.

**TABEL 3:** Berekeningen voor totale hydraulische opvoerhoogte en gemeten parameters

Geval	Formule	Parameters
Als alleen de persdruk wordt gemeten	$H_0 = P_p + N_z + D_{R-M} + h_{WZ} + h_v$	$H_0$ = Totale hydraulische opvoerhoogte (m) $P_p$ = Persdruk (mwk) $N_z$ = Dynamisch zuigniveau (m) $D_{R-M}$ = Afstand van het referentieniveau tot de manometer (m) $h_{WZ}$ = Zuighoogte verliezen als gevolg van de vloeiwrijving en accessoires in de zuigleiding (m) $h_v$ = snelheid hoogte (m)
Als de pers- en zuigdruk worden gemeten	$H_0 = P_p + P_z + D_{R-MZ} + D_{R-MP}$	$P_p$ = Persdruk (mwk) $P_z$ = Zuigdruk (mwk) $D_{R-MZ}$ = Afstand van het referentieniveau tot de zuig-drukmeter (m) $D_{R-MP}$ = Afstand van referentieniveau tot de pers-drukmeter (m)

### 4.2.3. Temperatuurmetingen

Temperatuurmetingen geven extra informatie over de conditie van het systeem en geven aan of er onderhoud moet worden uitgevoerd aan het elektrische systeem. Temperatuurmetingen van de motor en transformator moeten worden genomen voor de regelapparatuur, motor en de transformator.

**REGELAPPARATUUR** – Temperatuurmetingen worden genomen om te bepalen of kabels overbelast zijn of de schroeven van de kabel aansluiting aangedraaid moeten worden. Meet de temperatuur van:

- Kabel aansluitingen die van de transformator naar de hoofdschakelaar lopen van elke fase R, S en T
- Aansluitingen van de hoofdschakelaar naar de ingang van de motor van elke fase R, S en T
- Kabel aansluitingen aan de ingang van de starter van elke fase R, S en T
- Kabel aansluiting aan de uitgang van de startermotor van elke fase R, S en T

**MOTOR** – De temperatuurmeting van de motor kan aangeven of er een achterstand is in onderhoud en kan eveneens duiden op het feit dat de as niet gecentreerd is. De behuizing en de lagers moeten ook gecontroleerd worden.

**TRANSFORMATOR** – Net als met de temperatuurmetingen in de regelapparatuur, bepaalt de transformator temperatuur een mogelijke overbelasting van de kabels en geeft aan of de kabel-aansluitklemmen opnieuw aangedraaid moeten. Achterstallig onderhoud kan ook via temperatuurmeting van de transformator aan het licht komen. Meet de temperatuur op de volgende locaties:

- Op de klemmen van de elektrische voedingskabel die op de transformator is aangesloten aan de hoogspanningskant in elke fase van  $X_1$ ,  $X_2$  en  $X_3$ .
- Op de transformator aan de laagspanningskant, zowel van de nuldraad uitgangsklem  $X_0$  als van elke fase  $X_1$ ,  $X_2$  en  $X_3$ .
- Van de transformator aan de boven- en onderkant van de behuizing. Deze meting toont mogelijke overbelasting aan.
- Aan de boven- en onderkant van de radiator van de transformator; deze metingen bepalen het olietemperatuurverschil van de transformator.

#### 4.2.4. Metingen en waarnemingen voor onderhoudscontrole

Temperatuurmetingen geven extra informatie over het gedrag, de werking en het onderhoud dat uitgevoerd moeten worden in de elektrische- en pompinstallaties. Andere waarnemingen voor onderhoud zullen worden beschreven in hoofdstuk 8.

#### 4.2.5. Veld/praktijkgegevens logsjablonen

Het is belangrijk om veldsjablonen te gebruiken voor het bijhouden van zowel het elektromechanisch systeem als de pompinstallatie, zodat hun oorspronkelijke waarden en de gegevens in dezelfde meetcampagne opgeslagen worden. Tabel 4 is een voorbeeld van een sjabloon voor het bijhouden van het elektromechanische systeem, oorspronkelijke pompegegevens en de motorkenmerken. Tabel 5 is een sjabloon dat gebruikt kan worden voor hydraulische en elektrische variabelen van de pompinstallatie.

### 4.3. ANALYSE EN RENDEMENTSBEOORDELING

Vervolgens moet er een analyse uitgevoerd worden van de verkregen meetgegevens. Deze analyse is bepalend voor de energieverliezen en het rendement van de verschillende onderdelen van het pompsysteem; dit alles gebeurt middels een energie-efficiency beoordeling en het bepalen van de energiebalans.

Gebaseerd op de verdeling van de verliezen zoals beschreven aan het begin van dit hoofdstuk, moet de energie *audit* van een drinkwatersysteem een analyse bevatten van de systemen waar de energie wordt verbruikt. Dit zijn (met de belangrijkste bovenaan):

1. Elektrische voeding, inclusief de eigenschappen van het leveringscontract
2. Elektromotorische systeem, inclusief de transformator
3. Motorpompinstallatie, inclusief rendement, de functioneringsvoorwaarden en de onderhoudsaspecten

#### 4.3.1. Berekenen van de elektrische verliezen in het elektrische systeem

##### 4.3.1.1. Berekenen van de verliezen in de elektrische kabel

De installatie, die bestaat uit aandrijvingen, regelaars, transformatorbeveiligingen, starters en andere elementen die energie leveren aan de apparatuur die elektrische energie omzet in mechanische energie (motor) staat bekend als het elektromotorische systeem. Afbeelding 16 laat foto's zien van elektromotorische systemen en de verschillende onderdelen.

**AFBEELDING 16:** Typische elektromotorische systeemcomponenten van een pompsysteem





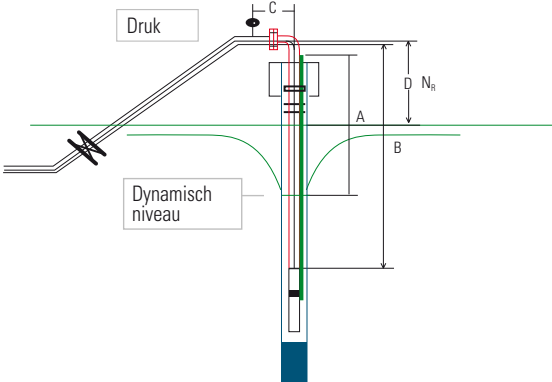
**TABEL 4:** Gegevens en kenmerken van het elektrische systeem catalogusformulier

Energie monitoring van het pompsysteem														
Kant: _____		Datum: _____												
VOORZIENING: _____		ONDERDEEL: _____												
SYSTEEM: _____														
1.1. ELEKTRISCH SYSTEEM														
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>VOEDING:</b>            Leverancier: NEC BS            Service No.: D-3364605            Contract Tarief: 3         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>TRANSFORMATOR:</b>            Type: Poolgemonteerde drie fase            Capaciteit: 3 x 25 kVA            Nominale Spanning: 13.800/440 V         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>HOOFDSCHAKELAAR:</b>            Merk: Moeller electric            Capaciteit: 40A            Setting: 32-40A         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>STARTMOTOR:</b>            Type: Stator Weerstand Starter            Capaciteit: 40 HP         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>BEVEILIGING:</b>            Merk: MOELLER ELECTRIC            Capaciteit: 32-40A            Afstelling: 37 A         </div>	<div style="text-align: center; margin-bottom: 20px;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">CONDENSATOREN Capaciteit: — kVAr</div> </div> <div style="width: 50%;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Moeller Electric Motor beveiligingsschakelaar (MBS) 40A</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Moeller electric 40HP</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">LLPP14</div> </div> </div>													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>AARDINGSYSTEEM</b>            Is er een aardingsysteem?            Gescheiden nul en aarde?            Geaarde transformator?            Geaarde startmotor?            Geaarde motor?         </div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px; text-align: center;">JA</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">NEE</td> <td rowspan="5" style="width: 50px; vertical-align: middle;">Diameter: _____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">JA</td> <td style="text-align: center;">NEE</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">JA</td> <td style="text-align: center;">NEE</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">JA</td> <td style="text-align: center;">NEE</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">JA</td> <td style="text-align: center;">NEE</td> </tr> </table>			JA	NEE	Diameter: _____	JA	NEE	JA	NEE	JA	NEE	JA	NEE
JA	NEE	Diameter: _____												
JA	NEE													
JA	NEE													
JA	NEE													
JA	NEE													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>OPMERKINGEN:</b> _____            _____            _____         </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>GELEIDERS</b>             Onderhoud entree - Starter            Diameter: 10 mm<sup>2</sup>            Lengte: 15 m            Groepering: _____             Starter - Motor            Diameter: 12 mm<sup>2</sup>            Lengte: 53 m            Groepering: 3W/Isolatie         </div>													
1.2 NOMINALE MOTORGEGEVENS														
Gegevens naamplaatje: <span style="float: right;">Type: DOMPELPOMP</span> Merk: GRUNDFOS <span style="float: right;">Spanning: 440 V</span> Capaciteit: 10 PK <span style="float: right;">Stroom: 15,0 A</span> Toeren: 3.450 omw/min <span style="float: right;">Effectief: 79,0%</span>														
GESCHIEDENIS: <span style="float: right;">In bedrijf: 8.760 uren/jaar</span> Leeftijd: 1 jaar <span style="float: right;">aantal wikkelingen: 0</span> OPMERKINGEN: De motor is overbelast geweest en is dit jaar al vijfmaal gestopt voor een tijdsduur van 2 uur														
1.3 NOMINALE POMPGEGEVENS														
<b>BEHUIZING</b> Merk: GRUNDFOS Type: DOMPELPOMP Model: Sp 45-4N Leeftijd: 1 years		<b>WAAIER</b> Type: gesloten Materiaal: RVS Diameter: _____ m Leeftijd: 1 jaar												
AS: ONTWERP GEGEVENS: Diameter: 22 m OPWERKINGEN: Opvoerhoogte: _____ m		Lengte: _____ m Debiet: 18,61 l/s												
OPWERKINGEN: De pomp is gestopt voor 24 uur. Er zijn geen gegevens over de ouderdom van de pomp														

**TABEL 5:** Hydraulische en elektrische metingen catalogusformulier

1.4. VLOEISTOF EIGENSCHAP		
Vloeistof: <u>water</u>	Temperatuur: <u>21 °C</u>	Dichtheid: <u>1,000kg/m³</u>
WAARNEMINGEN: _____		

2.1. HYDRAULISCHE METINGEN					
NIVEAUS:					
Zuigniveau (A):	<u>32,42 m</u>	Lengte zuigleiding (B):	<u>39,95 m</u>		
Afstand tot manometer (C):	<u>0,28 m</u>	Hoogte manometer (D):	<u>0,98 m</u>		



	Diameter (m)	Materiaal	Druk (kg/cm²)	Debiet (l/s)	Stroming (m/s)
Zuigleiding	0,1	SS		4,70	0,598
Persleiding	0,1	SS	1,3	4,70	0,598

TOPOGRAFIE:      Hoogte van de pomp: 1.045 nsp (nieuw Surinaams peil)  
                             Maximale opvoerhoogte: 1.047 nsp

OPMERKINGEN:      Afwijkende bron daarom moet de pomp een dompelpomp zijn.

2.2. ELEKTRISCHE METINGEN					
SPANNING PER FASE:	Van: <u>260,4</u>	Vbn: <u>261,9</u>	Vcn: <u>255,8</u>		
STROOM PER FASE:	Ia: <u>13,92</u>	Ib: <u>14,14</u>	Ic: <u>12,93</u>		
WERKELIJK VERMOGEN:	Pa: <u>2,92</u>	Pb: <u>2,86</u>	Pc: <u>2,61</u>		
COSINUS PHI:	PfA: <u>0,806</u>	PfB: <u>0,774</u>	PfC: <u>0,791</u>		
HARMONISCHE VERVORMING:	THD-V: _____	THD-I: _____			
MEETPUNT:	Hoofdcircuit: _____				
CONDENSATOR CHECK:	I <sub>r</sub> : _____	I <sub>s</sub> : _____	I <sub>t</sub> : _____		
AARDINGSSYSTEEM:	Constant: <u>JA</u> <u>NEE</u>	Stroom: <u>A</u>	Weerstand: <u>Ω</u>		
OPMERKINGEN:	Er is geen constante aarding geconstateerd daarom is er geen meting gedaan van de stroom en weerstand.				

2.3. TEMPERATUUR METINGEN												
Besturingssysteem	Switch input			Output switch			Starter input			Starter output		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
	40	41	39	53	49	40	46	44	52	43	42	54

MOTOR				TRANSFORMATOREN									
Behuizing	Lagers		Aansluitpunten			Laagspanning Aansluitpunten			Frame		Radiator		
	Boven	Onder	X1	X2	X3	X0	X1	X2	X3	Boven	Onder	Boven	Onder
42	48	40	38	39	39	36	40	38	39	41	40	41	39

OPMERKINGEN: \_\_\_\_\_

De voornaamste aspecten die geobserveerd en geëvalueerd moeten worden tijdens een energie-efficiency controle van het elektrische systeem zijn de verliezen in de elektrische kabels, veroorzaakt door de hoge koperweerstand. Geleiders van elektriciteit gedragen zich als een zuivere weerstand, dat wil zeggen, om vermogen op te nemen volgens de volgende formule:

$$P = R * I^2$$

Waarbij:

- $P$  gelijk is aan de Joule effect verliezen (W)
- $R$  gelijk is aan de kabelweerstand ( $\Omega$ )
- $I$  gelijk is aan de elektrische stroom die door de kabel circuleert (A)

Deze weerstand genereert een spanningsval, die wordt berekend op basis van de stroom. De berekening van de verliezen in de kabel is een onderdeel van de energie-efficiency evaluatie.

**Voorbeeld:** Bereken de verliezen van een elektrische kabel die een motor van 150 A van een pomp voedt. De diameter van de geïnstalleerde kabel bestaat uit 4 draden van 1/0 die aangesloten zijn op 440 V. De kabel is 130 m lang. Bereken Joule effect-verliezen in de kabel die de pomp voedt met 440 V en 150 A.

Tabel 6 hieronder geeft de berekening van het verlies en de spanningsval van de verschillende kabelafmetingen en verliezen voor de afstand en stroomsterkte van bovengenoemd voorbeeld.

**TABEL 6:** Voorbeeld van weerstand t.o.v. verschillende kabelafmetingen en spanningsval

Diameter	Weerstand			$\Delta U$	
	( $\Omega/\text{km}$ )	Lengte (km)	( $\Omega$ )	(V)	%
1/0	0,3290	0,13	0,04277	6,42	1,46%
2/0	0,2610	0,13	0,03393	5,09	1,16%
3/0	0,2070	0,13	0,02691	4,04	0,92%
4/0	0,1640	0,13	0,02132	3,20	0,73%
250	0,1390	0,13	0,01807	2,71	0,62%
300	0,1157	0,13	0,01504	2,26	0,51%
350	0,0991	0,13	0,01288	1,93	0,44%
400	0,0867	0,13	0,01127	1,69	0,38%
500	0,0695	0,13	0,00904	1,36	0,31%
600	0,0578	0,13	0,00751	1,13	0,26%
750	0,0463	0,13	0,00602	0,90	0,21%

Wanneer deze waarden worden berekend volgens Tabel 7, is het verlies 6.000 bedrijfsuur per jaar met een gemiddelde energiekosten index van \$ 1,4 / kWh, wat neerkomt op 27.720 USD.

**TABEL 7:** Voorbeeld berekening van energieverlies door het Joule Effect

Berekening	Resultaat
Spanning – U =	440V
Stroom – I =	150 A
Spanningsval – ΔU =	22V
	5,0%
Weerstand – R=ΔU/I=	0,1467 Ohm
Verliezen – Pj = I <sup>2</sup> x R =	3300 Watt
	3,3 kW
In Bedrijf =	6.000 uur/jaar
Energieverliezen	19.800 kWh/jaar
	USD 27.720/jaar

*Opmerking:* Deze berekening houdt geen rekening met het effect van de temperatuur op de weerstand van een kabel.

#### 4.3.1.2. Cosinus Phi Analyse

De overgrote meerderheid van elektrische apparatuur, vooral elektrische asynchrone motoren die in drinkwater- en afvalwatersystemen worden gebruikt, consumeren actief vermogen of arbeidsvermogen: dat is het vermogen dat de apparatuur omzet in nuttige arbeid Pa (kW), naast blindvermogen of niet-productief vermogen Pb (kVA). Blindvermogen zorgt voor de magnetische stroom die nodig is voor de werking van de apparatuur, maar deze wordt niet omgezet in nuttige arbeid. De som van beiden is het totale schijnbare vermogen S (kVA). Beide waarden zijn eerder gemeten tijdens de meetcampagne van de elektrische parameters.

De impact van de cosinus phi factor op de hoeveelheid gevraagde stroom in het systeem veroorzaakt verliezen voornamelijk door een toename van de verliezen door het Joule effect en de spanningsval. Een toename van de verliezen door het Joule effect, dat gebaseerd is op het kwadraat van de stroom, zal de energieverliezen verhogen in de elektrische kabels van de meter naar de hoofdschakelaar, in de wikkelingen van de in bedrijf zijnde transformatoren en de beveiligingen. Een toename van het spanningsverlies resulteert in onvoldoende voeding en een vermindering van het vermogen. Dit spanningsverlies verhoogt het schijnbare vermogen en vermindert de capaciteit van de geïnstalleerde belasting. Dit is belangrijk voor transformatoren. Deze verliezen zijn van invloed op de producent en distributeur van het elektrische vermogen. Om deze reden, bestraffen sommige elektrische bedrijven de gebruiker door ze meer te laten betalen voor hun elektriciteit.

Als het elektrische bedrijf de cosinus phi meet en een bedrag claimt of als er een tegoed is, noteer de statistische waarde van de cosinus phi die geëvalueerd wordt in combinatie met de factuurgegevens om het gedrag van de cosinus phi in tijd te bepalen en de impact hiervan op de kostenanalyse. Meet vervolgens de werkelijke cosinus phi van de gecontroleerde apparatuur. Wanneer het meetinstrument niet direct de cosinus phi-waarde van de drie fasen registreert, dan moet het worden berekend op basis van de waarden van het werkelijke vermogen en blindvermogen tijdens de metingen. Doe dit met behulp van de volgende formule:

$$\cos \phi = \frac{P_a}{\sqrt{(P_a^2 - P_r^2)}}$$

Waarbij:

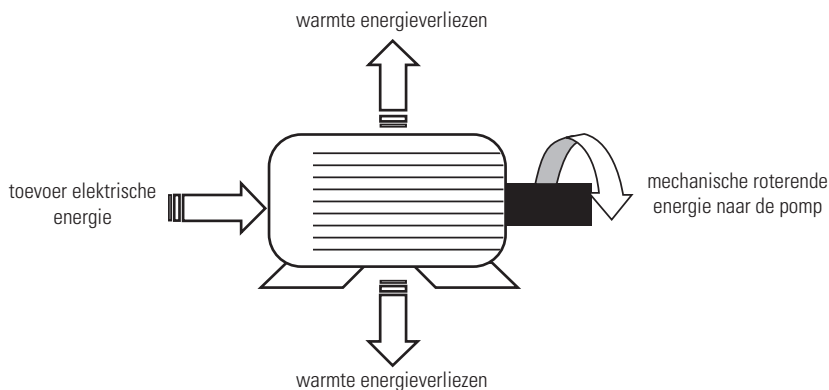
- $\cos \phi$  gelijk is aan de cosinus phi factor (–)  
 $P_a$  gelijk is aan het gemeten actieve vermogen (kW)  
 $P_b$  gelijk is aan het gemeten blindvermogen (kVAr)

Sommige systemen, meestal de condensatorbank, kunnen de cosinus phi factor compenseren. Kijk of en waar deze geïnstalleerd is.

#### 4.3.2. Berekening van de verliezen en het rendement van de elektromotor

Elektromotoren zetten elektrische energie om in roterende mechanische energie die vervolgens wordt overgedragen naar de pomp. Zie afbeelding 17

**AFBEELDING 17:** Energiestroom elektrische motor



In drinkwatersystemen zijn de kenmerkende belastingen pompsystemen, maar er zijn ook andere vormen van belasting, zoals ventilatoren, blowers, roerwerken en transportbanden die worden gebruikt bij de zuivering van afvalwater- en zuiveringsinstallaties. Van de verschillende elektromotoren, zijn inductiemotoren het populairst vanwege hun veelzijdigheid en de lage kosten en ze worden vaak gebruikt in centrifugale pompsystemen en voor gemeentelijke waterpompen. Vanwege hun lage kosten, worden veel inductiemotoren niet goed onderhouden, wat resulteert in hoge inefficiency.

##### 4.3.2.1. Typische verliezen in een elektrische motor

In het algemeen kunnen elektrische motorverliezen zich manifesteren als:

- Elektrische verliezen, in de stator en rotor die variëren naargelang de belasting anders is.
- Verliezen in de ijzeren kern die in wezen niet afhangen van de belasting.
- Mechanische verliezen (wrijving en koelsysteem indien van toepassing) die niet afhangen van de belasting. Mechanische verliezen treden op in de lagers, de ventilatoren en de koolborstels van de motor.
- Verlies van de belasting door verstrooiing. Deze verliezen bestaan uit kleinere verliezen van verschillende factoren zoals het verlies van geïnduceerde motorstroom en de distributie van niet-uniforme strooming in de stator en rotor.

Deze gecombineerde verliezen vormen samen tussen 10 en 15 procent van het totale verlies van de motor en zijn geneigd de belasting te verhogen. Onder normale omstandigheden van spanning en frequentie, blijven mechanische en magnetische verliezen vrijwel constant, onafhankelijk van de belasting. Dit is niet het geval met vermogensverliezen, die variëren met het vermogen dat nodig is voor de as.

#### 4.3.2.2. Beoordeling motorrendement

Het rendement van een elektromotor is de mate waarin deze het geleverde elektrische vermogen om kan zetten in nuttig mechanisch vermogen. Het wordt meestal uitgedrukt als een percentage van het mechanische vermogen t.o.v. het elektrische vermogen:

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Mechanisch Vermogen}}{\text{Elektrische vermogen}} \times 100$$

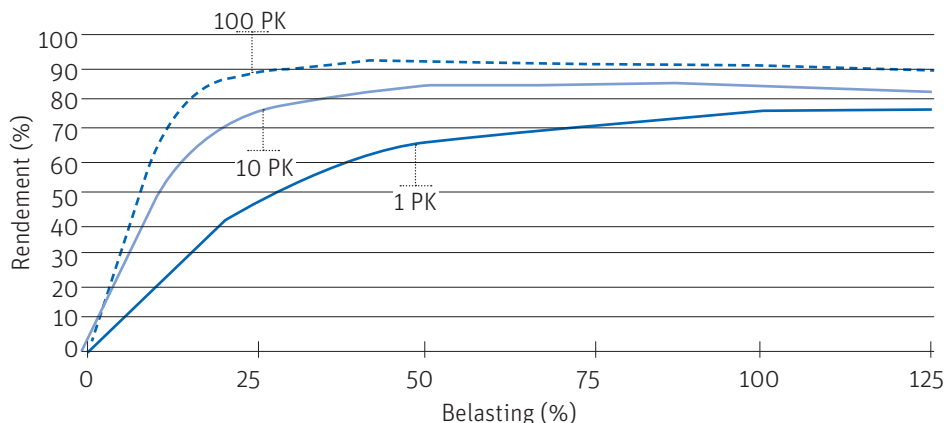
Alle beschreven factoren beïnvloeden de werkelijke waarde van het rendement van een motor in bedrijf, maar in het algemeen wordt een maximaal rendement behaald als het in bedrijf is tussen 75 en 95 procent van de oorspronkelijke ontwerpcapaciteit. Afbeelding 18 toont een typische rendementscurve voor inductiemotoren met verschillende mogelijkheden, die ook gebruikt worden bij de evaluatie van een methodologie voor het werkelijke motorrendement.

Als onderdeel van de energie-efficiency controle, is het raadzaam om het motorrendement afzonderlijk te beoordelen (normaal gekoppeld aan de pomp) om erachter te komen of er energie wordt verspild. De rendementsevaluatie van elk afzonderlijk onderdeel is handig voor het nemen van betere beslissingen m.b.t. het uitvoeren van energiebesparingsplannen.

De methode richt zich op het bepalen van het rendement ( $\eta_m$ ) en dus de mate waarin elektromotoren energie verspillen. De motorcurve-methode is de meest geschikte technische methode om het rendement te beoordelen. Dit is een procedure die gebaseerd is op de vergelijking tussen het berekende rendement en de rendementscurve op basis van de belastingsfactor (BF) van de motor.

De juiste motor rendementscurve, afgebeeld in afbeelding 18 is afgeleid van de oorspronkelijke ontwerpparameters van de motor (PK, Omw/min en V). Gebruik de gemeten waarde van het werkelijke

**AFBEELDING 18:** Typisch rendement versus belastingcurve van een inductiemotor bij 1800 toeren



vermogen van de motor om de belastingsfactor (BF) te berekenen met behulp van de volgende formule:

$$BF = \frac{P_a / \eta_m}{PK_{nom.} * 0,746}$$

Waarbij:

- BF        gelijk is aan de Belastingsfactor van de motor (–)
- $P_a$         gelijk is aan het actieve vermogen van de motor in veld/praktijkmetingen (kW)
- $\eta_m$         gelijk is aan het actuele en werkelijke rendement indien de motor in bedrijf is (–)
- $PK_{nom.}$     is het oorspronkelijke vermogen van de motor (te controleren op het plaatje van de motor) (PK)

Controleer het motorrendement om te zien of het overeenkomt met de berekende BF. Zo niet, herhaal de vorige stap, gebruik het rendement dat overeenkomt in de rendementscurve met de berekende BF totdat beide waarden overeenkomen. De laatste waarden van het rendement en de belastingsfactor zijn de daadwerkelijke waarden voor de motor. Zodra het oorspronkelijk rendement en de belastingsfactor is bepaald, moet het rendement worden afgeschreven volgens de volgende criteria:

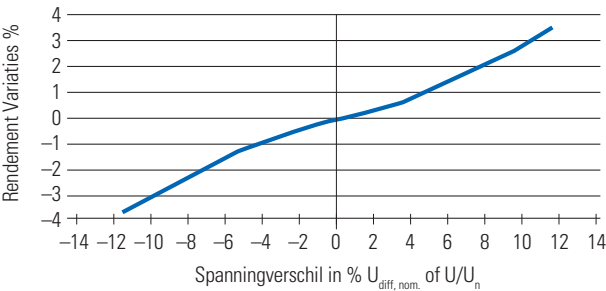
- Als de motor meer dan 10 jaar oud is, schrijf het rendement af met één procent.
- Als de motor opnieuw gewikkeld is, schrijf het rendement af met twee procent. Als temperatuur van de motor bekend is tijdens het wikkelp proces, schrijf dan het rendement af volgens Tabel 8.

**TABEL 8:** Afschrijven van het rendement van een motorwikkeling volgens temperatuur

Temperatuur (°C)	Vermindering Rendementswaarde
633	0,0053
683	0,0117
733 (gebruik van lasdraad)	0,0250
Gebruik van chemische stoffen	0,0040

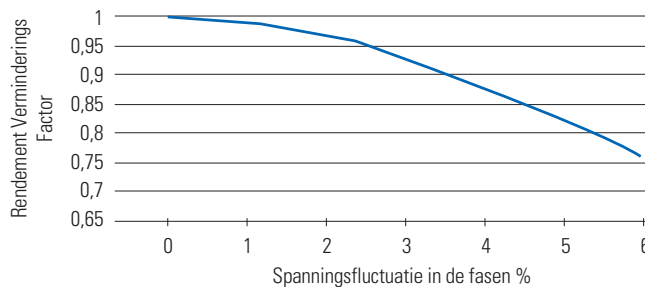
Als de gemeten voedingspanning van de motor anders is dan de oorspronkelijke motorspanning (op de plaat), moet u een vermindering van het rendement toepassen op basis van de curve in afbeelding 19.

**AFBEELDING 19:** Rendementsvariatie gebaseerd op de afwijkingen t.o.v. de oorspronkelijke spanning in een elektrische motor



Als de voedingsspanning een fluctuatie meet, pas het rendement aan volgens de curve van afbeelding 20.

#### AFBEELDING 20: Vermogensvermindering van een elektromotor op basis van spanningsfluctuatie



Gebruik de formules om de fluctuatie van de spanning, de stroom en het spanningsverschil van de oorspronkelijke motor te berekenen:

#### Spanningsfluctuatie $D_{BV}$

De spanningsfluctuatie wordt berekend m.b.v. de metingen van de spanning tussen de fasen volgens deze formule:

$$D_{BV} = \{[\max(\max(U_{R-S}, U_{S-T}, U_{T-R}) - U_{gem}), (U_{gem} - \min(U_{R-S}, U_{S-T}, U_{T-R}))]\}$$

Waarbij:

- $D_{BV}$  gelijk is aan de spanningsfluctuatie (-)
- $U_{R-S}$  gelijk is aan de spanning tussen de fasen R en S (V)
- $U_{S-T}$  gelijk is aan de spanning tussen de fasen S en T (V)
- $U_{T-R}$  gelijk is aan de spanning tussen de fasen T en R (V)
- $U_{gem}$  gelijk is aan de gemiddelde spanning tussen de fasen (V)

#### Stroomfluctuatie $D_{BI}$

De stroomfluctuatie wordt berekend m.b.v. metingen van de stroom in elke fase volgens de formule:

$$D_{BI} = [\max((\max(I_R, I_S, I_T) - I_{gem}), (I_{gem} - \min(I_R, I_S, I_T)))]$$

Waarbij:

- $D_{BI}$  gelijk is aan de stroomfluctuatie (-)
- $I_R$  gelijk is aan de stroom in fase R (A)
- $I_S$  gelijk is aan de stroom in fase S (A)
- $I_T$  gelijk is aan de stroom in fase T (A)
- $I_{gem}$  gelijk is aan de gemiddelde stroom van de drie fasen (A)

#### Spanningsverschil t.o.v. de oorspronkelijke Motor $U_{diff, nom.}$

Het spanningsverschil t.o.v. de oorspronkelijke motorspanning wordt berekend (in %) via de volgende formule:



$$U_{diff,nom} = (U_{gem} - U_{plaatje}) / U_{plaatje} * 100$$

Waarbij:

- $U_{diff, nom.}$  gelijk is aan het verschil t.o.v. de oorspronkelijke motorspanning of  $U/U_{nom}$  (–)
- $U_{gem}$  gelijk is aan de gemiddelde spanning in de fasen (V)
- $U_{plaatje}$  gelijk is aan de waarde van de oorspronkelijke voedingspanning van de motor, zoals staat aangegeven op het motorplaatje (V)

#### 4.3.3. Berekening van de verliezen en het rendement van de pomp

Een van de belangrijkste punten waarbij energieverlies optreedt, is wanneer elektrische energie omgezet wordt in mechanische energie door middel van het pompsysteem en overbrenging naar de vloeistof in de vorm van druktransformatie.

Het is belangrijk om de verschillende aspecten die een hoog energieverbruik veroorzaken te onderzoeken en tegelijkertijd te streven naar het besparen van energie op basis van lage kosten.

De belangrijkste aspecten voor een dergelijk onderzoek van pompsystemen zijn:

1. Werkelijk elektromechanisch rendement
2. Functioneringsomstandigheden van het systeem
3. Kenmerken van de installaties en het energieverlies in de bedrading

##### 4.3.3.1. Berekening van het rendement en de pompverliezen

Pompen vertonen natuurlijke verliezen als gevolg van de samenhang van het debiet en het wrijvingsmechanisme dat optreedt aan de binnen- en buitenkant van de pomp. Om te begrijpen waar de verliezen vandaan komen in een draaiende pomp, bekijk de verschillende soorten verliezen die optreden in pompen, ook wel ingedeeld als interne of externe verliezen.

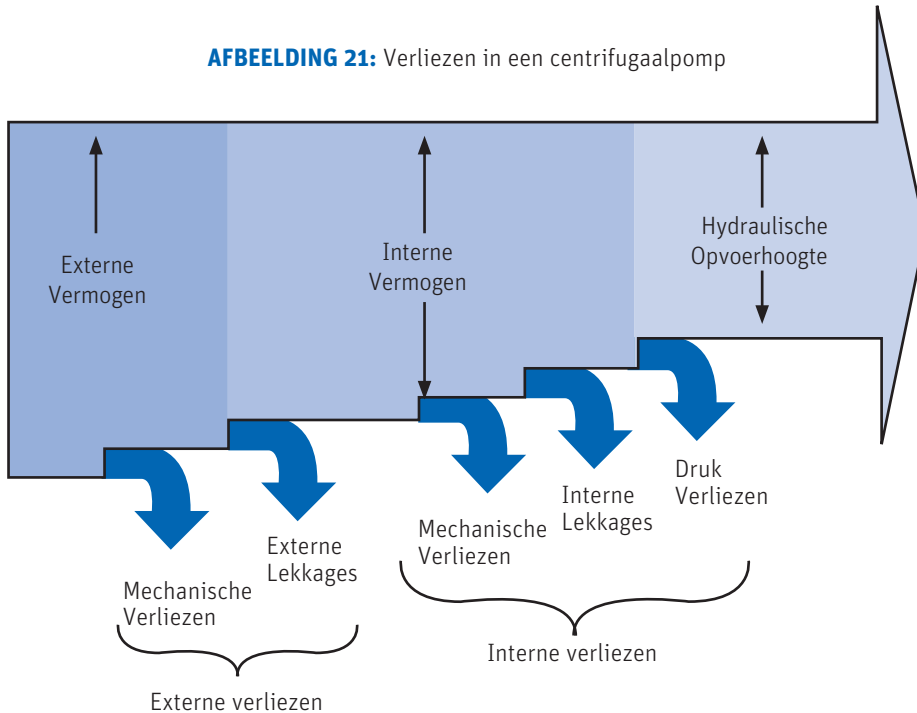
#### Interne Verliezen

- Belastingsverliezen: veroorzaakt door de viscositeit en de turbulentie van de vloeistof. Een voorbeeld van de belastingsverliezen is de schok bij de ingang van het rooster.
- Lekverliezen: veroorzaakt door de speling die noodzakelijkerwijs ontstaat tussen de bewegende delen en de vaste delen.
- Interne wrijvingsverliezen: een waaier van een centrifugaalpomp heeft oneffen oppervlakken, onafhankelijk van zijn werking om de energie door te geven aan de vloeistof. Dit veroorzaakt een stijging van de viskeuze wrijving, die resulteert in interne wrijvingsverliezen in de vloeistof.

#### Externe Verliezen

- Uitwendige lekkage: Deze komen voor op plaatsen waar de as de behuizing van de machine kruist. Een deel van het debiet dat de pomp ingaat, wordt afgetapt voor het invoeren van de aandrijving en gaat verloren.
- Externe wrijvingsverliezen: veroorzaakt door mechanische wrijving van de pakking in de assen of de pomplagers.

Afbeelding 21 laat het debiet van de verliezen en de prestaties van een typische centrifugaalpomp in een Sankey-diagram zien.



Het compleet rendement van de operationele pomp wordt dan berekend als het totale uitgangsvermogen  $P_s$  (druk in de uitgangsmanometer) gedeeld door het opgenomen mechanische vermogen  $P_m$ , dat hierboven als het externe vermogen wordt afgebeeld. De rendementsformule is:

$$\eta_b = \frac{\text{Uitgang van de totale uitgangsdruk } (P_s)}{\text{Opgenomen Mechanisch Vermogen } (P_m)} \times 100$$

Waarbij:

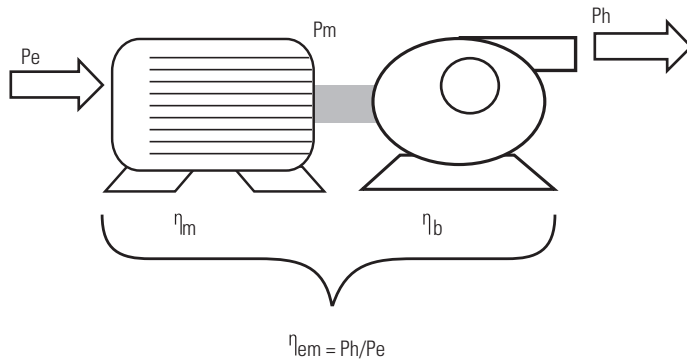
$\eta_b$	gelijk is aan het pomprendement in % (–)
$P_s$	gelijk is aan $Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_t / 746$ (PK)
$P_m$	gelijk is aan het opgenomen mechanische vermogen door de pomp in PK
$Q$	gelijk is aan het debiet ( $m^3/s$ )
$\rho$	gelijk is aan de verpompte waterdichtheid ( $kg/m^3$ )
$g$	gelijk is aan de versnelling van de zwaartekracht ( $m/s^2$ )
$H_t$	gelijk is aan de totale pompbelasting (mwk)

Omdat het moeilijk is om het mechanische vermogen afzonderlijk te meten en vervolgens het rendement van de pomp te bepalen, is het raadzaam om het elektromechanische rendement van de motor-pomp-combinatie te evalueren.

#### 4.3.3.2. Evaluatie van het elektromechanische rendement

Het elektromechanische rendement komt overeen met het gezamenlijke motor- en pomprendement. Zie afbeelding 22:

**AFBEELDING 22:** Schema van rendementen die bestaan uit elektromechanische rendementen



Bereken eerst het opvoervermogen met behulp van deze formule

$$P_h = H_T * Q * \gamma * g / 1000$$

Waarbij:

$P_h$	gelijk is aan het opvoervermogen (kW)
$H_T$	gelijk is aan de totale opvoerhoogte (mwk)
$Q$	gelijk is aan het debiet (m <sup>3</sup> /s)
$\gamma$	gelijk is aan het soortelijk gewicht van water (kg/m <sup>3</sup> )
$g$	gelijk is aan de versnelling van de zwaartekracht (m/s <sup>2</sup> )

De debietwaarde  $Q$  is gebaseerd op metingen uit de praktijk. De  $Y$  en  $G$  waarden zijn vrijwel constant bij een bepaald bereik van de bedrijfstemperatuur en hebben in het algemeen de respectievelijke waarden 1 en 9,81. De totale opvoerhoogte is een combinatie van de verschillende deelbelastingen die berekend zijn.

#### Berekening van de totale opvoerhoogte $H_0$

Afhankelijk van de aard van de verrichte metingen, wordt de totale opvoerhoogte als volgt berekend:

- Als de zuigdruk werd gemeten, zoals aanbevolen in pompsystemen, gebruik dan deze formule

$$H_0 = (P_p - P_z) * 10,3$$

Waarbij:

$H_0$	gelijk is aan de totale opvoerhoogte (mwk)
$P_p$	gelijk is aan de gemeten persdruk (kg/cm <sup>2</sup> )
$P_z$	gelijk is aan de gemeten zuigdruk (kg/cm <sup>2</sup> )

- Als de zuigdruk niet gemeten werd, wat het geval is bij diepe bronnen of waar de zuigdruk niet gemeten kan worden voor de pompsystemen, gebruik dan deze formule:

$$H_0 = (P_p \cdot 10,3) + N_z + D_{R-M} + h_v + h_{wz}$$

Waarbij:

$H_0$	gelijk is aan de opvoerhoogte van de pomp (mwk)
$P_p$	gelijk is aan de gemeten persdruk (kg/cm <sup>2</sup> )
$N_z$	gelijk is aan het zuigniveau gemeten vanaf het referentieniveau $N_r$ (m)
$D_{R-M}$	gelijk is aan de afstand tussen het referentieniveau en het midden van de manometer (m)
$h_v$	gelijk is aan de opvoerhoogte (m)
$h_{wz}$	gelijk is aan de wrijvingsverliezen van de zuig- en persleidingen (m)

### Opvoerhoogte $H_v$

De opvoerhoogte is afhankelijk van de leidingdiameter. Het is noodzakelijk om de oppervlakte van de doorsnee (A) van de persleiding als volgt te berekenen:

$$A = \pi \cdot D^2 / 4$$

Waarbij:

A	gelijk is aan de oppervlakte van de leidingdoorsnede (m <sup>2</sup> )
D	gelijk is aan de diameter van de leiding (m)
$\pi$	gelijk is aan 3,1416

Op basis van deze berekening kunt u ook de vloeistofsnelheid (v) berekenen met de formule:

$$v = Q / A$$

Waarbij:

v	gelijk is aan de vloeistofsnelheid (m/s)
Q	gelijk is aan het debiet van de veldmeting (m <sup>3</sup> /s)
A	gelijk is aan de oppervlakte van de leidingdoorsnee (m <sup>2</sup> )

De volgende stap is om met deze waarden de snelheid van de belasting te berekenen:

$$h_v = v^2 / (2 \cdot g)$$

Waarbij:

$h_v$	gelijk is aan de opvoerhoogte (mwk)
v	gelijk is de aan vloeistofsnelheid (m/s)
g	gelijk is aan de versnelling van de zwaartekracht, 9,81 (m/s <sup>2</sup> )

### Wrijvingsverliezen in de zuig- en persleidingen $H_{wz}$

Zuig- en persleidingen genereren ook energieverliezen als gevolg van de wrijving van de vloeistof op de wanden en dit wordt berekend met de volgende formule:

$$h_{WZ} = W * (L/D) * (v^2/2*g)$$

Waarbij:

- $W$  gelijk is aan de wrijvingsfactor (–)
- $L$  gelijk is aan de leidinglengte – zuig- en persleiding met dezelfde diameter (m)
- $D$  gelijk is aan de leidingdiameter (m)
- $v$  gelijk is aan de vloeistofsnelheid (m/s)
- $g$  gelijk is aan de versnelling van de zwaartekracht, 9,81 (m/s<sup>2</sup>)

De wrijvingsfactor (W) wordt verkregen uit hetzij het Moody-diagram (zie afbeelding 23) door het invoeren van de relatieve ruwheid en het getal van Reynolds of met behulp van de volgende Colebrook-White formule:

$$\frac{1}{\sqrt{W}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{W}} \right]$$

Deze formule is impliciet en de waarde van W moet worden verkregen door herhaling. Als alternatief kan de volgende formule worden gebruikt, die expliciet is (dus geen noodzaak voor herhaling) en gebruik maakt van dezelfde parameters:

$$W = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Bron: Guerrero O. (1995). Gemodificeerde vergelijking van Colebrook-White. *Waterbouwkunde Magazine van Mexico*, Vol X, pp 43–48, januari april.

Relatieve ruwheid wordt gedefinieerd als de verdeling tussen absolute ruwheid ( $\epsilon$ ) en de leidingdiameter (D) in mm. Absolute ruwheid is een kenmerk van het leidingmateriaal. De waarden voor de verschillende leidingen zijn weergegeven in Tabel 9.

**TABEL 9:** Waarden van de absolute ruwheid  $\epsilon$  voor verschillende leidingmaterialen

Leidingmateriaal	$\epsilon$ (mm)
Staal	0,9–9
Beton	0,3–3
Gietijzer	0,25
Gegalvaniseerd ijzer	0,15
Gesmeed ijzer-asfalt	0,12
Smeedijzer	0,046
(PVC)	0,0015

Het getal van Reynolds (Re) wordt als volgt berekend

$$Reynolds = v * D * \rho / \mu$$

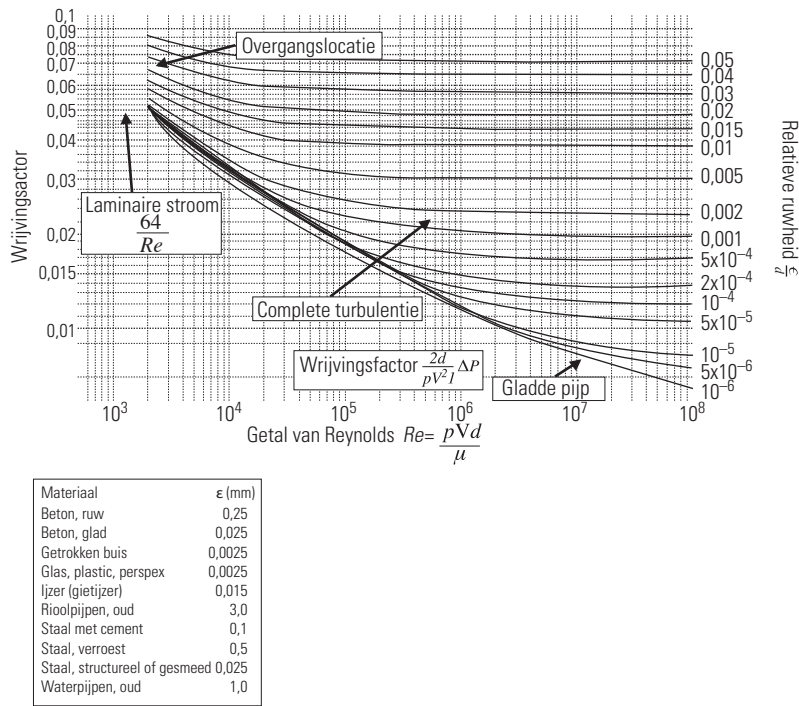
Waarbij:

- v gelijk is aan de vloeistofsnelheid (m/s)
- D gelijk is aan de binnen diameter van de leiding (m)
- ρ gelijk is de aan vloeistofdichtheid (kg/m³)
- μ gelijk is aan de dynamische viscositeit van de vloeistof, die afkomstig is van tabellen in functie van de vloeistoftemperatuur. Viscositeitswaarden van water zijn weergegeven in Tabel 10 hieronder in (Pa·s) of (kg/m·s)

TABEL 10: Dynamische Viscositeit van Water

Temperatuur (°C)	Viscositeit (mPa·s)
10	1,308
20	1,002
30	0,7978
40	0,6531
50	0,5471
60	0,4668

AFBEELDING 23: Moody-diagram



## Elektromechanische Rendementsberekening $\eta_{EM}$

Met het berekende opvoervermogen  $P_h$  en het in de praktijk gemeten werkelijke motorvermogen, wordt het elektromechanische rendement berekend

$$\eta_{EM} = P_h / P_e \times 100$$

Waarbij:

$\eta_{EM}$	gelijk is aan het elektromechanische rendement (%)
$P_h$	gelijk is aan het opvoervermogen (kW)
$P_e$	gelijk is aan (het al gemeten) elektrische vermogen van de motor (kW)

## Pomp rendementsberekening $\eta_P$

Zodra het elektromechanische rendement  $\eta_{EM}$  wordt berekend en het werkelijke motorrendement  $\eta_M$  wordt geëvalueerd, kan het pomprendement  $\eta_P$  berekend worden met deze formule:

$$\eta_P = \eta_{EM} / \eta_M$$

Deze waarde is berekend voor alle pompapparatuur die gecontroleerd wordt en wordt gebruikt als basis voor de ontwikkeling van een energie-efficiency plan.

### 4.3.4. Berekening van verliezen in het distributienet

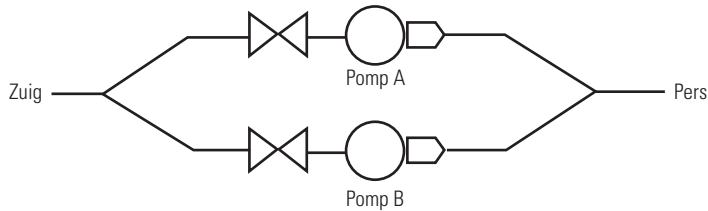
Buitensporig energieverbruik is vaak terug te vinden in pompinstallaties, vooral in het waterleiding-netwerk dat verbonden is met elk pompsysteem. Kernpunten van de pompsystemen die geëvalueerd worden tijdens de energie-efficiency *audit* bestaan o.a. uit de fysieke configuratie van de persleidingen van bronnen en waterstroomsystemen naar de pompstations of pompsystemen van het oppervlaktewater zoals rivierinname, bronnen, dammen of filtergalerijen

De belangrijkste punten die opgemerkt moeten worden zijn de zuigvoorwaarden en de kenmerken van het waterleidingsysteem. Vaak is het rendement van de systemen verminderd als gevolg van het ontbreken van de juiste voorwaarden van de zuigbelasting. Dit concept staat ook wel bekend als de netto positieve zuigbelasting. Tijdens de energie-efficiency controle of *audit* is het belangrijk om te kijken of er aan de minimale voorwaarden is voldaan.

Het is gebruikelijk dat de capaciteit van de waterstroming laag is bij de persleidingen van de pompsystemen. Dit komt tot uiting in drie typische problemen die moeten worden vastgesteld tijdens de energie-efficiency *audit* om relevante aanbevelingen te doen.

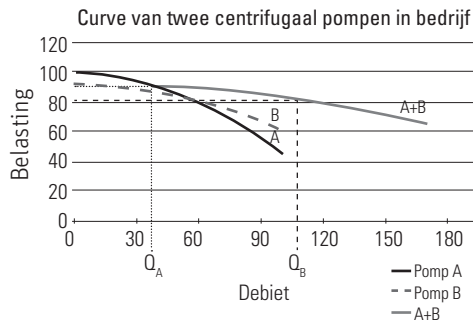
Het eerste probleem is de tegendruk die te wijten is aan terugstroming die voortkomt uit een extra aangesloten bron of pompsysteem. Dit gebeurt als er meer dan één bron water voedt in dezelfde pijplijn, maar met verschillende drukken. Het tweede probleem is een vermindering van de verwachte perscapaciteit van de serie pompen. Dit probleem komt vaak voor in systemen waar twee of meer pompen parallel functioneren met de verwachting om extra debiet te leveren aan het netwerk, zonder dat de verschillende pompvermogens worden gecontroleerd. Het eindresultaat is dat de installatie niet het verwachte debiet kan leveren en het rendement is aanzienlijk verminderd. Zie afbeelding 24 hieronder.

**ABEELDING 24:** Centrifugaalpomp in Parallelregeling



Het is onjuist om de werkingcurve voor de situatie in afbeelding 24 te vormen door eenvoudigweg de mogelijkheden van elke pomp voor gelijke belasting bij elkaar op te tellen. Het resultaat wordt weergegeven in afbeelding 25:

**AFBEELDING 25:** Belastingscapaciteit van centrifugaalpomp in parallelbedrijf



De formule van het belastingvermogen veronderstelt dat:  $Q_{AB} = Q_A + Q_B$

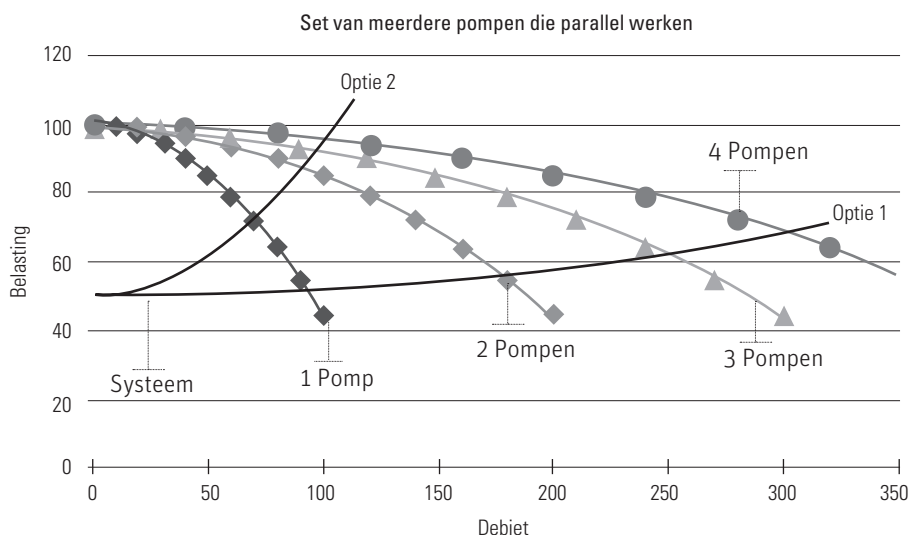
Waarbij:

- $Q_{AB}$  gelijk is aan het resulterend debiet van de parallelle werking van pomp A en pomp B.
- $Q_A$  gelijk is aan het debiet van pomp A
- $Q_B$  gelijk is aan het debiet van pomp B

Deze fout wordt verergerd door te geloven dat door het toevoegen van een andere pomp het debiet zal verdubbelen, en met een derde pomp het debiet met het drievoudige zal toenemen etc. In werkelijkheid is dit niet het geval. Wanneer u een debietverhoging heeft in hetzelfde leidingnetwerk zal de belasting ook groter worden. Het effect van elke extra pomp resulteert in debietvermindering van de individuele pompen, zoals weergegeven in afbeelding 26. Er zijn twee scenario's mogelijk. In het eerste geval is de curve van het systeem redelijk vlak voor vier pompen. Het toevoegen van meer pompen verhoogt de doorstroming maar er is geen grote verandering in de belasting. In het tweede geval is de situatie anders, omdat de curve van het systeem niet zo vlak is als in het eerste geval. Toevoeging van een vierde pomp verhoogt het totale debiet niet, maar verdeelt het tussen de vier pompen. In beide gevallen is er een eenvoudige lineaire relatie tussen het aantal pompen en het daaruit voortvloeiende persdebiet.



**AFBEELDING 26:** Het effect van verschillende parallelpompen in een leidingstelsel



Een ander probleem is het buitensporige energieverlies als gevolg van de lage capaciteit van de bestaande waterleidingssystemen. In sommige distributiesystemen, zijn de energieverliezen door wrijving in de leidingen aanzienlijk. Voor het beoordelen van deze mogelijkheid, voer de volgende procedure uit tijdens de energie-efficiency *audit*:

1. Met de gegevens die zijn verzameld tijdens de meetcampagne en veld/praktijkspectie, evalueer de vloeistofsnelheid in de primaire doorstroomleidingen in de levering en distributienetwerken.
2. In de doorstroomleidingen waar de vloeistofsnelheden hoger zijn dan 2,0 m/s, evalueer het energieverlies. Integreer deze informatie later in het portfolio van de voorgestelde energie-efficiency projecten.

Er zijn een aantal opties voor het uitvoeren van een beoordeling van de wrijvingsverliezen in de doorstroomleidingen:

- a. Berekening gebaseerd op een analysemethode van een hydraulisch pijplijnmodel die de bouw van een dergelijk model vereist voorafgaand aan deze beoordeling.
- b. Conventionele procedure voor een snelle beoordeling van de mogelijke besparingen in de vroege stadia van het plan om te voorkomen dat er gewacht moet worden om toegang te krijgen tot het simulatiemodel.

Volg deze procedure voor de analyse met de conventionele methode:

- i. Bereken de primaire wrijvingsverliezen (rechte leiding) in de huidige leiding.
  1. Bereken de wrijvingsfactor
    - a. De wrijvingsfactor coëfficiënt wordt bepaald door het Moody-diagram en door de waarden van het getal van Reynolds en de relatieve ruwheid die beschreven werden in 4.3.3.2.
  2. Bereken de hoogte van de wrijvingsverliezen  $H_W$  (mwk) met de formule:

$$H_w = W * \left( \frac{L}{D} \right) * \left( \frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Waarbij:

W	gelijk is aan de wrijvingsfactor uit het Moody-diagram (-)
L	gelijk is aan de totale lengte van de doorstroomleiding (m)
D	gelijk is aan de diameter van de leiding (m)
v	gelijk is aan de vloeistofsnelheid (m/s)
g	gelijk is aan de versnelling van de zwaartekracht, 9,81 (m/s <sup>2</sup> )

ii. Bereken secundaire verliezen via afsluiters en hulpstukken in de leiding.

Verscheidene methoden kunnen de secundaire verliezen bepalen. Wij vermelden alleen de equivalente rechte buislengte-methode. Deze methode beoordeelt de drukval die gegenereerd wordt door de leiding accessoires en bepaalt dezelfde lengte van een rechte buis met dezelfde drukval.

Afbeelding 27 toont een nomogram voor diverse leiding accessoires; dit nomogram bestaat uit drie schalen. Teken een rechte lijn, die de linkerschaal beschrijft en het leiding accessoire verbindt met de rechterschaal, die overeenkomt met de binnendiameter van het leiding accessoire. Het snijpunt van deze lijn met de centrale schaal geeft ons de equivalente lengte van een rechte buis voor het accessoire.

Zodra dezelfde lengte van alle accessoires is bepaald, bereken dan de drukval of de secundaire verliezen via de volgende formule:

$$H_{WA} = W * \left( \frac{\sum L}{D} \right) * \left( \frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Waarbij  $\sum L$  de som is van alle equivalente lengtes van accessoires binnen dezelfde diameter. De waarden voor dezelfde lengte van de accessoires zijn algemene standaardafmetingen. In feite zal de mate van drukverlies van het accessoire afhankelijk zijn van de bijzondere vormgeving van de fabrikant. **Het totale verlies is de som van de primaire en de secundaire verliezen.**

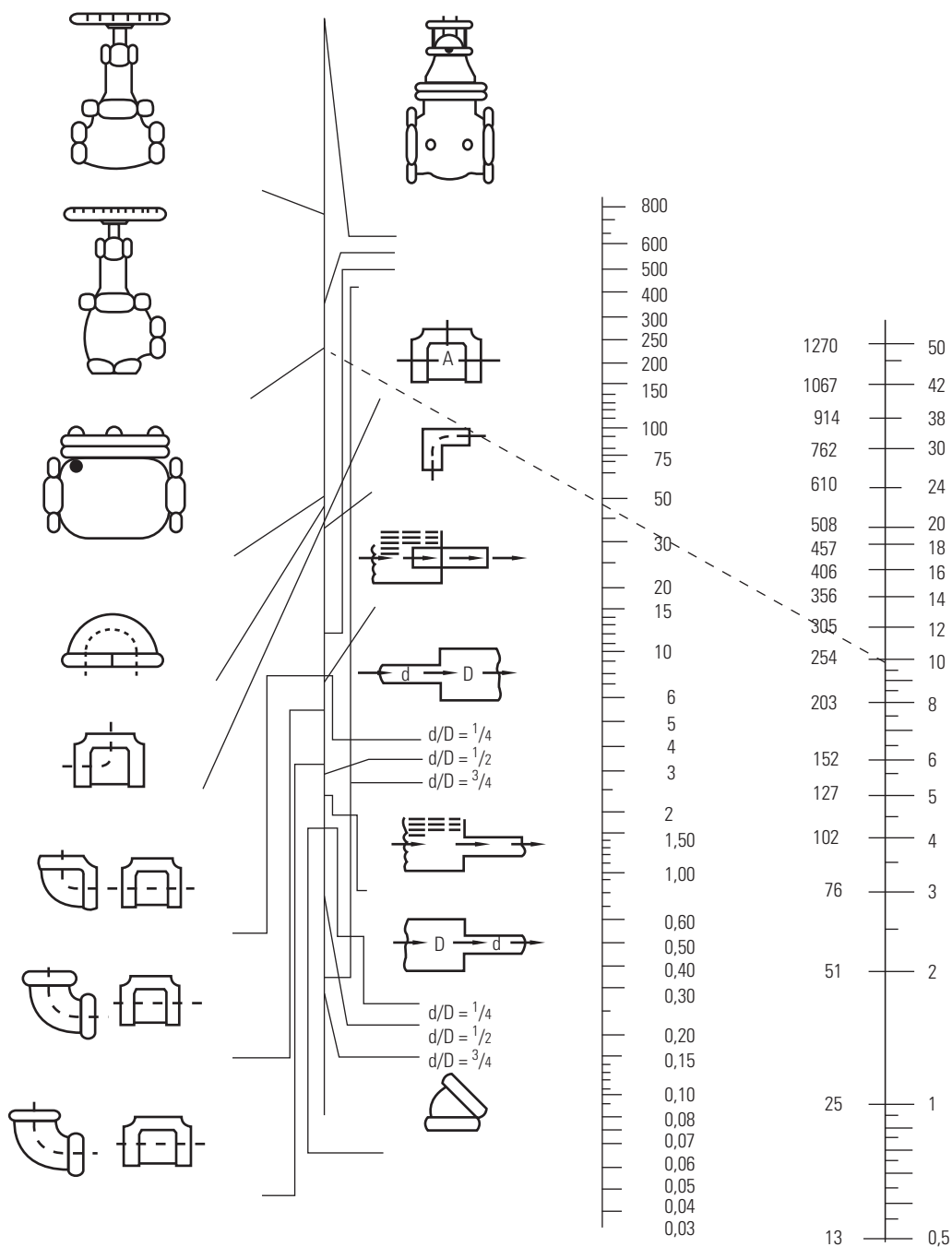
iii. Zodra de totale verliezen door wrijving berekend zijn, moet de elektrische energie berekend worden die nodig is om de wrijving te compenseren. Dit is het eindpunt van de evaluatie van de verliezen tijdens de energie-efficiency *audit*. Bereken de elektrische energie met de volgende formule:

$$P_e = \frac{(h_w + h_{WA}) * Q * 9,81}{\eta_{EM}}$$

Waarbij:

P <sub>e</sub>	gelijk is aan het elektrische vermogen dat nodig is om de verliezen te compenseren (kW)
h <sub>w</sub>	gelijk is aan de wrijvingsverliezen in de rechte leiding (mwk)
h <sub>WA</sub>	gelijk is aan de wrijvingsverliezen in de accessoires (mwk)

**AFBEELDING 27:** Nomogram voor de berekening van dezelfde lengte van leiding accessoires



$Q$	gelijk is aan het debiet (l/s)
$\eta_{EM}$	gelijk is aan het elektromechanische rendement van de motor en pompinrichting in decimalen (–)

Het is gebruikelijk dat wanneer er onvoldoende vermogen voor de waterstroming is, de elektrische stroom die nodig is om dit te compenseren een aanzienlijk percentage is van het vermogen dat gevraagd wordt door het pompsysteem. Dit is een essentiële berekening voor de energiebesparende maatregelen van het efficiencyplan.

#### 4.3.5. Berekening van de energie-indicatoren

Er zijn een groot aantal indicatoren om de effectiviteit en efficiency van een watersysteem te meten, maar in termen van energie-efficiency, is het bijhouden van de energie-index EI (kWh/m<sup>3</sup>) en de energiekostprijs per eenheid indicator UEC (USD/kWh) essentieel. Het is belangrijk om te deze indicatoren in drinkwater- en afvalwaterbedrijven te meten, noteren en aanhoudend te analyseren omdat deze indicatoren de behaalde vooruitgang weerspiegelen en kunnen bijdragen aan het vaststellen van het beleid en programma's om energie-efficiency te verhogen.

##### 4.3.5.1. Energie Index EI (kWh/m<sup>3</sup>)

De energie index is de verhouding tussen de energie die wordt gebruikt door het pompsysteem in een drinkwatersysteem en het totale watervolume dat geproduceerd en geleverd wordt aan het distributienet. Het watervolume dat geproduceerd wordt, wordt uitgedrukt in kubieke meter per jaar. De gebruikte energie in het pompsysteem wordt bepaald naar aanleiding van de gefactureerde inkomsten van het plaatselijke elektriciteitsbedrijf. Het verbruik in kilowattuur (kWh) van elk pompsysteem wordt op jaarbasis toegevoegd aan het totale energieverbruik van het waterpompsysteem. De energie index wordt als volgt berekend:

$$EI = \frac{\text{Totale energieverbruik van de apparatuur (kWh)}}{\text{Totaal geproduceerd en geleverd water aan het systeem (m}^3\text{)}}$$

Er is geen basiswaarde van de energie index omdat deze afhangt van het soort waterbron van het waterleidingsysteem en de ligging van de stad. Systemen die alleen water leveren met behulp van pompstations in zeer heuvelachtige gebieden hebben een hogere energie index. Aan de andere kant zullen systemen met veel lekkages in het netwerk een toename van het watervolume en van het energieverbruik laten zien omdat zij extra water moeten produceren. Een energie index van een waterbedrijf zal dalen wanneer het energieverbruik vermindert door het installeren van efficiëntere pompapparatuur en het minimaliseren van de lekkages in het netwerk.

##### 4.3.5.2. Eenheid Kostprijs Indicator UEC (USD/kWh)

De kosten per eenheid van de energie zijn de kosten per eenheid verbruikte energie; deze zijn afhankelijk van verschillende factoren zoals het soort elektriciteitsstariefcontract, specifieke belastingsfactor (die de werkelijke bedrijfsuren weerspiegelt t.o.v. een installatie die 24 uur per dag draait) en andere factoren die invloed hebben op de energie zoals boetes of factureringskredieten als gevolg van de cosinus phi factor van de elektrische installaties. De UEC wordt berekend op basis van de totaal verbruikte energie (kw/jaar) en het totaal van de energiefacturen (USD/jaar) die het waterbedrijf tijdens een jaar uitschrijft.

$$UEC = \frac{\text{Totale energie gefactureerd (\$/jaar)}}{\text{Totale energie verbruik (KWh/jaar)}}$$

Net als de energie index, is er geen gemiddelde referentiewaarde. Deze indicatoren zijn gebaseerd op de elektromechanische infrastructuur en bijkomende kosten, en zijn voor elk waterbedrijf anders.

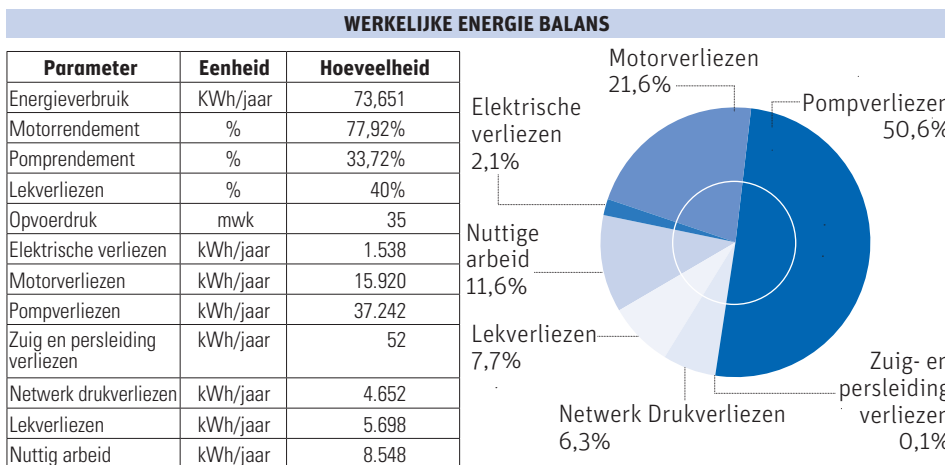
#### 4.3.6. Werkelijke energiebalans

Zodra de energie-efficiency van de onderdelen van het pompsysteem zijn geëvalueerd, moet de werkelijke energiebalans van de apparatuur worden bepaald. Het doel van de werkelijke energiebalans is het identificeren van de onderdelen van het pompsysteem die de meeste energie verbruiken en deze balans dient als basis voor de planning van de bezuinigingsmaatregelen.

De belangrijkste waarde die verkregen wordt met deze balans is de verdeling van alle energieverliezen in de levering en het energieverbruik waarbij er onderscheid gemaakt moet worden met de nuttige arbeid, dat is de energie die daadwerkelijk wordt gebruikt om water te verpompen. Alles dat geen nuttige arbeid is, is verloren energie. De balans maakt het mogelijk om onderscheid te maken tussen nuttige arbeid en verloren energie. Op die manier geeft het een energieverdeling aan van waar het de grootste impact heeft en waar mogelijkwijze de grootste energiebesparing gevonden kan worden.

De werkelijke energiebalans berekent de energieverliezen en de rendementen van alle pompsysteemonderdelen volgens 4.3.1 t/m 4.3.5. De energieverliezen en de rendementen zijn een deel van de resultaten weergegeven in Tabel 11, waar de waarde van elk onderdeel van het energieverbruik vervolgens wordt uitgesplitst naar de werkelijke energiebalans.

**TABEL 11:** Voorbeeld van de energiebalans in een pompsysteem



De energiebalans bestaat uit:

**Energieverbruik** – Totaal energieverbruik van het pompsysteem in een jaar (kWh).

**Motorrendement** – Het werkelijke motorrendement (–).

**Pomprendement** – Het pomprendement (–)

**Lekverliezen** – Een schatting van het waterverlies door lekkages in het distributienet, volgens eerdere waarnemingen van het netwerk.

**Opvoerhoogte** – De pompbelasting als gevolg van de fysieke en topografische verhogingen en de verticale afstand tussen de zuiging en het hoogste punt van levering, uitgedrukt in meter waterkolom (mwk).

**Elektrische Verliezen** – Energieverliezen in elektrische apparaten, in dit geval, te wijten aan de energieverliezen van de kabel.

**Motorverliezen** – Energieverliezen in de motor op basis van het werkelijke motorrendement.

**Pompverliezen** – Energieverliezen te wijten aan het pomprendement.

**Zuig- en Persleiding Verliezen** – Energieverlies door wrijving van de vloeistof in de zuig- en persleidingen.

**Opvoerdruk Verliezen** – Totale opvoerdrukverliezen berekend door het verschil tussen de netto opvoerdruk en het bijbehorende drukverschil.

**Lekverliezen** – Energieverliezen n.a.v. de vloeistoflekkages in het distributienet, berekend op basis van de lekkagefactor.

**Nuttige Arbeid** – De nuttige arbeid, uitgedrukt in energie eenheden, die werkelijk nodig is voor het pompsysteem of, met andere woorden, de energie die daadwerkelijk wordt gebruikt door het pompsysteem om vloeistof te leveren.

Zodra de verliezen berekend zijn voor elke onderdeel van het pompsysteem kan een cirkeldiagram worden gemaakt, zoals in Tabel 11, om de energiebalans aanschouwelijk te maken.

#### **4.3.7. Analyse van de werkomstandigheden**

Bij het analyseren van de werkomstandigheden, dient men twee dingen op te merken:

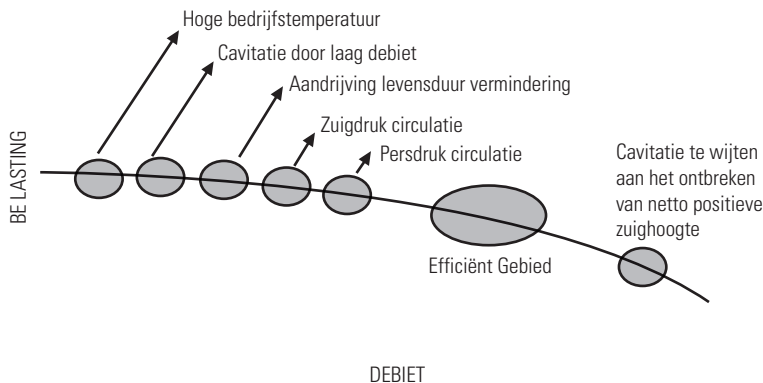
- De werkelijke werkomstandigheden van de debietbelasting van de pompsystemen om te zien of ze constant zijn of dat ze in de loop der tijd veranderen.
- De regulering van de waterstanden in de aanzuigputten en de vereffeningtanks.

Naar ontwerp hebben alle pompen een optimaal debiet belastingpunt, het werkpunt genoemd, waar alle verliezen die hierboven beschreven zijn, geminimaliseerd worden. Als de werkelijke werking van de pomp verschoven wordt van dit punt, kan dit te wijten zijn aan:

- Laag energierendement
- Versleten onderdelen, voornamelijk aandrijvingen en slijtringen
- Cavitatie door een lage zuigkracht
- Andere werkomstandigheden dan die aanwezig waren toen de pomp ontworpen werd

Afbeelding 28 laat de typische problemen zien die veroorzaakt worden door een pomp die afwijkt van zijn werkpunt.

**AFBEELDING 28:** Schematisch diagram van de problemen van een draaiende pomp die afwijkt van zijn werkpunt



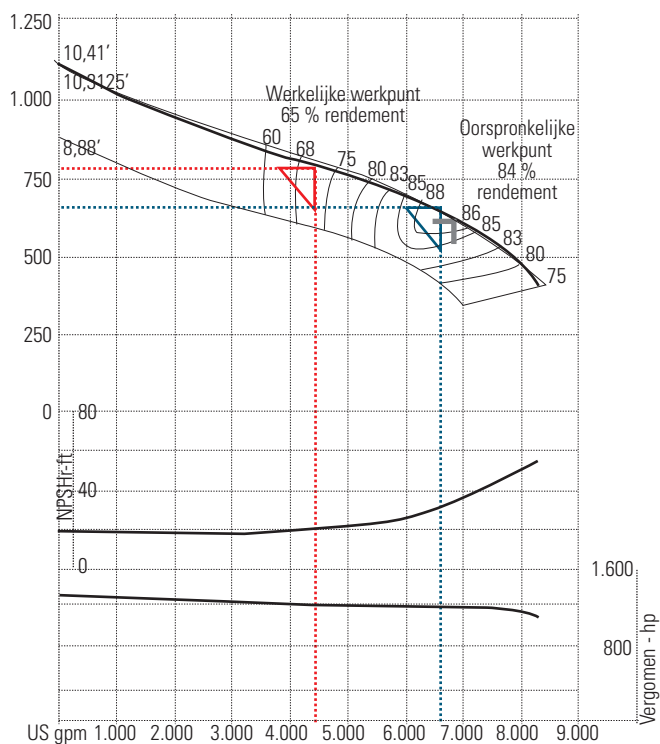
Het is normaal pompsystemen tegen te komen die onder andere voorwaarden werken dan waarvoor ze ontworpen zijn. De oorzaken van dit probleem zijn:

- **Discontinu aanbod** – Het is gebruikelijk om pompsystemen te vinden die aan verschillende punten of gebieden van het distributienet water leveren, zelfs op dezelfde dag. Een typische onderbroken levering levert de ene dag rechtstreeks aan het netwerk en de volgende dag aan een tank of een ander bewoond gebied.
- **Noodreparaties** – Vanwege het ontbreken van preventief onderhoud, is het gebruikelijk om dringende reparaties te moeten doen, maar de juiste onderdelen zijn niet beschikbaar om reparaties uit te voeren of om apparatuur te vervangen. In plaats daarvan worden onderdelen gebruikt die beschikbaar zijn, maar in de meeste gevallen waren deze ontworpen voor een ander doel.

Afbeelding 29 toont aan dat een aanzienlijke debietsbelastingvariatie in bedrijfsomstandigheden het pomp rendement met 20 procent kan beïnvloeden.

Wat betreft de regulering van de waterstanden kan een methode gevonden worden om de zuig- en de perswaterstanden van de tanks die in verband staan met het pompsysteem te controleren. Normaal worden de waterstanden in de zuigputten handmatig gemeten, wat inefficiënties veroorzaakt zoals bijvoorbeeld wanneer er gemorst wordt in de tanks. Als gevolg daarvan, werkt apparatuur langdurig in ongunstige belastingomstandigheden en dit heeft directe gevolgen voor het elektromechanische rendement. In deze situatie, is het zeer belangrijk dat de volgende taken worden uitgevoerd tijdens de energie-efficiency controle of *audit*.

**AFBEELDING 29:** Pompwerking en rendementsbeïnvloeding vanwege variabele bedrijfsomstandigheden



1. Identificeer de bedrijfsomstandigheden van de apparatuur, inclusief de debietbelasting voorwaarden voor de verschillende periodes per dag/per week.
2. Vind de ontwerpparameters of, indien mogelijk, de oorspronkelijke ontwerpcurve van de geïnstalleerde apparatuur om voor elke situatie passende aanbevelingen te geven.



## Hoofdstuk 5

### IDENTIFICEREN VAN ENERGIEBESPARINGSMOGELIJKHEDEN

Naar aanleiding van de analyse van de verkregen informatie tijdens de energie-efficiency *audit*, inclusief de bevindingen van de werkomstandigheden en het onderhoud, moet er een portfolio van mogelijke projecten worden gedefinieerd om alle mogelijke energie- en economische besparingsmogelijkheden te bespreken, inclusief de maatregelen met of zonder geringe investeringen. Voor projecten die een hogere investering nodig hebben, is het noodzakelijk om de kosten/baten te evalueren of een terugverdientijd-analyse/gedetailleerde analyse te maken van de investering gebaseerd op de netto contante waarde en de levensduur van de gekochte apparatuur.

In het algemeen, zijn de genoemde werkzaamheden in elk project bestemd voor de controle en het optimaliseren van de variabelen die van invloed zijn op het energieverbruik en de kostprijs.

In deze handleiding, zijn energiebesparende maatregelen ingedeeld in de volgende groepen:

- Maatregelen met betrekking tot het energietarief
- Maatregelen ter vermindering van verlies in de elektrische installaties
- Maatregelen om het rendement van motoren te verhogen
- Maatregelen om het rendement van de pompen te verhogen
- Opvoerhoogte verliesvermindering
- Lekkage vermindering
- Bedieningsverbeteringen
- Elektrische voedingsbron-vervanging
- Onderhoud (zie hoofdstuk 8)

Een gedetailleerde beschrijving van elk besparingsmaatregel volgt hieronder.

#### 5.1. MAATREGELEN BETREFFENDE DE ENERGIEPRIJS

##### 5.1.1. Optimalisatie elektrisch servicetarief

Een aantrekkelijke besparingsmogelijkheid in pompsystemen is om het contract met het elektrische energiebedrijf te wijzigen voor een goedkoper tarief (van wellicht een ander bedrijf). Om dit te doen, moet de tariefstructuur worden geanalyseerd tijdens de energie *audit*.

Elektriciteitstarieven voor drinkwater- en afvalwaterbedrijven kunnen variëren op basis van gesloten overeenkomsten met het elektrische energiebedrijf. Om het beste tarief te vinden, vind allereerst de tarieven van alle services van het drinkwater- en afvalwaterbedrijf evenals de vraag en het verbruik per voorziening. Beoordeel dan de potentiële kostenbesparingen met verschillende tarieven. Vergelijk de bedragen die betaald zouden worden voor het gebruik van elk tarief. Het is belangrijk om alle kosten in verband met elke prijs te overwegen. Bijvoorbeeld, als u verandert van laagspanning naar middenspanning of hoogspanning, overweeg dan de tariefwijziging evenals de investeringskosten die nodig zijn voor de aanschaf en installatie van elektrische transformatoren. Vergeet ook niet de kosten die verband houden met het onderhoud van dergelijke transformatoren.

### 5.1.2. Beheersing van de vraag naar elektriciteit

In de meeste Caraïbische landen hangt de kostprijs van de elektriciteit af van het tijdstip waarop de elektriciteit wordt gebruikt. Het soort tarief dat vaak wordt gebruikt in het servicecontract van drinkwater- en afvalwatersystemen wordt aangeduid als een uurtarief. Bij dit tariefsoort is er een tijd die bekend staat als de piektijd waarbij de kosten per eenheid van de energie meestal veel hoger zijn dan gedurende de rest van de dag.

Bij bedrijven waar dit tarief wordt gebruikt om elektriciteit te leveren, analyseer alternatieven voor de uitvoering van een maatregel die het verbruik in piektijden onder controle houdt. Dit kan bewerkstelligd worden door de hydraulische werking te verlagen en daarmee wordt de elektriciteitsbelasting tijdens de piekuren ook verminderd. Als gevolg daarvan daalt het totale verschuldigde bedrag aan het elektriciteitsbedrijf.

Het beheersen van de vraag kan op verschillende manieren uitgevoerd worden:

- Aanpassing van operationele procedures om het verbruik te verminderen tijdens de piekuren.
- Installatie van timers om apparatuur te stoppen vóór het begin van de piektijd en opnieuw te beginnen aan het einde van de piektijd.
- Invoering van een systeem met automatische regelingen om apparatuur met een groot energieverbruik uit te schakelen om de energiebehoefte van de grote installatie te regelen (vooral tijdens piekuren) zonder de procesparameters, zoals druk of niveaus in tanks, te beïnvloeden.

## 5.2. MAATREGELEN TER VERMINDERING VAN VERLIES IN DE ELEKTRISCHE INSTALLATIES

### 5.2.1. Koelingverbetering in transformatoren

Als de geregistreerde temperaturen in de transformator tijdens de veld/praktijkmetingen hoog of buiten het normale bereik blijven, kan dit leiden tot een aanzienlijk verlies van de elektrische energie. In dit geval moeten de kosten om de storing te verhelpen worden beoordeeld.

#### Situatie waargenomen tijdens controle:

Bepaal of de elektrische verliezen in de transformator meer dan twee procent van het totale energieverbruik zijn tijdens de controle.

#### Aanbevolen maatregelen:

Afhankelijk van het specifiek probleem, zijn acties opgenomen in Tabel 12.

**TABEL 12:** Aanbevolen acties om de conditie van de transformator te verbeteren

Waargenomen conditie	Aanbevolen actie
De transformator is al lang in gebruik en/of is in slechte staat.	Algemeen onderhoud plegen aan de transformator en in geval van onherstelbare schade, vervangen door een nieuwe laagverlies transformator
De transformator heeft een hoge temperatuur door gebrek aan ventilatie in de ruimte waar deze is geïnstalleerd.	Verbetering van de ventilatie in de ruimte waar de transformator is, hetzij door het installeren van afzuigingen of door het openen van ramen voor het ventileren van de ruimte.
De transformator heeft een hoge temperatuur tijdens het gebruik te wijten aan de hoge omgevingstemperaturen.	Installeer een geforceerde ventilatie voor de transformator.

### 5.2.2. Upgrade Elektrische Kabels

Als er wordt geconstateerd dat de kabeldiameter niet voldoet aan de kabeldiameter die nodig is voor de pompinstallatie, kies dan een kabel die niet alleen aan de internationale norm(en) voldoet, maar die ook energie bespaart.

**Situatie waargenomen tijdens controle:**

De elektrische kabels zijn in slechte staat en/of zijn overbelast en dicht bij hun capaciteitsgrens.

**Aanbevolen maatregelen:**

Vervang de huidige kabels met een grotere kabeldiameter die voldoen aan de internationale en veiligheidsnormen.

### 5.2.3. Cosinus Phi Optimaliseren

Het doel van deze maatregel is het wegnemen van de problemen die worden veroorzaakt door een lage cosinus phi factor. Een waarde van minder dan 90 procent betekent dat de cosinus phi factor verbeterd moet worden en waarden moet bereiken die dicht bij de capaciteit van de installatie liggen.

**Situatie waargenomen tijdens controle:**

De cosinus phi factor van de pompinstallatie is minder dan 0,90 of 90 procent.

**Aanbevolen maatregelen:**

Als de lage cosinus phi factor veroorzaakt wordt door te grote motoren of motoren in slechte bedrijfsomstandigheden, vervang deze motoren door nieuwe hoog rendement-motoren die draaien bij een capaciteit van 75 procent belasting.

Zodra de problemen van de motoren opgelost zijn, compenseer de cosinus phi factor met een condensatorbank door:

1. De cosinus phi factor te meten.
2. Een condensatorbank te installeren om een cosinus phi factor van 0,97 te bereiken.
3. Een van de voorgestelde condensatoren stroomafwaarts van de startmotor te installeren, zodat ze alleen werken als de motor aan staat.

## 5.3. MAATREGELEN ON HET RENDEMENT VAN DE MOTOREN TE VERHOGEN

### 5.3.1. Herstel Spanningsfluctuaties

**Situatie waargenomen tijdens controle:**

Er is een spanningsfluctuatie in de stroomtoevoer naar de motor waardoor deze niet met een optimaal rendement draait.

**Aanbevolen maatregelen:**

Afhankelijk van de bron van de spanningsfluctuatie, zijn de uit te voeren acties uiteengezet in Tabel 13.

**TABEL 13:** Aanbevolen acties om de spanningsfluctuatie in elektromotoren te herstellen

Bron van spanningsfluctuatie	Uit te voeren corrigerende acties
Fluctuatie in elektrische stroom, vereist door de motor, die een daling van de spanning in elke fase produceert en dus een spanningsfluctuatie teweeg brengt.	Voer regelmatig de motoronderhoud uit. Indien de schade onherstelbaar is, vervang de motor door een nieuwe die een hoger rendement heeft.
Fluctuatie van de energiebron bij het energiebedrijf.	Verzoek aan het energiebedrijf om het probleem te verhelpen.
Fluctuatie veroorzaakt door de transformator van het onderstation.	Voer regelmatig transformatoronderhoud uit. Indien de schade onherstelbaar is, vervang door een nieuw laagverlies transformator.
Fluctuatie veroorzaakt door ongelijke transformatorbelasting.	Verdeel de transformatorbelasting.

### 5.3.2. Vervang de elektromotor door een motor met een hoog rendement

Deze maatregel wordt sterk aanbevolen wanneer de motor stuk gaat en reparatie nodig is. Hoge rendementsmotoren verschillen van standaardmotoren, omdat ze de volgende kenmerken hebben:

- Gemaakt van topkwaliteit magnetisch staal en isolatiemateriaal
- Vermindering van de ruimten tussen de interne stalen en dikte van ruimten, die de mogelijkheid van interne verliezen verlaagt
- Diametervergroting van de besturing
- Het gebruik van ventilatoren en efficiëntere koelsystemen

### 5.3.3. Rendement van de motor optimaliseren

De energie-efficiency *audit* zal het operationele rendement van de elektromotoren berekenen. Als deze afwijkt, kan nader onderzoek worden gedaan naar de oorzaak en gevolg. Tabel 14 geeft een overzicht van de corrigerende maatregelen die aanbevolen worden voor elektromotoren die inefficiënt draaien.

Uitvoering van deze werkzaamheden kan resulteren in een aanzienlijke rendementsverbetering van de elektromotor en daarbij verminderen de energieverliezen. Bijvoorbeeld, 30 procent minder verliezen in een 10 PK motor met een rendement van 82 procent verhoogt het rendement tot 87 procent, wat ook een aanmerkelijk voordeel in energiebesparing kan betekenen.

### 5.3.4. Vervang de motor-pomp combinatie

Deze maatregel wordt aanbevolen wanneer het mechanische rendement aanzienlijk lager is dan het oorspronkelijke, en de mogelijkheid voor energiebesparing meer dan 20 procent is. Potentiële energiebesparingen zijn hoger met commercieel beschikbare apparatuur. Het is ook belangrijk om apart het werkelijke en geschatte rendement te controleren voor elektromotoren. De algemene benadering is dat als de rendementsverbetering van de motor met meer dan 5 procent verbeterd kan worden, dan wordt het vervangen van de motor-pomp combinatie aanbevolen.

Ter verhoging van de kans op succes en energiebesparing, selecteer een pomp met behulp van de volgende aanbevelingen:

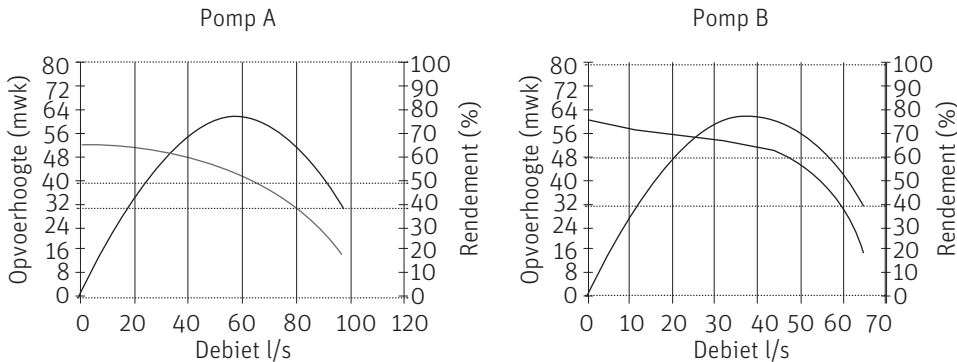
- Bereken geen onrealistisch veiligheidsfactoren en gebruik geen onjuiste informatie.
- Als de pomp op meer dan één punt van het hoofdebiet zal werken, selecteer de pomp zodanig dat beide punten een 'redelijk hoog rendement' opleveren. Ter illustratie van deze aanbeveling ziet u een

**TABEL 14:** Aanbevolen acties om inefficiënte bedrijfsomstandigheden van elektromotoren te herstellen

Waargenomen Conditie	Diagnose	Voorgestelde Corrigerende Maatregelen
Voedingspanning lager dan de oorspronkelijke	De spanning bij het aansluitpunt van de voeding is lager dan de oorspronkelijke	a) Corrigeer de trafospanning afstelrichting of TAPs van de transformator. (De TAPs worden gebruikt om de spanning transformatieverhouding aan te passen en de uitgangsspanning naar de motor af te stellen om de variaties van de voeding/wisselaars onderdelen op te nemen.) b) Vraag de leverancier om het probleem te verhelpen
	De spanning bij het aansluitpunt van de voeding heeft variaties die hoger zijn dan vijf procent	Vraag de leverancier om het probleem te verhelpen
	De spanning bij het aansluitpunt van de voeding is hetzelfde als het oorspronkelijke van de motor en toont geen aanzienlijke verschillen	a) Corrigeer de TAPs van de transformator b) Onderzoek en beheer het onderhoud van de transformator
Spanningsfluctuatie in de voedingspanning van de motor	De spanning bij het aansluitpunt van de voeding fluctueert	Vraag de leverancier om het probleem te verhelpen
	De ingangsspanning is in balans en de uitgangsspanning fluctueert	Onderzoek en beheer het onderhoud van de transformator
	De spanning aan de klemmen van de secundaire transformator is in balans en stroom naar de motor fluctueert	a) Controleer de aarding van de transformator en de motoraansluiting. Herstel problemen die opgemerkt zijn b) Controleer de motorbesturing, starter en motor, en aansluitingen. Herstel problemen die opgemerkt zijn
Vermogensfluctuatie die door motor wordt gevraagd	Vermogensfluctuatie is omgekeerd evenredig met de spanningsfluctuatie	Corrigeer de fluctuatie van de spanning
	De fluctuatie wordt geproduceerd door het geveerde vermogen, gefluctueerd door de fasen van de motor	a) Als de fluctuatie lager dan vijf procent is, voer dan onderhoud aan de motor uit b) Als de fluctuatie hoger is dan vijf procent, vervang de motor door een nieuwe motor met een hoog rendement
De snelheid van de motor is onder het oorspronkelijk toerental bij volle belasting	Problemen met lagers	Smeer en vervang onderdelen die problemen veroorzaken
Hoge temperatuur en/of hoge trilling in lagers		
De motor heeft standaardrendement en is meer dan 10 jaar in bedrijf	Laag motorrendement	Vervang de huidige motor door een nieuwe motor met hoog rendement die rond 75 procent van de capaciteit werkt
De motor is meer dan twee keer gerepareerd (opnieuw gewikkeld)	Het rendement van de motor is afgeschreven	
De motor werkt momenteel met een belastingsfactor van minder dan 45 procent	Het motorrendement is laag	
De motor werkt momenteel met een belastingsfactor van meer dan 100 procent	Het motorrendement is laag	

voorbeeld van twee pompen met verschillende werkcurven weergegeven in Afbeelding 30. Pomp B heeft een vlakke curve en is geschikt voor frequente veranderingen in het dynamische niveau, terwijl Pomp A gunstiger zou zijn als het dynamische niveau stabiel is.

**AFBEELDING 30:** Typische curven van twee pompen met verschillende H-Q kromme



Zodra de pomp geïnstalleerd is, moet het werkpunt worden geverifieerd en de nodige afstellingen worden verricht.

## 5.4. MAATREGELEN OM POMPRENDEMENT TE VERHOGEN

### 5.4.1. Stel de pompinstallatie af op het eigenlijke werkpunt

Definieer minimaal twee punten van de hoofddebietcurve waarop de pompinstallatie functioneert. De kenmerken van de geïnstalleerde apparatuur moet worden getoetst om te kijken of ze overeenkomen met de werkelijke vereiste bedrijfsomstandigheden, bijvoorbeeld verkleining van het pomphuis, waaiers afstellen, vervanging waaiers of vervanging van de pompinstallatie.

Tabel 15 noemt maatregelen die genomen kunnen worden om het pomprendement te verhogen op basis van de waarnemingen.

**TABEL 15:** Aanbevolen maatregelen om de pompcurve af te stellen op de werkelijke werkconditie

Pomptype	Positie werkpunt	Werkzaamheden
Verticale meer-trappomp	Boven de pompcurve	Verhoog fasen van de pomp tot de curve zich aanpast aan het werkpunt
		Vervang de waaiers door nieuwe met een grotere diameter
	Onder de pompcurve	Verlaag fasen van de pomp tot de curve zich aanpast aan het werkpunt
		Verklein de waaiers, zodat de pompcurve wordt aanpast aan het werkpunt
Horizontaal	Boven de pompcurve	Vervang de waaiers door nieuwe met een grotere diameter
	Onder de pompcurve	Verklein de waaiers, zodat de pompcurve wordt aanpast aan het werkpunt

#### 5.4.2. Waaierpositie afstellen in open waaier-turbinepompen

Deze maatregel geldt alleen voor open waaier turbinepompen met een laag rendement. Stel de as met waaiers in het pomphuis af door het hijsen of zakken van de as met de stelmoer. Afbeelding 31 toont de waaierregeling binnen het pomphuis.

Deze waaierinstelling is gekalibreerd met de as volgens de specificaties van de fabrikant op het moment van de installatie. Als de waaiers niet goed aangebracht waren ten tijde van de installatie of als ze in de loop der tijd zijn verschoven, zal dit leiden tot een laag pomprendement.

Volg de volgende stappen om de as in haar oorspronkelijke positie af te stellen:

**Stap 1:** Verwijder de verticale motorkap om de stelmoer van de as te onthullen (zie afbeelding 32).

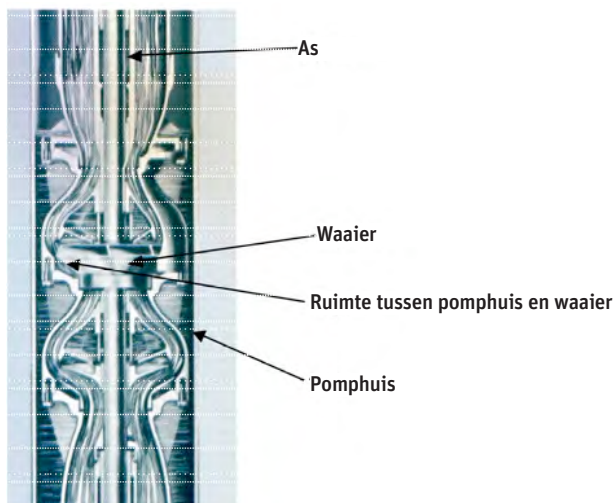
**Stap 2:** Demonteer de veiligheidsschroef die voorkomt dat de moer draait.

**Stap 3:** Zodra de moer vrij is, moet deze worden gedraaid totdat het gewicht van de as niet meer wordt ondersteund. Op dat punt moet het met de hand worden aangedraaid totdat het vast zit. Wanneer dit gebeurd is, meet dan de lengte van de as, dat wil zeggen boven het niveau van de moer.

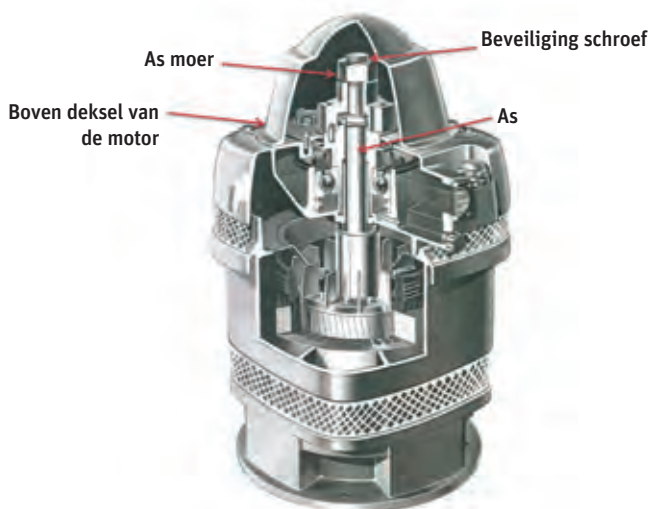
**Stap 4:** Vervolgens moet de as omhoog worden gebracht door het aandraaien van de stelmoer totdat het de bovenste rand van het pomphuis bereikt. Neem de overeenkomstige meting vanaf de stelmoer tot aan de bovenkant van de as. De gemeten afstand is de huidige totale ruimte tussen de waaier en het pomphuis. Deze afstand moet overeenkomen met de waarde die door de fabrikant is opgegeven. Zo niet dan is dat een indicatie dat de waaiers versleten zijn.

**Stap 5:** Om de as af te stellen moet deze weer worden losgemaakt tot de waaiers de bovenkant van het pomphuis bereiken. Draai daarna de moer vast om de as af te stellen op de afstand die door de fabrikant gespecificeerd is, hetgeen afhangt van de diameter van de as en de hydraulische hoogte.

**AFBEELDING 31:** Schema van turbinepomp met open waaier



**AFBEELDING 32:** Schema van een verticale as motor gekoppeld aan een turbinepomp\*



Bron: Byron Jackson Handleiding voor Turbinepompen

## 5.5. VERMINDEREN VAN OPVOERHOOGTEVERLIEZEN

### 5.5.1. Corrigeer de fouten in de persleidingconfiguratie en bediening

Als de *audit* vaststelt dat er een probleem is in de configuratie van de persleiding en het veroorzaakt een lager rendement in één van de pompen, corrigeer dan de configuratie van de persleiding en bediening. Deze maatregel moet worden toegepast bij pompsystemen wanneer er onnodige tegendruk is of om vloeicirculatie van de pompinstallatie te voorkomen. In dit geval wordt aanbevolen om wijzigingen aan te brengen in de persleiding of de primaire leidingconfiguratie om de bovenstaande problemen te vermijden.

### 5.5.2. Verminder wrijvingsverliezen in stroomleidingen

Verliezen veroorzaakt door waterwrijving op de leidingwanden kunnen in sommige gevallen oplopen tot 30 procent van het vermogen dat gebruikt wordt door de pompinstallatie. Dit geldt vooral in leidingen met hoge watersnelheden. De aanbevolen vloeistofsnelheid in een leiding is minder dan 2,0 m/s. Als de vloeistofsnelheid boven deze waarde uitkomt, moeten er een aantal maatregelen worden genomen om de vloeistofsnelheid in de leidingen te verminderen.

Overweeg de volgende acties en bepaal welke het meest kostenbesparend is.

- Indien de leiding al meerdere jaren in bedrijf is en in slechte staat verkeert, vervang de huidige leiding door een leiding met een grotere diameter die vloeistofsnelheden kunnen bereiken tussen 1,0 en 1,5 m/s.
- Als de leiding in goede staat is, zijn er twee opties:



1. Installeer een leiding parallel aan de huidige waarvan de diameter zodanig is dat de snelheid in beide leidingen wordt verlaagd tot een waarde van 1,0 tot 1,5 m/s.
2. Vervang de huidige leiding door een leiding met een grotere diameter die watersnelheden bereikt tussen 1,0 en 1,5 m/s.

## 5.6. LEKKAGEVERMINDERING

### 5.6.1. Implementatie van een lekdetectiesysteem en reparatie

Het doel van de lekkagecontrole is om de tijd tussen het ontstaan van een lek en de latere reparaties te minimaliseren; ook speelt voortdurend onderhoud een rol bij de instandhouding en het onderhoud van het distributienet. Controle op lekkages is gebaseerd op het monitoren van het drinkwaternetwerk, het verzamelen van lekkagemeldingen door de gebruikers, systematisch zoeken naar verborgen lekkages en regelmatig de debietbalansen evalueren en testen. Met behulp van een monster van recente gegevens en statistieken kan er een evaluatie plaatsvinden van de verliezen, en een waterbalans opgesteld worden om het percentage van het waterverbruik te schatten dat verlaagd kan worden door het verminderen van lekkage.

1. Verzamel informatie en gegevens om de lekkage te verminderen, zoals informatie over personeel, begroting, procedures, apparatuur, resultaten en indicatoren.
2. Analyseer de gegevens en plan werkzaamheden voor de korte en middellange termijn. De oorzaken van drinkwaterverlies kunnen bepaald en aangepakt worden met de juiste apparatuur en personele middelen.
3. Zet een programma op voor lekkagecontrole. Het moet o.a. algemene en prioritaire activiteiten bevatten, geplande kosten en baten afwegen en bronnen voor financiering noemen.
4. Voer werkzaamheden op de korte termijn uit, zoals de invoering van een lekkagecontrole afdeling, aandacht voor de lekkages gemeld door het publiek, aankoop van apparatuur en training van het personeel.
5. Voer gecoördineerde lekkagecontrole werkzaamheden uit die lekkages verhelpen.
6. Monitor prestaties en leg e.e.a. vast.
7. Bereken de waterbalans elk jaar en evalueer deze van tijd tot tijd door *benchmarking* van het percentage van de potentiële lekkage en de kosten/baten-verhouding van lekkagecontrole.

## 5.7. OPERATIONELE VERBETERINGEN

### 5.7.1. Installatie van frequentieomvormers

Het gebruik van frequentieregelaars in pompinstallaties wordt aanbevolen voor pompsystemen waar drinkwater rechtstreeks aan het distributienet wordt geleverd, de vraag naar drinkwater variabel is en waar (naar aanleiding van een evaluatie) dit tot een hoge energiebesparing kan leiden. Deze maatregel bestaat uit het uitvoeren van een druk debietregelsysteem dat een elektronisch variabele snelheidsregeling gebruikt om het toerental van de elektromotor te regelen. Volg de onderstaande stappen om deze maatregel op de juiste manier uit te voeren en bereken de besparingen die hierop volgen.

**Stap 1:** Selecteer werkende apparatuur en bekijk het energieverbruik zonder de variabele frequentieregeling. Houd ook rekening met de druk en het debiet tijdens observatieperiode van 24 uur. De volgende factoren moeten per uur (tijdens een periode van 24 uur) gemeten worden.

- Persdruk (kg/cm<sup>2</sup>)
- Debiet (m<sup>3</sup>/s)
- Elektrisch vermogen dat door de motor wordt gevraagd(kW)

**TABEL 16:** Voorbeeld energieverbruikskaart

Datum	Tijd uur: min: sec (Minstens 24 uur)	Druk (kg/cm <sup>2</sup> )	Debiet (m <sup>3</sup> /s)	Elektrisch Vermogen (kW)

**Stap 2:** Selecteer de optimale werkdruk voor elk drinkwater distributiesysteem op basis van het volgende:

- Optimale werkdruk is de laagste druk die het systeem kan leveren om op elk punt in het netwerk service te verlenen. Dit is meestal de laagste waarde geregistreerd tijdens het monitoren. Dit moet in het veld/de praktijk worden geverifieerd (of met een hydraulisch simulatiemodel) om te controleren of de laagste waarde van de werkdruk nog steeds drinkwater levert aan de hoogste punten in het netwerk.
- Als de minimale druk, die tijdens het monitoren genoteerd wordt, zodanig is dat het drinkwater alle punten in het netwerk bereikt, dan is deze druk de optimale werkdruk.
- Als de minimale druk die tijdens het monitoren genoteerd wordt zodanig is dat het drinkwater niet alle punten in het netwerk bereikt, dan moet de druk worden verhoogd totdat het drinkwater alle punten van het netwerk bereikt.

**Stap 3:** Bereken de elektrische energiebesparingen in overeenstemming met het volgende:

- Bereken het verminderde drukprofiel.

Voor elk gegeven dat tijdens het monitoren verkregen is, bereken de daling van de persdruk met behulp van de volgende formule:

$$\text{If } p_{op} > p_r \rightarrow \Delta p_r = 0.0$$

$$\text{If } p_{op} < p_r \rightarrow \Delta p_r = p_r - p_{op}$$

Waarbij:

- $p_{op}$  gelijk is aan de optimale werkdruk (kg/cm<sup>2</sup>)
- $p_r$  gelijk is aan de registreerde druk tijdens monitoren (kg/cm<sup>2</sup>)
- $\Delta p_r$  gelijk is aan de drukverlaging in het specifieke register (kg/cm<sup>2</sup>)

- Bereken het vermogensbesparingsprofiel.

Voor elk gegeven dat tijdens het monitoren verkregen is, bereken de energiebesparing met de geïnstalleerde frequentieregelaar om de druk op de optimale waarde te handhaven. Formule:

$$\Delta P_e = \frac{\Delta p_r * Q * 9,81}{\eta_{em}}$$

Waarbij:

- $\Delta P_e$  gelijk is aan de elektrische vermogensbesparing (kW)
- $\Delta p_r$  gelijk is aan de daling van de persdruk (mwk)
- $Q$  gelijk is aan het debiet (l/s)
- $\eta_{em}$  gelijk is aan het elektromechanisch rendement van de motor pomp combinatie (-)

iii. Bereken de energiebesparing met de volgende formule:

$$\Delta E = \sum_{i=2}^{n_{im}} \left[ \frac{(\Delta P_{e,i} + \Delta P_{e,i-1})}{2} (t_{r,i} -$$

Waarbij:

- $\Delta E$  gelijk is aan de energie die bespaard is tijdens een periode van 24 uur (kWh)
- $\Delta P_{e,i}$  gelijk is aan het elektrische vermogen dat bespaard is in het register i (kW)
- $t_{r,i}$  gelijk is aan de tijd van het register i (uur)
- $n_{im}$  gelijk is aan het aantal registers tijdens het monitoren
- $t$  gelijk is aan het aantal uur van de monitorperiode(uur)

Zodra elektrische energiebesparingen zijn berekend, moet de omvang van de nodige investering voor deze besparingsmaatregel worden uitgevoerd en de economische beoordeling van het investeringsproject worden berekend.

### 5.7.2. Installatie van waterslagtanks

De installatie van een regulerings/waterslagtanks waar het drinkwater direct in het netwerk wordt gepompt, kan het vereiste piekvermogen van het pompsysteem doen verminderen waardoor de vraag naar het gemiddelde elektrische vermogen ook wordt verminderd. Als deze maatregel wordt toegepast, in aanvulling op de energiebesparing die bereikt is door het verminderen van de energie die nodig is om drinkwater te leveren gedurende piekuren, kan er meer energie bespaard worden als de capaciteit van de nieuwe waterslagtank genoeg is om de bedrijfstijd van het pompsysteem te verlagen. Dit stelt gebruikers in staat het vermogen te beheren dat nodig is tijdens de piekuren, wanneer de elektriciteitskosten hoger kunnen zijn.

Om de energie, die door toepassing van deze maatregel bespaard wordt, te evalueren moet de nieuwe hoeveelheid elektrische energie die nodig is voor het pompsysteem om de waterslagtank te voeden met de volgende formule worden berekend (gebruik dezelfde eenheden voor elk van de producten van  $H_{tmb} * Q$ ):

$$P'_{eQm} = \frac{H_{tmb} * Q}{(H_{tmb} * Q)} * P_{eQm}$$

Waarbij:

- $P'_{eQm}$  gelijk is aan het verwachte elektrische vermogen met het nieuwe gemiddelde debiet

$P_{eQm}$	gelijk is aan het nodige elektrische vermogen met het nieuwe gemiddelde debiet
$H_{tmb} * Q$	gelijk is aan het werkelijke product van de hydraulische opvoerhoogte vermenigvuldigd met het werkelijke gemiddelde debiet
$(H_{tmb} * Q)$	'gelijk is aan de verwachte opbrengst van de hydraulische opvoerhoogte vermenigvuldigd met het nieuwe gemiddelde debiet

## 5.8. VERVANGING STROOMVOORZIENINGSBRON

### 5.8.1. Gebruik van duurzame energiebronnen

Duurzame energiebronnen kunnen worden onderverdeeld in twee categorieën: bronnen waar energie direct wordt gewonnen uit natuurlijke bronnen zoals zonlicht, wind en waterkracht en bronnen waar energie wordt gewonnen uit organisch materiaal of biomassa, die direct kan worden gebruikt als brandstof (hout of andere gehard plantaardig materiaal), of omgezet kan worden in bio-ethanol of biogas door middel van organische fermentatieprocessen of biodiesel door middel van veresteringsreacties.

In drinkwatersystemen, kan er energie gewonnen worden van waterbehandelings- en zuiveringsbedrijven in de vorm van methaan, geproduceerd door anaërobe afbraakprocessen van slib.

De duurzame energie uit de directe natuurlijke hulpbronnen zijn:

- De zon: zonne-energie
- Wind: windenergie
- Rivieren en zoetwater stromingen: waterkracht
- Golven van zeeën en oceanen: getijdenenergie
- De warmte van de aarde: geothermische energie
- Het gebruik van zoet/zout-gradiënt vermogen van zoetwater en zoutwater door osmose: vaak blauwe energie genoemd.

Er zijn verschillende toepassingen van zon en windenergie in de drinkwaterdistributiesystemen, zoals fotovoltaïsche zonne-energie pompsystemen of door wind aangedreven pompsystemen die worden gebruikt in landelijke en afgelegen gebieden, zoals boerderijen.

#### Zonne-energie

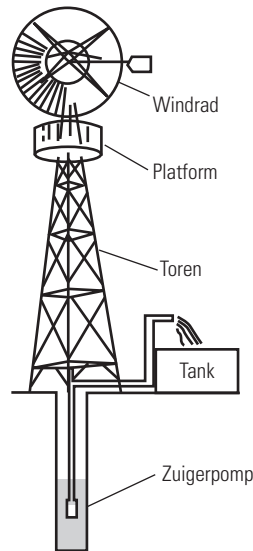
Er zijn een aantal systemen en subsystemen die zonne-energie kunnen gebruiken in drinkwatersystemen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- Automatische afsluiters en regelkleppen
- Druk en waterkwaliteit monitoren
- Kleine drinkwaterpompsystemen op het platteland of afgelegen gebieden

#### Windenergie

Windenergie kan een aanvulling op het bestaande elektriciteitsnet zijn of ruimte maken voor niet-conventionele energiesystemen voor het aandrijven van drinkwatersystemen op het platteland. In sommige

**AFBEELDING 33:** Werking van een windmolen om grondwater op te pompen



plattelandsgemeenschappen, is een gemengde energieoplossing voor de drinkwaterprojecten een windmolen en een back-up van dieselgeneratoren hetgeen zeer aantrekkelijk en rendabel is. Deze opties vullen elkaar aan niet alleen in het verminderen van de kosten, maar ook door het vergroten van de energiezuikerheid van het systeem. Windenergie heeft kleine onderhoudskosten, dus productiekosten van het water zullen aanzienlijk dalen. Veel systemen die momenteel in gebruik zijn hebben behoefte aan grote hoeveelheden energie en een deel van hun energiebehoefte kan voldaan worden door windenergie. Als deze systemen in gebieden zijn met een aanzienlijke mogelijkheid voor windenergie, is het eenvoudig en goedkoop om een gemengd systeem op te nemen en de productiekosten te verlagen.

Om een windenergiesysteem aan te leggen, moet er voldoende wind zijn en de winden moeten goed worden beoordeeld om de gemiddelde windsnelheden te bepalen. De windinformatie moet direct worden verzameld op de potentiële plaats waar het systeem komt te staan met behulp van anemometers of windsensoren die geïnstalleerd moeten worden voor een minimale periode van zes maanden.

Windmolens of windturbines zijn zeer eenvoudige machines die de mechanische energie van wind omzetten in het mechanische vermogen voor een pomp. Voor een pompsysteem, is windenergie zeer efficiënt, omdat het niet nodig is over te schakelen naar een andere vorm van elektrische energie. De zorg voor efficiëntie, zuinige en stabiele energievoorziening wordt bereikt door het gebruik van een opeenstapeling van tanks waarvan het volume wordt bepaald door de analyse van de wind en geschat verbruik. Dit zijn zeer eenvoudige en goedkope systemen die gebruik maken van zuigerpompen en ze vereisen minimaal onderhoud. Bijvoorbeeld, een compleet systeem (exclusief de bron) met een debiet van 1 l/s kost ongeveer USD \$3.400<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> 2010 Schatting

Kleine windturbines produceren tussen ongeveer 1 en 10 kW en stellen gebruikers in staat om elektriciteit te leveren voor afvalwaterprojecten en functioneringsprocessen. De installatiekosten van deze apparatuur varieert, voornamelijk afhankelijk van de afgelegen ligging. De kosten van de toren zijn ongeveer 50 procent van de totale waarde van de apparatuur. Huidige tarieven liggen tussen de USD 2–6 per geïnstalleerde Watt.

### ***5.8.2. Productie en gebruik van biogas in afvalwaterzuiveringsinstallaties***

Biogas is een brandbaar gas dat voornamelijk methaan produceert in een natuurlijke omgeving of in specifieke apparaten middels de afbraakreacties van organisch materiaal door de activiteit van micro-organismen, vooral methanogenen bacteriën, in afwezigheid van lucht (dat wil zeggen in een anaeroob milieu). Wanneer de organische stof zich ontleeft in afwezigheid van zuurstof, wordt biogas geproduceerd. Deze reactie vindt plaats in de biovergister.

Het toepassen van biovergisters in watersystemen leidt tot

1. De ontsmetting van het afvalwater (die ver boven de internationale normen voor ontsmetting ligt)
2. De productie van biogas is een extra product.

Dit biogas kan gebruikt worden voor verwarmingsdoeleinden, in verbrandingsmotoren om pompen aan te drijven of voor de opwekking van elektriciteit door middel van een generator.

## Hoofdstuk 6

### BEOORDELING BEZUINIGINGSMAATREGELEN

#### 6.1. ENERGIEBESPARINGSEVALUATIE (VERWACHTE ENERGIEBALANS)

Zodra de voorstellen voor energiebesparing zijn geïdentificeerd, dienen de specificaties van de vervangende onderdelen en activiteiten voor het energiebesparingplan, inclusief de nieuwe rendementen, verliezen en energiebalans, opnieuw worden geëvalueerd om de totale potentiële verwachte besparingen te bepalen als het besparingplan wordt uitgevoerd. De nieuwe beoordeling moet worden uitgevoerd volgens de werkwijze beschreven in hoofdstuk 4 van deze handleiding. Dit betekent het updaten of vervangen van apparatuurgegevens en verbeteren van werkomstandigheden.

Volgens de beoordeling van de motor, elektrische kabels en voorgestelde specificaties, en in de veronderstelling dat de pomp zal werken binnen het efficiencybereik van de debietcurve, kan een nieuwe verwachte energiebalans worden berekend om de pomp te laten werken met de voorgestelde bezuinigingsmaatregelen. De berekening van de verwachte balans wordt uitgevoerd op dezelfde wijze als beschreven in hoofdstuk 4 van deze handleiding. In dit geval, toont de verwachte balans het percentage van de besparingen die de maatregelen zullen bewerkstelligen wanneer deze worden toegepast. De energiebesparing in de verwachte energiebalans wordt berekend met behulp van de algemene kosten voor elektriciteit en beoordeeld met de volgende voorwaarden:

**EENHEID ENERGIEKOSTPRIJS (UEC)** – Totale kosten van de elektrische energie wordt verkregen in de lokale munteenheid per eenheid of (USD/kWh)

**DIRECTE BESPARINGEN** – Te verwachte besparingen door het verminderen van energieverliezen van de nieuwe energiebalans door de uitvoering van de voorgestelde bezuinigingsmaatregelen voor elk pompsysteem. De besparingen van de verwachte energiebalans worden uitgedrukt in (kWh) per jaar. Het bedrag van de besparing wordt verkregen door het vermenigvuldigen van de bespaarde energie met de energiekostprijs.

**EXTRA BESPARINGEN** – Dit zijn de besparingen die worden geschat op basis van het optimaliseren van de cosinus phi factor en installatie van een condensatorbank, die de verliezen in de kabels en andere elektrische onderdelen van het systeem verminderen.

Echter, als een installatie met een lage cosinus phi factor resulteerde in een boete van de elektriciteitsleverancier, kunnen de kosten van deze boete(s) van het laatste jaar ook aan dit bedrag worden toegevoegd.

**TOTALE BESPARINGEN** – De som van de directe en extra besparingen.

$$\text{TOTALE BESPARINGEN (S}_{\text{eco}}) = \text{DIRECTE BESPARINGEN} + \text{EXTRA BESPARINGEN}$$

Sinds besparingvoorstellen worden meegenomen bij de aankoop van apparatuur, materialen en extra werk, houd rekening met de bijbehorende investeringen voor al uw pompsystemen in uw berekeningen. Tijdens de investeringberekeningen moet er rekening gehouden worden met alle investeringskosten van het energiebesparingplan, het ontbreken van elke voorgesteld onderdeel tijdens de aankoop van de apparatuur, installatie en het benodigde werk.

### 6.1.1. Het rendement van de investeringsanalyse

Tenslotte moet er een analyse van het rendement op de investeringen van het voorgestelde energiebesparingplan worden uitgevoerd.

Bereken de eenvoudige terugverdientijd met behulp van de volgende formule:

$$n_{ri} = \frac{I_{mae}}{S_{eco}}$$

Waarbij:

- $n_{ri}$  gelijk is aan de terugverdientijd (jaar)
- $I_{mae}$  gelijk is aan de totale investering voor de uitvoering van de besparingvoorstellen in USD of lokale valuta
- $S_{eco}$  gelijk is aan de totale economische besparingen in USD of lokale valuta per jaar

Zodra alle besparingen en het rendement op de investeringen worden berekend, stel een overzicht samen van alle conventionele energiebesparende maatregelen of een snelle toepassing ervan en de investeringmaatregelen op de lange termijn (zie tabel 17).

*Legenda voor tabel:*

1. *Jaarlijkse energiebesparing en kosten voor elke besparingsmaatregel die voortvloeien uit de optelling van zowel de economische- en energiebesparingen van elk pompsysteem en de rest van de apparatuur, waarbij elke maatregel wordt toegepast*
2. *Percentage van de besparingen per maatregel. Het wordt berekend door de jaarlijkse energiebesparing te delen door het jaarlijkse verbruik voor elke maatregel.*
3. *Geraamde totale investeringskosten voor elke maatregel.*
4. *Geschatte tijd van het terugverdienen van de investering, of terugverdientijd. Het wordt verkregen door de investeringswaarde te delen door de jaarlijkse besparing op energiekosten in jaren.*
5. *Totale besparing en percentages verkregen door hetzij de som van alle maatregelen of sommatie per maatregel om een onderscheid te maken met energiebesparende maatregelen als gevolg van de hydraulische bediening.*

**TABEL 17:** Voorbeeld overzichtsformulier energiebesparingplan

Beschrijving van de besparingsmaatregel	Werkelijk verbruik		Besparing (1)		%(2)	Investering (3)	Terugverdientijd (4)
	Energie kWh/jaar	Energiefactuur (\$/jaar)	Energy (kWh/jaar)	Verwachte factuur (\$/jaar)			
Totale besparingen (5)							



## Hoofdstuk 7

### ENERGIE AUDIT VERSLAG

De laatste stap in de energie-efficiency controle is het voorbereiden van een rapport met de opmerkingen en conclusies van de controle, met de nadruk op mogelijkheden voor energiebesparingen en het actieplan voor de uitvoering ervan. Een goed rapport moet de hieronder vermelde informatie bevatten.

#### 7.1. SAMENVATTING

Het doel van de samenvatting is dat de directie van het drinkwater- en afvalwaterbedrijf de belangrijke resultaten in een beknopte vorm kan zien en ook onmiddellijk de resultaten van de *audit* kan begrijpen, evenals de kosten/baten van de aanbevelingen. Een samenvatting is normaal gesproken twee à vijf pagina's lang.

De belangrijkste onderdelen van een samenvatting zijn:

- Energie- en kostenbesparingen per jaar voor elke besparingmaatregel. Economische en energiebesparing van alle pompsystemen en apparatuur waar de maatregel kan worden toegepast. Dit omvat blovers, verlichting en andere aanverwante apparatuur die deel uitmaken van het systeem.
- Het percentage van de besparingen per maatregel (berekend door de jaarlijkse energiebesparing te delen door het jaarlijks verbruik voor elke maatregel).
- Investeringskosten voor elke maatregel.
- Winstgevendheid van de investeringen getoond door minimaal een eenvoudige terugverdientijd van het rendement op de investering (door de investering te delen door de jaarlijkse kostenbesparing).
- Totale procentuele economische energiebesparing waardoor extra besparingen onderscheiden kunnen worden die gerealiseerd zijn met eenvoudige besparingsmaatregelen als gevolg van de hydraulische bediening.
- Samenvatting tabel, zie tabel 17 als voorbeeld.

#### 7.2. EVALUATIE INSTALLATIEBESCHRIJVING

Dit deel bevat een beoordeling van de situatie waarin de installaties van het drinkwaterbedrijf zich bevinden. De beoordeling dient een samenvatting van de gegevens van de basisinstallaties te bevatten:

- Algemene gegevens van de elektromechanische installaties (apparatuur en voorwaarden)
- Overzicht van het productie- en distributiesysteem van drinkwater en afvalwater (zuivering en distributie: bron tank, gecombineerd systeem zuiging en persing van de bron, enz.)

#### 7.3. ANALYSE VAN ENERGIEVERBRUIK

Dit deel bevat de verzamelde gegevens die geanalyseerd zijn aan de hand van het energieverbruik van alle installaties. De beschrijving van de situatie op energiegebied moet vergezeld gaan van grafieken om het beter te begrijpen en moet het volgende bevatten:

- Energieverbruik per jaar, inclusief elektrische vraag van alle installaties en gecontracteerde services door het bedrijf.

- Elektriciteitsstarieven.
- Totale energiebalans van het waterbedrijf.
- Maandelijkse veranderingen in het energieverbruik en de productiekosten.
- Presentatie van de indicatoren die van toepassing zijn op basis van de resultaten en grafieken verkregen tijdens de analyse.

#### 7.4. AANBEVELINGEN VAN BEZUINIGINGSMATREGELEN EN KOSTEN

Dit deel beschrijft de conditie van de installaties en de eventuele problemen die ontdekt zijn in de installaties en het onderhoud. Elke aanbeveling dient vergezeld te gaan van de volgende referentiepunten:

- **Aanbeveling** – duidelijke en beknopte beschrijving van de acties die ondernomen moeten worden om de verwachte besparingen te realiseren.
- **Besparingsevaluatie** – presentatie van de bevindingen en gemaakte berekeningen om de aanbeveling van de geraamde besparingen uit te voeren.
- **Investeringsevaluatie** – uitleg van de bevindingen en gemaakte berekeningen om de vereiste investering van de aanbeveling uit te voeren.
- **Financiële analyse** – verklaart de kosteneffectiviteit van het plan, inclusief de terugverdientijd van de investering en, indien nodig, gebruikt de methoden van de netto gepresenteerde waarde en het rendement.

## Hoofdstuk 8

### ONDERHOUD: BELANGRIJKSTE ASPECTEN

Een preventief en predictief onderhoudsprogramma maakt onderdeel uit van het energiebesparingsplan. De grote voordelen van een goed onderhoudsprogramma zijn:

- Toename pompcapaciteit
- Toename betrouwbaarheid van de apparatuur
- Efficiëntere en beter gepland functioneren van de apparatuur
- Betere dienstverlening aan de bevolking
- Minder stress voor het personeel
- Lagere kosten van exploitatie en het beheer
- Langere levensduur van de apparatuur
- Daling van de investeringen en onderhoudskosten
- Energiebesparing
- Economische besparingen

Een onderhoudsprogramma bestaat uit:

- Inventarisatie van apparatuur en installaties
- Activiteiten en de frequentie van uitvoering
- Schema onderhoudsprogramma

#### 8.1. INVENTARIS VAN APPARATUUR EN INSTALLATIES

Maak een inventaris van de apparatuur en installaties. Deze inventaris moet minimaal de volgende gegevens bevatten:

##### Elektrische Installaties

- Enkel lijn-diagram: een bijgewerkte versie moet worden ontwikkeld als het er nog niet is of verouderd is.
- Elektrische kabels: bevat informatie over de lengte en de omvang van de elektrische kabels in elke gedeelte, en of ze in een leiding of kabelgoot liggen; geef ook het aantal kabels in het systeem.
- Transformatoren: de inventaris moet elke processor identificeren en alle informatie van de plaatgegevens.

##### Elektromotoren

- Motor identificatienummer (ID).
- Plaatgegevens.
- Leeftijd, het aantal keer dat de motor opnieuw gewikkeld is en de beschrijving van de reparaties.
- Lagers en de datum wanneer ze zijn vervangen.
- Het besturingssysteem, inclusief de kenmerken van de starter, schakelaar en beveiligingsspecificaties.

## Pompen

- Pomp ID nummer.
- Specificatie van de pomp (merk, model, materiaal, toerental en de karakteristieke curven).
- Ontwerpgegevens (druk en debiet).
- Waaierspecificaties (type en diameter) en de installatiedatum.
- Specificaties van de lagers, pakking en mechanische afdichting, met vermelding van de datum waarop ze voor het laatst vervangen zijn.
- Schema van de hydraulische regeling en persleidingen.

## Tanks

- Tank ID nummer.
- Afmetingen en watervolume-capaciteit.
- Leeftijd en bouw materiaal.
- Tekeningen en schema's van de tank.

## Waterdistributienetwerk

- Schema van het hydraulische netwerk, met vermelding van lengte, diameter en het pijpmateriaal, evenals de locatie van de afsluiters.
- Leeftijd van de leiding en leidingbreuk gegevens.

Inventarisatie van de kleppen, met vermelding van de specificaties en de locatie van alle kleppen.

## 8.2. ACTIVITEITEN EN FREQUENTIE VAN UITVOERING

Ten behoeve van het onderhoudsplan, is het essentieel om de frequentie waarmee de verschillende activiteiten zullen worden uitgevoerd in zowel preventief als predictief onderhoud aan te geven. De frequentie waarmee de verschillende activiteiten voorgeschreven zullen worden, zijn gebaseerd op de ervaring van het onderhoudspersoneel en de aanbevelingen van de apparatuurleverancier. Tabel 18 toont de aanbevolen frequentie voor de verschillende activiteiten. Dit kan als richtlijn worden gebruikt en aangepast worden aan de specifieke omstandigheden van het bedrijf en de apparatuur.

## 8.3. SCHEMA ONDERHOUDSPROGRAMMA

Na het samenstellen van de apparatuurinventaris en het vaststellen van een tijdschema voor regelmatige onderhoudswerkzaamheden, is de volgende stap het ontwikkelen van een onderhoudsplan. Het onderhoudsschema is een grafiek met de gegevens op de ene as en de werkzaamheden op de andere. Het is belangrijk om aan te geven wie verantwoordelijk is voor elke activiteit, en voltooide activiteiten vast te leggen voor de onderhoudsgeschiedenis van de apparatuur. Tabel 19 toont een formulier dat kan worden gebruikt als leidraad voor het onderhoudsschema.

**TABEL 18:** Aanbevolen frequentie voor verschillende onderhoudsactiviteiten

Subsysteem	Apparaat	Aanbevolen Actie	Onderhoudsfrequentie				Bij Uitval
			Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks	Jaarlijks	
<b>Elektrisch</b>	Transformator	Reiniging van apparaat met een diëlektrisch oplosmiddel					
		Schoonmaken van de omgeving					
		Aandraaien van het mondstuk en mechanische klemmen					
		Zuivering en filtratie van diëlektrische olie, inclusief centrifugeren, filtreren, drogen en het ontgassen van de inhoud van de transformator					
		Metten en analyse van elektrische parameters					
		Fysisch-chemische analyse van de olie					
		Transformator transformatie verhouding (TTR)					
		Elektrische testen (Megger)					
		Thermografische analyse					
	Motorregeling	Panelen reinigen met diëlektrisch oplosmiddel					
		Schoonmaken en smeren van elektrische aandrijvingen (veren, drukpanelen)					
		Hardware aandraaien aan de uiteinden evernals de verbindingen van het elektrisch circuit					
		Metten en analyse van elektrische parameters					
		Elektrische weerstand testen van de aardingsnetwerken					
		Continuïteitstesten in de aardingsnetwerken					
		Thermografische analyse					
	Motor	Draadspoel reinigen met diëlektrisch oplosmiddel					
		Smering van de lagers					
		Vervangen van de aslagers					
		Speling afstellen					

(zie de rest van de tabel op de volgende bladzijde)

**TABEL 18:** Aanbevolen frequentie voor verschillende onderhoudsactiviteiten (*rest van de tabel*)

Subsysteem	Apparaat	Aanbevolen Actie	Onderhoudsfrequentie				Bij Uitval
			Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks	Jaarlijks	
	Motor	Schuren en schilderen van apparatuurbehuizingen					
		Metten en analyse van elektrische parameters					
		Metten en analyse van mechanische trillingen					
		Testen op schade aan isolatie					
		Weerstandstesten voor draadspoel					
		Thermografische analyse					
<b>Mechanisch</b>	Pomp	Smeren van lagers en lagerrollers					
		Smeren van bovenste as					
		Vervangen van de schalen tussen de oplegger					
		Afstellen van de schalen tussen de zittingen					
		Vervangen van de zuignaplagers					
		Uitlijnen van de as					
		Vervangen van de lagers					
		Vervaardigen van de oplegger					
		Afstellen van de as-schalen					
		Metten en analyse van mechanische trillingen					
		Metten en analyse van de pompingang en uitgangsdruk					
		Metten en analyse van debiet					
		Monitoren van oplegger					
		Monitoren van drukregeling					
	Hoofdpersleiding	Reinigen en schilderen van de belangrijkste onderdelen van de persleiding					
		Vervangen van kapotte pakkingen in de koppelingen, kleppen, meters en het controleren van de duurzaamheid van de druk					

(zie de rest van de tabel op de volgende bladzijde)

**TABEL 18:** Aanbevolen frequentie voor verschillende onderhoudsactiviteiten (*rest van de tabel*)

Subsysteem	Apparaat	Aanbevolen Actie	Onderhoudsfrequentie				Bij Uitval
			Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks	Jaarlijks	
<b>Mechanisch</b>	Hoofdpersleiding	Vervangen van afsluiters					
		Inspectie en herkalibreren van drukmeters					
		Inspectie van de chloordoseerapparatuur					
		Reinigen van de aandrijving en pneumatisch bediende afsluiters					
		Metten en analyse van mechanische trillingen					
	Afsluiters	Reinigen en evaluatie van het membraan					
		Reinigen en evaluatie van het membraan aandrijfveer					
		Vervangen van O ringen					
		Reinigen van stofafdichting					
		Smeren van de lager as					
		Reinigen van de klepbehuizing					
		Schoonmaken van de aandrijving					
		Vervangen van elektrische besturing					
		Metten en analyse van mechanische trillingen					

**TABEL 19:** Voorbeeld onderhoudsschema

Installatie	Apparaat	Activiteit	Verantwoordelijk	Datum											
				Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6						

## 8.4. MONITOREN VOORGESTELDE APPARATUUR

Bij het ontwikkelen van een effectief preventief onderhoud en efficiencyprogramma, moet er beschikbare apparatuur zijn voor het monitoren van de voorgestelde parameters. De hoofdactiviteit van het onderhoudsprogramma is om de metingen te doen die in Tabel 18 voorgesteld zijn, en dan die metingen te gebruiken om beslissingen te nemen. Het voorgestelde werk is om de vastgelegde grafieken van alle metingen in te voeren en de trends te analyseren met de bedoeling om significante veranderingen in de waarden van de parameters op te sporen voordat er storing optreedt of het rendement daalt.

Het volgende is een voorgestelde minimale apparatuurkit voor het invullen van de benodigde metingen:

Draagbare meetapparatuur:

- Vloeimeters: de meest gangbare voorgestelde technologie is ultrasone of het gebruik van een elektromagnetische vloeimeter.
- Elektrische parameters-meter: bij voorkeur een elektrisch net-analyzer, die in één en drie fasen kan meten en de nodige parameters. In aanvulling op metingen zoals spanning, stroom en cosinus phi factor, kan het andere parameters meten, gerelateerd aan de vermogenskwaliteit, zoals harmonische vervorming.
- Thermografische camera: een camera die abnormale 'hot spots' in elektrische installaties kan vastleggen, waarmee gebruikers slechte contacten of punten op kunnen sporen waar potentiële schade moet worden hersteld.
- Trillingsmeter: apparatuur die uiterst nuttig is bij het opsporen van de tendens van het trillingsniveau van de motor-pompcombinaties zodat maatregelen kunnen genomen worden als de trilling toeneemt. Het stelt gebruikers in staat om de oorzaken te onderzoeken en onverwachte beschadiging van de apparatuur te voorkomen.
- Aardingstester: apparatuur waarmee gebruikers de werking van het aardingssysteem in alle elektrische en mechanische installaties kunnen monitoren.



## Hoofdstuk 9

### ONTWERP ACTIEPLAN

Zodra de IGEA is voltooid, is het drinkwater en afvalwaterbedrijf klaar om een stappenplan te ontwikkelen om de energieprestatie te verbeteren. Succesvolle drinkwater- en afvalwaterbedrijven maken gebruik van een gedetailleerd actieplan om een systematisch proces te waarborgen bij het uitvoeren van de energieprestatie maatregelen. Het actieplan wordt regelmatig bijgewerkt, meestal op jaarbasis, om recente prestaties, veranderingen in de prestaties en veranderende prioriteiten te weer spiegelen. Hoewel de omvang en schaal van het actieplan vaak afhankelijk is van de energie-efficiency maatregelen, geëvalueerd in het IGEA, vormen de onderstaande stappen een uitgangspunt voor het maken van een plan.

Het actieplan heeft drie hoofdcomponenten:

1. Uitvoerende projecten
2. Activiteiten en het kritieke pad
3. Financieringsplan

#### 9.1. UITVOERENDE PROJECTEN

Het toepassen van energie-efficiency hangt af van de bezuinigingsmaatregelen die in de IGEA zijn gedefinieerd. Meestal is een engineeringproject opgesplitst in een ontwerp- en bouwphase. De uitgangspunten van het uitvoerende project zijn de tekeningen, technische gegevens en alle andere ontwerpdocumentatie die nodig zijn om het project uit te voeren.

#### Projecttekeningen

De tekeningen moeten alle meetkundige kenmerken van de gewenste producten of onderdelen van de energie-efficiency maatregelen zo nauwkeurig en zo ondubbelzinnig mogelijk vastleggen. Het uiteindelijke doel van een projecttekening is om alle benodigde informatie over te brengen, zodat degenen die verantwoordelijk zijn voor de uitvoering (bouw) van de besparingmaatregel dit correct kunnen uitvoeren. De tekeningen moeten worden gebruikt om volledige en duidelijke technische vereisten te definiëren.

Tekeningen moeten de volgende cruciale informatie bevatten:

- Meetkundig: de vorm van het object afbeelden, zoals hoe het object eruit zal zien wanneer het vanuit verschillende standaardrichtingen wordt bekeken, zoals voor, boven, van achteren en de zijkant.
- Afmetingen: de grootte van het object, uitgedrukt in standardeenheden.
- Toleranties: de toelaatbare afwijking voor elke afmeting.
- Materiaal: materiaal van het object.
- Afwerking: specificeert de kwaliteit van het oppervlak van het object, functioneel of cosmetisch. Bijvoorbeeld, een massaproduct op de markt vereist meestal een veel hogere kwaliteit van het oppervlak dan een onderdeel/product dat in een machine verdwijnt.

De gewenste afmetingen van de kenmerken zijn overgebracht door het markeren van afmetingen. Afstanden kunnen worden aangegeven met standaardafmetingen. Afbeelding 28 toont een voorbeeld van de tekeningen van een project voor een aanpassing van de persleidingen van een bron.

## AFBEELDING 34: Fabrikant data sheet van pompelapparaat

### 15B233A6 SP 46-6-A 60 Hz

Input		Grootteresultaat	
<b>Toepassing</b>	Grondwatervoorziening	Type	SP 46-6-A
		Kwantiteit * Motor 1 * 13kW, 380V	
Overzichtsmodus	Geen	Flow	54,3 m³/h (+1%)
<b>Soort installatie:</b>	Broninstallatie, geen tank	Opvoerhoogte	74,9 m
		Vermogen P1	18,2 kW
Installatietype:	Boorgat	Vermogen P2	15,2 kW
<b>Vereisten</b>		Stroom (nominiaal)	34 A
Toegestane flow oversize	30%	Stroom (actueel)	33,1 A
Toegestane flow undersize	0%	Cos Phi (actueel)	0,83
Flow	53.7 m³/h	Pompefficiency	72,7%
Opvoerhoogte	74,9 m	Motorefficiency	83,9%
Maximum watertemperatuur	288 K	Eff totaal	61,0% = Eta pomp * Eta motor
Aantal werkuren per dag (laag)	10 h	Flow totaal	196005 m³/jaar
Snelheidsregulering	Geen	Max. druk	734 kPa = during operation in the load profile
<b>Configuratie</b>		Specifiek verbruik	0,3379 kWh/m³
Motorsoort	Grundfos standard motor		4,6 Wh/m³/m
Pompmateriaal	GG 0.6025 or 1.4301 (AISI 304)	Verbruik	66222 kWh/jaar
		Tarief	On request EUR
		Energiekosten	3311 EUR/jaar
		Totale kosten	Op verzoek EUR/15 jaar

### Operationele omstandigheden

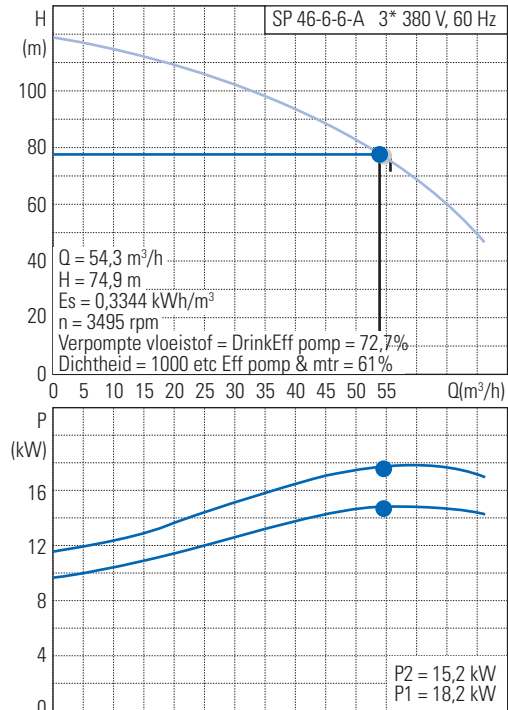
Berekeningsperiode	15 jaar
Energietarief (hoog)	0,15 EUR/kWh
Energietarief (laag)	0,05 EUR/kWh
Energietarief (medium)	0,1 EUR/kWh
Evaluatiecriterium	Tarief + energiekosten
Frequentie	60 Hz
Verhoging energietarief	6%
Fase	3
Startmethode 3 fasen	DOL
Spanning	380 V

### Hist list instellingen

Maximum aantal resultaten	20
Pompen per productgroep	1

### Belastingsprofiel

1		
Flow	100	%
Opvoerhoogte	100	%
Tijd	3650	uur/jaar
Verbruik	66222	kWh/jaar



## Technisch Rapport

Samen met de tekeningen, moet het project worden vergezeld van een technisch rapport dat alle aanvullende berekeningen, technische specificaties en gedetailleerde informatie over het energie-efficiency project bevat. Bijvoorbeeld, waar het project pompapparatuur wil vervangen, of waar er nieuwe berekeningen of nieuwe informatie is, zoals het data sheet van de fabrikant waarin de voorgestelde pompapparatuur en haar nieuwe druk vloeicurve zijn opgenomen. Afbeelding 29 toont een voorbeeld van het data sheet van een pomp.

### 9.2. ACTIVITEITEN EN HET KRITIEKE PAD

Er zijn een aantal benaderingen om projectactiviteiten te beheren inclusief flexibele, interactieve, stapsgewijze en een gefaseerde aanpak. Ongeacht de gebruikte methoden, moet een zorgvuldige afweging worden gemaakt van de algemene doelstellingen van het project, de planning en kosten evenals de taken en verantwoordelijkheden van alle deelnemers en belanghebbenden.

Een kritiek pad van een project bevat een methode voor planning en beheer dat de nadruk legt op de beschikbare middelen (materiële en menselijke) die nodig zijn om de werkzaamheden van het energie-efficiency project uit te voeren. Het doel is het vergroten van het slagingspercentage van een organisatieproject. De systeembeperkingen en de middelen voor elk project worden geïdentificeerd. Door te werken met een deadline, krijgen werkzaamheden van het kritieke pad voorrang boven alle andere activiteiten. Tot slot worden projecten gepland en beheerd om ervoor te zorgen dat de middelen klaar zijn wanneer de werkzaamheden van het kritieke pad moeten beginnen en waaraan alle andere activiteiten ondergeschikt zijn.

Ongeacht het soort project, moet het projectplan voorzieningen rangschikken en de langste reeks van werkzaamheden met beperkte middelen moet worden geïdentificeerd als het zogenaamde kritieke pad. In multi-project omgevingen, moeten de middelen genivelleerd uitgevoerd worden. Het is echter vaak genoeg om een enkele voorziening te identificeren- dat is een voorziening die fungeert als een beperking tussen de verschillende projecten, en projecten vertraagt gebaseerd op de beschikbaarheid van die ene voorziening.

Zodra alle activiteiten en het kritieke pad voor elk project van alle energiebesparende maatregelen gedefinieerd zijn, kan het energie-efficiency actieplan worden ontwikkeld door alle voorgeschreven activiteiten samen te vatten. Afbeelding 30 toont een voorbeeld van een dergelijke samenvatting.

Voor deze samenvatting, is het handig om de energie-efficiency activiteiten, maatregelen en projecten als volgt te rangschikken:

- Korte termijn lage of geen investering: structurele acties
- Korte termijn investering: structurele acties
- Korte termijn lage of geen investering: projecten
- Korte termijn investering: projecten
- Middellange termijn investering: projecten
- Lange termijn investering: projecten

**AFBEELDING 35:** Voorbeeld van een energie-efficiency programma

Maatregel		Maand																																			
Nr	Beschrijving	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36																		
Korte Termijn Laag of geen Investering Structurele Acties																																					
1	Uitvoeren van de Energie Management Comité																																				
	Definieer Energie Management Team																																				
	Definieer Energie Management Master Plan																																				
	Instellen van een communicatiestrategie																																				
Korte Termijn Investering Projecten																																					
2	Uitvoeren van het Water en Energie Meet Infrastructuur																																				
	Aankoop van lokale en draagbare Flowmeters																																				
	Aankoop of onderhoudscontract van trilling analyse apparatuur																																				
	Aankoop draagbare meter voor elektrische parameters																																				
	Definieer een permanent meetprogramma																																				
3	Uitvoeren van preventief onderhoudsysteem																																				
	Aanschaf van onderhoudsapparatuur (thermofusie, boren en kranen)																																				
	Aanschaf van een geschikt gereedschap set																																				
	Aanschaf van belangrijke onderdelen voor onderhoud																																				
4	Uitvoeren van technische training programma																																				
	Technische training voor pompsysteme																																				
	Training voor apparatuuronderhoud																																				
	Training in Energie Management																																				
Korte Termijn Investering Projecten																																					
5	Verbeteren van het elektromechanisch rendement en optimalisatie van de Cosinus phi factor van apparatuur (Pompstation, bron, enz.)																																				
	Aanschaf van apparatuur en materialen																																				
	Installeren, testen en de apparatuur in bedrijf stellen																																				
6	Diameter zuig/persleiding vervangen om de drukverliezen te beperken																																				
	Aanschaf van materialen																																				
	Installeren van materialen en apparatuur																																				

(de rest volgt op de volgende pagina)

**AFBEELDING 35:** Voorbeeld van een energie-efficiency programma *(continued)*

Maatregel		Maand																																			
Nr	Beschrijving	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36																		
7	Installeer FO (frequentieomvormer) om het energieverbruik te verminderen in de daluren, in lokaal apparatuur																																				
	Aanschaf van apparatuur en materialen																																				
	Installeren, testen en de apparatuur in bedrijf stellen																																				
8	Vervangen elektrische apparatuur (kabels, transformator, automaten, enz.)																																				
	Aanschaf van materialen																																				
	Installatie van materialen en apparatuur																																				
Middellange Termijn Investering Projecten																																					
9	Verbeteren van het elektromechanisch rendement en optimalisatie van de Cosinus phi factor van apparatuur (Pompstation, bron, enz.)																																				
	Aanschaf van apparatuur en materialen																																				
	Installeren, testen en de apparatuur in bedrijf stellen																																				
10	Niet Commerciële Drinkwater Herstelprogramma																																				
	Aanschaf van lekdetectie apparatuur																																				
	Inrichten van een lekdetectie programma																																				
	Aanschaf van leidingreparatie materialen																																				
	Repareer lekkage volgens het programma																																				
Lange Termijn Investering Projecten																																					
11	Verbeteren van de Hydraulische distributie efficiëntie (Sectioneren)																																				
	Netwerk kaart bijwerken																																				
	Volume balans																																				
	Distributie leidingnetwerk modellering																																				
	Definitie van distributie sectoren																																				
	Definitie van leidingbezuiniging projecten en vervanging van, regulatietanks																																				
	Uitvoeren van het sectioneren project																																				

### 9.3. FINANCIERINGSPLAN

In het algemeen, is voor het energie-efficiency financieringsprogramma een begroting van de uitgaven nodig voor de investeringen van de bezuinigingsmaatregelen. Dit plan verwijst naar de toekomstige investeringen van de verschillende soorten uitgaven, zoals aankoop, installatie en constructie die nodig is om de besparingmaatregelen uit te voeren. Een financieringsplan is dan een investeringsplan dat verwijst naar de investeringen en inkomsten om deze investeringen te financieren op grond van verschillende activa of verwachte projecten om toekomstige inkomsten te realiseren door besparingen op de energiekosten.

Het financieringsplan verwijst meestal naar de wijze waarop geld verkregen zal worden om de investeringen te bekostigen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van contant geld dat gespaard is door toepassing van energie-efficiency projecten.

Aanbevolen wordt dat alle gedefinieerde energie-efficiency besparingsmaatregelen die in het actieplan gepresenteerd worden in hetzelfde formulier worden ingevoerd, met behulp van hetzelfde type en classificeren van de energie-efficiency activiteiten, maatregelen en projecten zodat tijdens een overleg, het actieplan en het financieringsplan als een geheel kunnen worden gezien. Om dit te doen, kan de hoeveelheid contant geld die nodig is om een specifieke actie te bekostigen in de tijdlijn van het energie-efficiency actieplan worden opgenomen. Afbeelding 36 is een voorbeeld:

**AFBEELDING 36:** Voorbeeld van een financieringsplan

	Maatregel		Besparingen		Investeringen	Terugverdiend
#	Beschrijving		kWh/jaar	USD/jaar	USD	Jaar
Versterkingsmaatregelen						
1	Energie Management Comité.					
		Project management (3 jaar)			32.000	
2	Verbeteren van onderhoud en meetpraktijken					
		Capaciteitsopbouw (3 jaar)			60.000	
		Aanschaf van draagbare en vaste meetapparatuur			74.000	
3	Verbeteren van het hydraulisch werkschema					
		Hydraulische efficiëntie project inclusief hydraulische modellering van 3 EBD en beurs			30.000	
Implementatie op de korte termijn						
4	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in A		209.098	67.957	13.161	0,19
5	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in B		136.698	44.427	10.401	0,23
6	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in C		86.533	28.123	13.161	0,47
7	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in D		50.853	16.527	11.781	0,71
8	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in E		41.040	13.338	9.711	0,73
9	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in F		47.296	15.371	13.161	0,86
10	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in G		34.636	11.257	11.781	1,05

(de rest volgt op de volgende pagina)

**AFBEELDING 36:** Voorbeeld van een financieringsplan *(continued)*

	Maatregel	Besparingen		Investeringen	Terugverdiend
#	Beschrijving	kWh/jaar	USD/jaar	USD	Jaar
<b>Implementatie op de middellange termijn</b>					
11	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in H	46.238	14.737	24.776	1,68
12	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in I	20.574	6.687	11.781	1,76
13	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in J	17.404	5.656	11.781	2,08
14	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in K	14.566	4.734	13.161	2,78
15	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in L	8.003	2.601	10.401	4,00
16	Verbeteren van het elektromechanisch rendement in M	2.194	713	13.161	18,46
<b>Total:</b>		<b>715.133</b>	<b>232.128</b>	<b>364.218</b>	<b>1,57</b>





# Hoofdstuk 10

## ACTIEPLAN UITVOERING

Twee factoren moeten worden opgevangen tijdens de uitvoering van de projecten:

- Ontwerpgegevens: ontwerpgegevens die gedefinieerd zijn tijdens het project moeten genoteerd worden om de doelstellingen van de projecten te realiseren, en vooral de verwachte energiebesparingen.
- Kritieke pad: Het is belangrijk om een kritiek pad te ontwikkelen om ervoor te zorgen dat de geplande tijdsduur niet makkelijk kan worden veranderd, een goede projectplanning kan worden ontwikkeld en een evaluatie van de financiële prestatie bekeken kan worden.

Het ontwikkelen van een goed kritiek pad betekent dat middelen beschikbaar moeten zijn om op schema te liggen en tijdverlies te voorkomen. Het doel hiervan is om werkvertraging of extra werk (wat gedaan wordt als er meer tijd is) en grotere onkosten dan gepland, te voorkomen. Omdat werkzaamheden gepland zijn om afgerond te worden binnen een aannemelijke geschatte tijdsduur, is er druk op de middelen om de kritieke pad-werkzaamheden zo snel mogelijk uit te voeren. Daarom moet er toezicht worden gehouden bij het uitvoeren van het actieplan.

### 10.1. ACTIEPLAN TOEZICHT

Toezicht is, in sommige opzichten, de grootste voorwaarde voor het uitvoeren van het actieplan. Omdat individuele werkzaamheden kunnen variëren binnen de geschatte tijdsduur, moet er flexibiliteit worden geboden in plaats van een obsessie met deadlines. In plaats daarvan wordt toezicht gehouden om ervoor te zorgen dat het totale project binnen de parameters blijft die tijdens de planningsfase werden gemaakt. Een project gegevensplan met een uitvoeringsgrafiek of een soortgelijke grafiek kan gemakkelijk gemaakt en gepubliceerd worden om het verbruik van de middelen als functie van de projectafronthing aan te tonen. Als het percentage van de uitgaven en het middelenverbruik laag is in vergelijking met de geplande uitgaven en het middelenverbruik, dan ligt het project op schema. Anders moeten corrigerende maatregelen of herstelplannen worden ontwikkeld om het verlies te herstellen. Als de uitgaven en het hulpmiddelenverbruik een kritisch punt overschrijden, moeten er alternatieve plannen worden gemaakt.

Toezicht en het beheer van middelen zijn nodig om een succesvolle afronding van doelstellingen van het Energie-Efficiëntie Actie Plan (EEAP) te realiseren. Deze processen worden uitgevoerd om het energie-efficiency plan te observeren, zodat potentiële problemen tijdig geïdentificeerd en gecorrigeerd kunnen worden wanneer dat nodig is om de uitvoering van het energie-efficiency plan te sturen. Het is belangrijk toezicht te houden op het energie-efficiency plan en dat er regelmatig gemeten wordt om afwijkingen van het oorspronkelijke energie-efficiency plan te identificeren.

Toezicht op werkzaamheden omvatten:

- Het meten van de lopende EEAP-activiteiten ('waar zijn we?')
- Het monitoren van de projectvariabelen (kosten, inspanning en bereik) t.o.v. het project management-plan en de basis van de projectprestaties ('waar zouden we moeten zijn?')
- Het identificeren van corrigerende maatregelen om kwesties en risico's aan te pakken ('hoe zetten we dit alles weer op de rails?')

- Het beïnvloeden van de factoren die geïntegreerde planning vermijden zodat alleen goedgekeurde wijzigingen worden uitgevoerd.

In meerfasen projecten, verschaft bovenstaand toezicht feedback tussen de projectfasen zodat corrigerende of preventieve maatregelen geïmplementeerd kunnen worden om het project in overeenstemming te brengen met het algemene project managementplan.

## **10.2. TECHNISCHE TRAINING**

Het is belangrijk om een permanente training te ontwikkelen om de bekwaamheid van het personeel te versterken om de controles uit te voeren en toezicht te houden bij de uitvoering van projecten en het monitoren van de resultaten. De onderwerpen die opgenomen worden in het programma kunnen worden verdeeld in twee groepen, afhankelijk van de specialiteiten waarvoor het personeel getraind wordt. De twee belangrijkste groepen en voorgestelde onderwerpen zijn:

Technisch personeel: trainingsonderwerpen:

- Energie kwaliteitsbeoordeling
- Onderhoud systemen
- Elektrische installatie ontwerp
- Motorontwerp en -onderhoud
- Pompsystemenontwerp, evaluatie en onderhoud
- Uitvoeren van energiecontroles
- Monitoren en meettechnologieën
- SCADA systemen
- Leidingontwerp
- Lekdetectie management

Managers: onderwerpen:

- Planningsvaardigheden
- Kritieke pad
- Leiderschap

## Hoofdstuk 11

### MONITOREN EN EVALUATIE

Een programma voor het monitoren van de energiesituatie moet worden ingevoerd met de volgende doelstellingen:

- Beoordelen van de resultaten van de energiebesparingsprojecten op basis van de energiecontrole/*audit* en het stellen van doelen die daarbij horen.
- Identificeren en verklaren van de stijgingen of dalingen van het energiegebruik.
- Toekomstig potentieel energieverbruik voorspellen bij het plannen van veranderingen in het bedrijf.
- Specifieke gebieden van verspilde energie vaststellen.
- Energieverbruiktrends volgen en prestatiedoelstellingen ontwikkelen.
- Energieverbruik beheren en beperken.
- Acties en besparingen koppelen.
- Vooruitgang melden.
- Feedback – Evaluatie
  - Problemen aanpakken
  - Wat werkte?
  - Wat niet?
  - Welke verbeteringen zijn nodig?
- Bijwerken van Informatie
  - Energie
  - Water
  - Werking

Het monitoren en evaluatieproces moeten worden gebaseerd op indicatoren. In het geval van drinkwater- en afvalwatersystemen, worden de belangrijkste voorgestelde indicatoren beschreven in Tabel 20.

**TABEL 20:** Belangrijkste indicatoren voor monitoren van het drinkwatersysteem

Energie-efficiency indicatoren	Hydraulisch Functie Indicatoren	Milieu Indicatoren
<ul style="list-style-type: none"><li>• Energie Index (kWh/m<sup>3</sup>)</li><li>• Eenheid Energie kostprijs Indicator (USD/kWh)</li><li>• Elektromechanische rendement van pomp-systemen (%)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lekverliezen index (%)</li><li>• Eenheid drinkwatervoorziening per inwoner (l/inw-dag)</li><li>• Dienstverleningscontinuïteit index (uur/inw-dag)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kooldioxide uitstootfactor (t CO<sub>2</sub>/jaar)</li><li>• Watervoerende lagen Exploitatie Index (%)</li></ul>







[www.iadb.org](http://www.iadb.org)