



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Best Practice efficiënte elektrische aandrijvingen

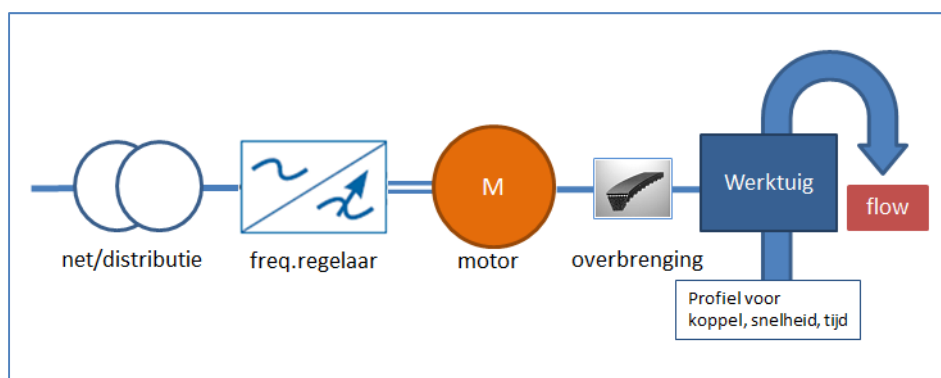
Utrecht, juni 2015

Inhoud

1.	Inleiding	1
2.	Kern: feiten en vuistregels.....	1
3.	Efficiency elektromotoren: normen en eisen.....	5
4.	Besparen, naar componenten van het systeem.....	6
4.1.	Elektromotor.....	6
4.2.	Regeling, toerenregeling	9
4.3.	Overbrenging	11
4.4.	Aangedreven apparaat, proces.....	12
4.5.	Onderhoud, bedrijfsvoering	13
4.6.	Netkwaliteit, Cos φ-regeling.....	13
5.	Inventariseren van besparingsmogelijkheden	14
6.	Links.....	15

1. Inleiding

In de industrie gaat ongeveer 70% van het totale elektriciteitsverbruik naar elektrisch aangedreven systemen. Een aandrijfsysteem bestaat uit een serie componenten: naast de elektromotor zelf zijn dit (soms) een frequentieregelaar¹, de overbrenging en het gedreven apparaat zoals een compressor, ventilator, pomp of een apparaat voor processen als mengen, verkleinen of intern transport. In onderstaand figuur 1 schematisch weergegeven met pomp als gedreven werktuig, inclusief het leidingwerk, afsluiters en kleppen e.d..



Figuur 1. Aandrijfsysteem

De kosten van een elektromotor over de hele levensduur bestaan voor 95% tot 99% uit energiekosten, met daarnaast enkele procenten aan aanschaf- en onderhoudskosten. Bij investeringen in elektromotor(systemen) levert focus op de energiekosten over de gehele levensduur veel kostenefficiëntere oplossingen op dan focus op aanschafkosten (alleen). De terugverdientijden van de (meer)investering zijn daarbij doorgaans kort (<1 tot 5 jaar). De beste resultaten zijn bereikbaar bij optimalisatie van het gehele aandrijfsysteem.

Investeren in efficiëntere aandrijfsystemen leidt niet alleen tot lagere gebruikskosten (20% tot 30%), er zijn meer voordelen: een langere levensduur en een hogere betrouwbaarheid van de aandrijving, én concrete mogelijkheden voor hogere flexibiliteit en kwaliteit in de productie (het proces) door verbeterde procesregeling en –controle.

Deze best practice biedt praktische informatie om aandrijfsystemen efficiënter te maken, en lagere gebruikskosten te realiseren.

2. Kern: feiten en vuistregels

Hieronder vindt u een aantal feiten en vuistregels voor het efficiënter maken van elektrische aandrijfsystemen. Optimalisatie van alle componenten in een systeem leidt tot een efficiënte en betrouwbare bedrijfsvoering én een structurele verlaging van de operationale kosten.

¹ Definities:

- Toerenregeling = elektronisch of mechanisch apparaat om toerental van motor en/of aangedreven apparaat te regelen.
- Frequentieregelaar = elektronisch apparaat welke d.m.w. frequentie- en spanningsregeling het toerental van de elektromotor regelt.

Elektromotoren

Beoordelen en vervangen van motoren

- Kies standaard voor een IE3 motor (premium efficiency), ook in combinatie met een frequentieregelaar. IE3 is per 1 januari 2015 verplicht, zie paragraaf 3. Overweeg bij hogere draaiuren (> 1.500 draaiuren per jaar) ook IE4 (super premium), de meerprijs verdient u veelal in korte tijd terug.
- Vervang motoren ouder dan 20 jaar en met meer dan 2.000 draaiuren per jaar door IE3 of IE4 motoren. Nieuwe motoren zijn aanzienlijk efficiënter (3% tot 10%) en betrouwbaarder, en bieden lagere kosten voor (energie)gebruik en onderhoud. Reparaties als herwikkelen maken dit verschil in rendement en gebruikskosten alleen maar groter omdat herwikkelen doorgaans tot een lagere efficiency leidt.
- IE3 en IE4 motoren hebben een langere bouwvorm dan oudere motoren. Veelal is dit met een eenvoudige frame-aanpassing op te lossen.
- Controleer in de productspecificaties altijd de werkelijke efficiënties van motoren, die u vergelijkt. Motoren met eenzelfde IE-classificatie van verschillende leveranciers kunnen een verschillend rendement hebben; de IE-classificatie van motoren stelt slechts een ondergrens.
- Reken bij aanschaf van een elektromotor met de 'total cost of ownership' (i.p.v. eenvoudige terugverdientijd). Van de totale kosten tijdens een gebruiksduur van 15 jaar bedragen de investeringskosten slechts 3% tot 10%. De energie- en onderhoudskosten bedragen tot ruim 90% van deze totale kosten.
- Maak voorbereidingen voor vervanging bij de eerstvolgende (on)geplande stop:
 - Beoordeel of het vermogen van de motor nog past bij het (inmiddels gewijzigde?) proces – dit kan eenvoudig door bijvoorbeeld de belasting over een bepaalde tijdsduur te meten, en
 - Stel vast of de efficiency van het aangedreven apparaat wel optimaal is, cq of het apparaat wel op de juiste werkpunt wordt ingezet (zie 'aangedreven apparaat').
- Zijn de renovatiekosten van een motor meer dan circa 20% van de aanschafkosten van een nieuwe motor: vervangen is goede optie. Vergelijk bij deze afweging (nieuw of reparatie) steeds de totale kosten tijdens gebruiksduur.

Richtlijn elektromotoren

- Voor nieuwe elektromotoren geldt per 1 januari 2015 in Nederland de minimum efficiency-eis IE3 (premium), of IE2 (high efficiency) mét een frequentieregelaar - voor motoren tussen 7,5 kW en 375 kW.

Regeling - toerenregeling

De regeling van de aandrijving biedt goede kansen voor optimalisatie:

- Zorg dat motoren niet draaien als er geen 'vraag' is, door automatische aan/uit-afschakeling.
 - Bij productiemachines en bij utilities als koelwaterpompen, ventilatiesystemen, luchtbehandelingskasten.
 - In geval van cascade regeling, bij handmatig bij-/afschakelen: stap over op automatisch bij-/afschakelen.
- Bij stromingsmachines zijn besparingen mogelijk via de inzet van *toerenregeling*, bij:
 - Smoorregelingen → toepassen toerenregeling
 - Bypassregeling → toepassen toerenregeling en uitschakelen bypass
 - Parallele pompen (slecht werkpunt) → inzet pomp(en) op juiste werkpunt, eventueel met toerenregeling.

Bij een proces met een wisselende belasting, bij draaiuren vanaf 1500 uur per jaar, is toerenregeling al snel rendabel, afhankelijk van de precieze belastingvariaties op uur, week en jaarbasis.

- De meest gangbare toepassing voor toerenregeling is een frequentieregelaar. Met een frequentieregelaar is het toerental en koppel van de elektromotor nauwkeurig regelbaar; een frequentieregelaar biedt een hoog aandrijfsysteem-rendement bij deellastbedrijf, geringe(er) slijtage aan componenten als lagers e.d., een breed regelbereik en een by-pass-mogelijkheid.
- Een frequentieregelaar heeft een rendement (van 96% tot 97%) en voegt dus een klein verbruik aan het aandrijfsysteem toe; welke echter door de regeling van het deellastbedrijf ruimschoots wordt terugverdiend.
- Een frequentieregelaar beïnvloedt het gedrag en rendement van de elektromotor; controleer of de elektromotor geschikt is voor het gekozen type/merk frequentieregeling (denk aan resonantiefrequenties, smering, materiaalmoetheid door versnellen en vertragen).
- Een magneet slipkoppeling (2 permanent magneten op kleine afstand van elkaar) biedt door zijn mechanische eenvoud een laag niveau van trillingen, geluid en onderhoud en is in speciale productie-omgevingen (stof en mn. ATEX) al snel rendabel. Hij is toepasbaar als toerenregeling en als toerentalreductor. De magneetkoppeling heeft een rendement (slipverliezen) en levert 75% tot 90% van de besparingen van een frequentieregelaar.
- Voor hoog koppel/laag toerental toepassingen zijn andere regelcomponenten toepasbaar als bijvoorbeeld de hydraulische koppeling of mechanische variator.

Overbrenging

- Pas waar mogelijk alleen directe aandrijving toe, d.w.z. zonder transmissie, zonder riemen.
- Kies bij riemoverbrenging voor getande riemen, niet voor V-snaren. Het rendement is respectievelijk 96-98% bij getande riemen tegenover 92-94% bij V-snaren.
 - Tandriemen (synchrone riemen) hebben overigens geen schokdempende eigenschappen, V-snaren wel.
 - Zorg daarbij voor een goede snaarspanning; een te lage spanning geeft al snel een verdubbeling van de verliezen.
- Onderzoek of bestaande riemoverbrengingen goed zijn. Overdimensionering leidt tot onnodige energieverliezen. Gebruik hiervoor het rekentool MST (zie par. 6) e/o kenmerkbladen.
- Kies bij tandwiel-overbrengingen voor efficiënte uitvoeringen, en pas bij voorkeur geen wormwielen en gekruiste schroefwielen toe; daar kunnen de verliezen zeer hoog oplopen. Spiraal en conische overbrengingen hebben rendementen van 88-98%, tegen wormwielen 65-85%.
- Een magneetslipkoppeling biedt voordelen in vergelijking met riemoverbrenging; minder trillingen, geluid, onderhoud, minder kritische uitlijning en geen vervuiling van omgeving door slijtagedenen. Afhankelijk van de gekozen slip geeft de koppeling bepaalde energieverliezen.

Aangedreven apparaat

Pompen, ventilatoren, compressoren:

- Controleer of de pomp, ventilator op het juiste werkpunt draait, met de actuele opvoerhoogte(n) en debiet(en).
- Beoordeel de efficiency van de pomp, ventilator of compressor en kies bij mogelijke vervanging voor een zeer efficiënte uitvoering:
 - Pompen: 5% tot 25% verbetering mogelijk door efficiëntere pomp
 - Ventilatoren: 2 tot 18% verbetering mogelijk door juiste dimensionering van de ventilator
 - Compressoren: 9% tot 18% verbetering mogelijk door juiste dimensionering van de compressor

- Verminder verliezen in de installatie door deze op minimale energieverliezen te (her-)ontwerpen: korte leidingen met grote doorsnede, geen onnodige kleppen en bochten.
- Zorg bij stromingssystemen met constante druk voor de laagst mogelijk toelaatbare druk; In de praktijk kan dit proefondervindelijk worden vastgesteld.

Overige machines:

- Met constant koppel (zoals transportbanden, verdringerpompen, compressoren): zorg voor exacte snelheidsregeling die aansluit op de vraag; een lagere snelheid geeft energiebesparing rechtevenredig met de snelheidsafname; en schakel uit bij nullast bedrijf.
- Met constant vermogen (zoals persen, draaibanken, zaagmachines): zorg voor juiste dimensionering van de aandrijving, en voor het instellen op optimale machine-snelheden voor het te produceren onderdeel, en schakel uit bij nullast bedrijf.

Onderhoud

- Bepaal per aandrijving de vereiste onderhoudsacties: het preventieve onderhoud (visueel, akoestisch, thermografisch) en de te ondernemen interventies bij uitval.
- Zorg voor goede balancering, uitlijning en smering. Elk aspect afzonderlijk kan besparingen in de orde van 5% opleveren.
 - V-snaren regelmatig opnieuw aanspannen, anders daalt de efficiëntie.
- Controleer van tijd tot tijd de inregeling van de frequentieregelaar op procescondities, d.w.z. toerental, vermogen, tijden.
- Vervang periodiek, bv. elke vijf jaar de lagers, riemen e.d., en zorg voor goede uitlijning en smering.
- Onderzoek de systemen die een hoge onderhoudsfrequentie hebben, bijvoorbeeld minder dan 2 jaar. Vaak wijst dit op een verkeerde systeemparameters.
- Bijvoorbeeld reserve-exemplaar gereed houden (zelf of bij servicebedrijf); direct vervangen door nieuwe (super) premium motor, en daarbij op 75% dimensioneren, evt. een frequentieregelaar erbij plaatsen, en eventueel een verbeterde pomp, ventilator of compressor installeren.

Power quality - Net

- Bewaak – vooral bij grote vermogens frequentieregelaars – de Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC), en voorkom daarmee verstoringen in het elektriciteitsnet.
- Monitor de arbeidsfactor ($\cos \varphi$, Displacement Power Factor DPF). Toepassing van een frequentieregelaar verbetert de $\cos \varphi$ (DPF), maar door harmonische verstoringen - uitgedrukt in THD (Total Harmonic Distortion) - kan de overall power factor² verslechteren. Extra voorzieningen in de frequentieregelaar kunnen dit voorkomen/verbeteren.
- Zolang de $\cos \varphi$ boven de 0,85 blijft is $\cos \varphi$ -regeling niet nodig. Wees kritisch naar voorgespiegelde besparingen door $\cos \varphi$ -compensatie.

Fiscale regeling EIA

- Jaarlijks wordt de EIA (EnergieInvesteringsAftrek)-lijst gepubliceerd op www.RVO.nl. Dit is een fiscale stimuleringsregeling van het Ministerie van Economische Zaken, waarmee circa 10% netto voordeel op een investering kan worden verkregen. Bijvoorbeeld voor componenten als zeer efficiënte elektromotoren (IE4), en voor een compleet geoptimaliseerd aandrijfsysteem, via een zgn. generieke aanvraag.

²Power Factor: $= \frac{DPF}{\sqrt{1+THD^2}}$

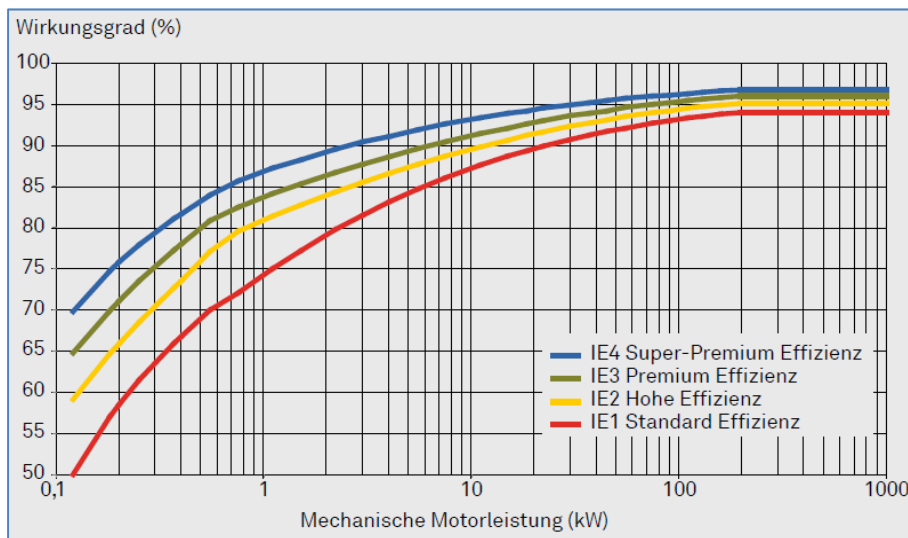
3. Efficiency elektromotoren: normen en eisen

Normen

De efficiency van elektromotoren is gedefinieerd in vier kwaliteitsniveaus, waarbij IE staat voor *International Efficiency*³:

- IE4 super-premium rendement
- IE3 premium rendement
- IE2 hoog rendement (ca. oude EFF1)
- IE1 standaard rendement (ca. oude EFF2)

Hoe groter het vermogen van de motor, hoe hoger het rendement en hoe kleiner de verschillen in rendement tussen de labels. Dit is duidelijk te zien in figuur 2.



Figuur 2: Efficiency van de verschillende IE-klassen als functie van vermogen (4 polen, 1500 tpm)

Eisen aan minimum efficiency elektromotoren, volgens de EU-richtlijn

In de Europese Unie zijn minimum efficiency-eisen voor elektromotoren van kracht⁴:

- Vanaf 16 juni 2011 moeten nieuwe motoren minimaal het IE2-label hebben. Dit geldt voor motoren vanaf 7,5 kW tot 375 kW.
- Vanaf 1 januari 2015 gaat het minimum voor motoren zonder frequentieregeling omhoog naar IE3. Voor nieuwe motoren mét frequentieregeling blijft IE2 als ondergrens gelden.
- Vanaf 1 januari 2017 gaan deze regels ook gelden voor motoren tussen 0,75 en 7,5 kW.

Volgens de bepalingen in de EU-Verordening 640/2009 en de aanvullende EU-Verordening 4/2014.

Er gelden enkele uitzonderingen, zoals onder meer voor (NB: opsomming is niet uitputtend):

- motoren die ontworpen zijn voor omgevingen met explosiegevaar (ATEX); er zijn echter wel IE2- en IE3-motoren leverbaar die aan de ATEX-richtlijn voldoen.
- motoren voor zeer warme of zeer koude omgevingen (bv. bij een omgevingstemperatuur boven de 60 °C onder de -30 °C);
- remmotoren; en motoren die volledig in een ander product geïntegreerd zijn en waarvan de efficiëntie niet afzonderlijk bepaald kan worden.

³ De IE classificatie is beschreven in de IEC-Standaard IEC 60034-30-1:2014.

⁴ Dit zijn driefasige kooiankermotor van 50 Hz of 50/60 Hz met vast toerental, zie voor meer informatie de Brochure Efficiënte Elektrische Aandrijvingen, of de Richtlijn 640/2009.

Het IE-label én de efficiency van de motor moeten altijd op het typeplaatje van de motor worden vermeld. Dit betreft dan de laagste efficiency onder alle nominale spanning/frequentie/vermogens combinaties.

Andere EU minimum efficiency eisen

Ook voor andere energieverbruikende producten heeft de EU minimum eisen vastgesteld, onder meer voor circulatiepompen (1 W tot 2500 W), ventilatoren (125 W tot 500 kW) en waterpompen (tot 150 kW), zie daartoe de Brochure Aandrijvingen voor meer informatie.

4. Besparen, naar componenten van het systeem

4.1. Elektromotor

Berekenen van besparingen

De efficiency van elektromotoren is gedefinieerd in de kwaliteitsklassen IE1 tot en met IE4. De energie- en kostenbesparingen kunnen met een eenvoudige berekening worden gemaakt, op basis van rendementen, bedrijfstijden, de belasting en het elektriciteitsstarief:

$$\text{Energiebesparing per jaar} = P \times LF \times B \frac{\text{uren}}{\text{jaar}} \times \left(\frac{100\%}{\eta_{\text{motor1}}} - \frac{100\%}{\eta_{\text{motor2}}} \right) \times \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Met:

P = nominaal vermogen van de motor in kW.

LF = load factor (%), de actuele belasting gedeeld door de nominale belasting, over een bepaalde periode (jaar).

B = bedrijfstijd van de motor in uren per jaar.

η motor 1 en 2 = motorrendement volgens typeplaatje, of uit catalogus van motorfabrikant.

€/kWh = het gemiddelde elektriciteitsstarief in € per kWh.

De rendementen van de elektromotor(en) kunt u aflezen van het typeplaatje en/of opzoeken in de tabel in de brochure. Daarna kan de besparing worden berekend (zie bovenstaande formule) op basis van rendementen, bedrijfstijd (eigen informatie uit de productie of een benadering - zie de tabel hieronder voor gemiddelde bedrijfstijden per vermogensklasse) en vermogen. U kunt ook direct gebruik maken van een rekentool als Motor Systems Tool⁵.

Let op: de vermelde efficiency op het typeplaatje van oudere motoren (>15 jaar oud) is niet direct vergelijkbaar met de IE-classificatie. Voor de IE-classificatie is een nieuwe testmethode van toepassing, waarmee de oude vermelde efficiencies hoger, optimistischer zijn dan in werkelijkheid (IE-getest) het geval is.

Vermogen kW	Bedrijfstijd uur/jaar	Vermogen kW	Bedrijfstijd uur/jaar
0,75-4	2.750	38-75	5.350
5-15	3.400	76-150	5.200
16-37	4.050	151-375	6.100

Bron: CEE, 2011, manufacturing industry estimates

⁵ Motor Systems Tool www.motorsystems.org

Kansen om de elektromotor efficiency te verbeteren

De technische levensduur van motoren is tot 15 jaar voor kleinere motoren (<50 kW) en tot 20 jaar voor grotere motoren. Motoren ouder dan 20 jaar kunnen het beste vervangen worden door IE3 of IE4-motoren, zodra de gelegenheid zich voordoet.

Nieuwe motoren zijn aanzienlijk efficiënter en betrouwbaarder, en zijn goedkoper in gebruik en onderhoud. Reparaties als herwikkelen maken dit verschil in rendement en gebruikskosten alleen maar groter. Maak voorbereidingen voor vervanging bij de 1^e (on)geplande stop.

- Beoordeel daarbij de mate van **overdimensionering** van de motor: is er sprake van structureel deellastbedrijf, dan kan de nieuwe motor mogelijk 1 of 2 'stappen' kleiner worden gedimensioneerd.
- Bij **deellastbedrijf** neemt het rendement van de motor af; bij oudere motoren treedt dit effect eerder op (bij deellast) en in sterkere mate dan bij nieuwe motoren, in het bijzonder bij een deelbelasting onder de 0,5. Bij kleinere motoren treedt dit effect eerder op, vanaf een deellastfactor van 0,6.
- Beoordeel ook de efficiency van het **aangedreven apparaat** (zie paragraaf 4.4. 'aangedreven apparaat')

Uitval van oudere motoren kan ontstaan door beschadigingen aan wikkelingen en/of isolatie en/of gebruik op een frequentieregelaar. Reparatie door herwikkelen wordt soms toegepast bij focus op laagste investeringskosten (reparatie versus nieuwe motor) en/of wanneer vervanging door een nieuwe motor niet mogelijk is, bijvoorbeeld door (te) lange levertijd, speciale specificaties van de motor of in aanvang lagere kosten (dan nieuw).

Herwikkelen leidt vaak tot een verslechtering van de efficiency van de motor met 1% (bij zorgvuldig herwikkelen, volgens strikte vastomschreven procedures) tot enkele procenten. Het verschil met een nieuwe premium (IE3) motor is echter groot, zie de voorbeelden in tabel 3 waar herwikkelen van oude motor vergeleken is met aanschaf van een nieuwe: de terugverdientijden van de meerprijs t.o.v. reparatie bedraagt 3 tot 16 maanden.

Vergelijk bij de besluitvorming over reparatie of vernieuwen de totale kosten en besparingen over de levensduur van enerzijds een *nieuwe* motor (eventueel een maat kleiner) en anderzijds de te repareren oudere motor. Dit geldt ook voor verdergaand onderhoudswerk dan het periodieke groot onderhoud van lagers vervangen e.d., iets wat in principe elke drie tot vijf jaar moet gebeuren. Van de totale kosten tijdens een gebruiksduur van 15 jaar bedragen de investeringskosten slechts 3% tot 10%. De energiekosten bedragen tot ruim 90% van deze totale kosten.

kW (1800 rpm)	Herwikkelkosten (€)	Premium Efficiency Motorprijs (€)	Herwikkel vs. Nieuwe Motor verschil	Energie besparing per jaar	Terugverdientijd Maanden
1,5	354	391	37	134	3
4	365	524	159	288	7
7,5	456	753	296	520	7
18,5	730	1.318	588	1.059	7
75	1.935	5.017	3.082	2.695	14
150	3.285	9.747	6.462	4.971	16

Tabel 3. Vergelijk van kosten herwikkelen en aanschaf nieuwe motor. Bron: NEMA

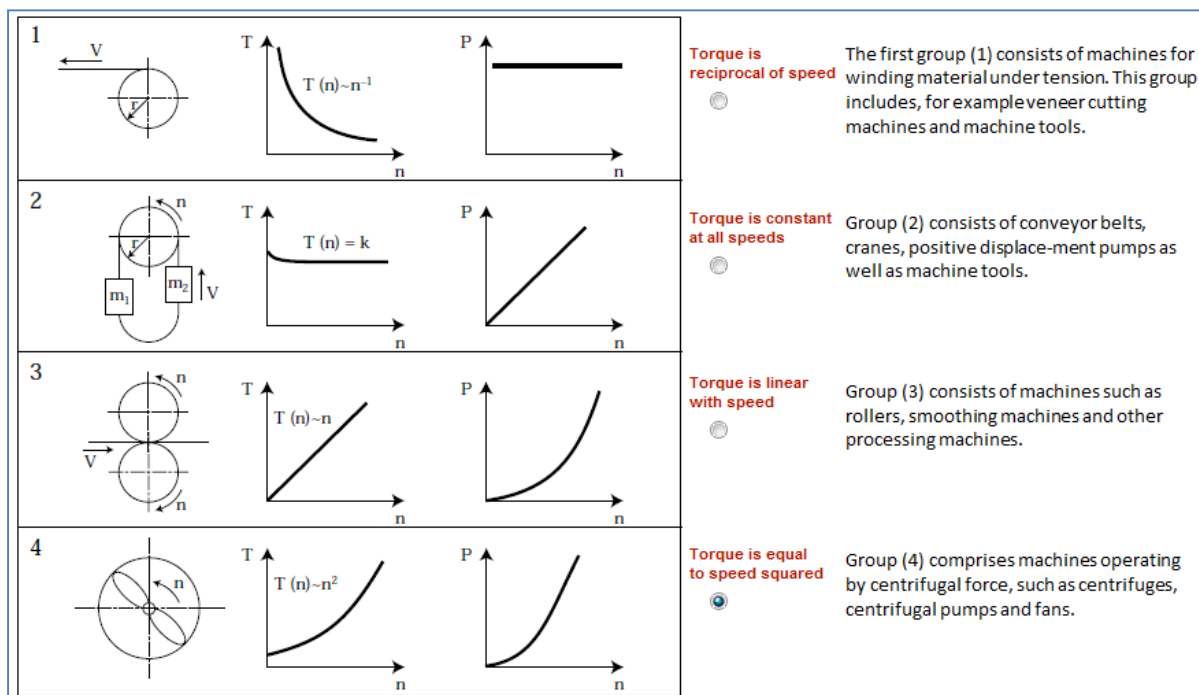
Vervanging / aankoop nieuwe elektromotor

Zorg bij de selectie van de elektromotor dat de relevante karakteristieken van het proces, het aan te drijven apparaat bekend zijn. Dit zijn aspecten als

- Procesomstandigheden (met IP- en eventueel ATEX-classificatie; resp. vervuilingsgraad en explosieveiligheid).
- Motorsnelheid (aantal polen), vereiste koppel-toerenkarakteristiek in de tijd (bv. aanloopkoppel, nominaal koppel), belastingpatroon van de motor in de tijd (% nominaal vermogen), de 'duty cycle' – gestandaardiseerde start/stop/belasting-cycli, temperatuur ratings en meer.
- Er zijn vier groepen van koppel-toerenkarakteristiek te onderscheiden, zie figuur 4, die elk speciale eisen aan de motor stellen:
 - koppel is omgekeerd evenredig aan de snelheid, zoals snijmachines;
 - koppel is constant bij elke snelheid, zoals transportbanden, verdringerpompen;
 - koppel is lineair met de snelheid, zoals persen, processing machines;
 - koppel neemt kwadratisch toe met snelheid, zoals pompen, ventilatoren.

Ga voor de dimensionering van de motor uit van de koppel-toerenkarakteristiek van het aangedreven apparaat en niet van het benodigde vermogen. Let op bij lage motortoerentallen en piekbelastingen (denk aan transport van vaste stoffen). Standaardmotoren kunnen bij lage toerentallen niet langdurig het nominale koppel leveren, omdat daarbij de vermindering van de warmteontwikkeling geen gelijke tred houdt met de afname van de ventilatie (= koeling) van de motor. In dat geval is dus aparte ventilatie of overdimensionering van de motor nodig.

- In samenspraak met leverancier kunt u de juiste motor selecteren; elke categorie kent eigen karakteristieken in aandrijving, regeling en mogelijkheden voor efficiencyverbetering (zie paragraaf 4.2).



Figuur 4. Vier groepen van koppel-toerenkarakteristiek, Bron: MST tool, DTI

- IE3/IE4-motoren hebben een afwijkende bouwvorm (langer, met een kleinere diameter). De aansluitmaten (ashoogte, voetplaatcentrering, kabelaanluiting e.d.) van IE3/IE4-motoren komen doorgaans wel overeen met die van oudere motoren.

- Wordt de motor frequentieregeld, dan moet de nieuwe motor expliciet geschikt zijn voor (het type) frequentieregelaar. Om resonantie te voorkomen, moet de kritische frequenties boven het regelbereik van de frequentieomvormer zitten. Let ook op smering, snelheidsbegrenzing, en de materiaalmoetheid die optreedt door versnellen en vertragen.
- Let op het belastingpatroon van de motor: motoren met een beter efficiëntielabel zijn niet in alle bedrijfssituaties daadwerkelijk efficiënter. De hogere efficiëntie van IE3 en IE4 motoren komt pas in voortdurend bedrijf bij een constant toerental naar voren.
- Bij IE3 of IE4 motoren ligt het toerental bij nominaal vermogen iets hoger dan bij motoren met IE2 of *lagere* efficiëncyklasse. Door de hogere snelheid neemt ook het energieverbruik toe, en zonder maatregelen verdwijnt een deel van de beoogde efficiency winst. Dit kan gecompenseerd worden door de overbrengingsverhouding aan te passen, of door de frequentieregelaar goed in te regelen, of in geval van het tegelijk vervangen van een pomp of ventilator, deze anders te dimensioneren.

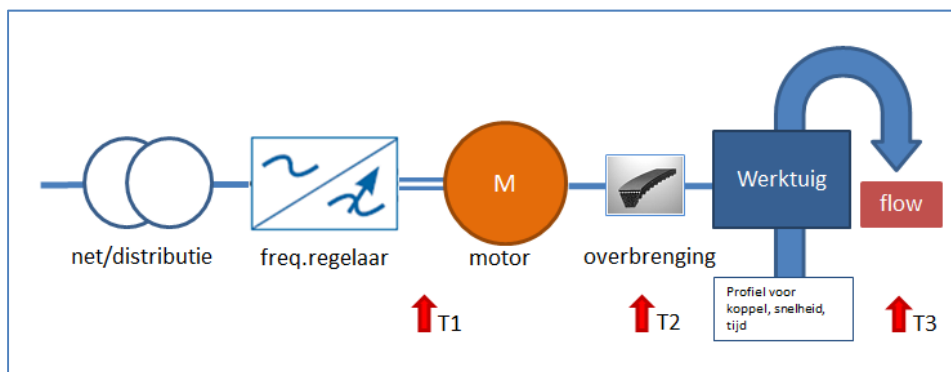
4.2. Regeling, toerenregeling

Elektromotoren zijn veelal gedimensioneerd op het maximale vermogen het proces kan vragen. Een groot deel van de tijd is het gevraagde vermogen echter kleiner dan dit maximum, waardoor de motor in deellast draait (ongunstig); en in veel gevallen is er ook sprake van overdimensionering van de motor.

Regeling van de aandrijving biedt goede kansen voor het verlagen van het energieverbruik van de installatie:

- Zorg dat motoren niet draaien als er geen 'vraag' is, door automatische aan/uit-afschakeling.
 - Bij productiemachines en bij utilities als koelwaterpompen, ventilatiesystemen, luchtbehandelingskasten.
 - In geval van cascade regeling, bij handmatig bij-/afschakelen: stap over op automatisch bij-/afschakelen.
- Bij stromingsmachines liggen kansen voor besparingen door de inzet van *toerenregeling*:
 - Smoorregelingen: toepassen toerenregeling
 - Bypass: toerenregeling en uitschakelen bypass
 - Parallele pompen (slecht werkpunt): optimaliseren inzet pomp(en) op juiste werkpunt, eventueel met toerenregeling.

Bij een proces met een wisselende belasting kan goed toerenregeling worden toegepast. Bij draaiuren vanaf 1500 uur per jaar is toerenregeling rendabel toepasbaar (uit oogpunt van energiebesparing). Een en ander afhankelijk van de precieze belastingvariëaties op uur, week en jaar basis.



Figuur 5. Vier groepen van koppel-toerenkarakteristiek, Bron: MST tool, DTI

De belasting van het aandrijfsysteem (de koppel-toerenkarakteristiek) is bepalend voor de mogelijkheden voor frequentieregeling en andere regelingen. Zo wordt bij stromingsmachines de overcapaciteit vaak met een regelklep gesmoord (positie T3 in figuur 5), waardoor veel energie verloren gaat.

Frequentieregeling is dan een zeer efficiënt alternatief en momenteel de meest gangbare toepassing voor toerenregeling (positie T1 in figuur 5): met het aanpassen van het toerental draait de motor niet harder dan op dat moment noodzakelijk. Afhankelijk van het proces kan dit grote besparingen opleveren. Figuur 6 geeft per type koppel-toerenkarakteristiek voorbeelden van toepassingen en van mogelijke besparingen.

Een verstelbare magneetslipkoppeling regelt de toeren van het gedreven apparaat, bij gelijkblijvend toerental van de motor (positie T2 in figuur 5). De koppeling levert 75% tot 90% van de besparingen van een frequentieregelaar (bij variabel koppel toepassingen) en is in speciale omgevingen (stof, vuil, ATEX) al snel rendabel toepasbaar (zie ook par. 4.3).

Koppel karakteristiek	Toepassingen	Energiebesparings mogelijkheden	Besparing met FR
(4) Variabel koppel Koppel is gelijk aan kwadraat van snelheid	Stromingsmachines voor a) vloeistoffen met lage statische druk, zoals centrifugaalpompen voor procesvloeistoffen, verwarmingsinstallaties en koelinstallaties. b) gassen met lage statische druk, zoals ventilatoren voor koeltorens, luchtbehandelingsinstallaties en koelinstallaties	Lagere snelheid geeft aanzienlijke energiebesparing omdat het koppel kwadratisch afneemt met de snelheid, en uitschakelen bij nullast bedrijf.	a) 20-50% b) 30-70%
(2) Constant koppel Koppel is constant bij elke snelheid	Transportbanden, en verdringerpompen en compressoren in systemen met hoge statische druk, zoals persluchtsystemen en ketelwatervoedingssystemen	Lagere snelheid geeft energiebesparing evenredig met de snelheidsafname, en uitschakelen bij nullast bedrijf.	10-25%
(1) Constant vermogen Koppel is omgekeerd evenredig met de snelheid	Persen, draaibanken, zaagmachines, tools	Geen energiebesparing bij lagere snelheden. Echter: besparingen mogelijk door toepassen optimale snelheden voor het te produceren onderdeel; en uitschakelen bij nullast bedrijf.	10-100%

Figuur 6. Mogelijke besparingen door frequentieregeling per koppeltoeren-karakteristiek, bron: CEE

Naast energiebesparing biedt een frequentieomvormer andere voordelen: het toerental en koppel van de elektromotor is nauwkeurig regelbaar over een breed toereengebied, de omvormer biedt een hoog aandrijf-systeemrendement bij deellast-bedrijf, beheerste start- en stopregeling met lage aanloopstromen hetgeen minder slijtage geeft voor lagers, waaiers, afdichtingen e.d.

Veel elektrische motoren zijn geschikt voor frequentieregeling. Zorg echter wel dat de motor geschikt is voor het gekozen type/merk frequentieregeling: denk daarbij aan resonantiefrequenties, smering, materiaalmoeheid door versnellen en vertragen.

Dit geldt ook voor het aangedreven apparaat: die is niet altijd voor een variabel toerental ontworpen. Bij bepaalde toerentallen kan ongewenste resonantie optreden. Vaak kan de regelaar

zo geprogrammeerd worden dat het kritische toereengebied snel wordt doorlopen, waardoor frequentieregeling toch toegepast kan worden.

Ook als frequentieregeling wordt toegepast, moet de motor goed gedimensioneerd worden. Een motor die ver onder zijn nominale vermogen draait, is niet efficiënt.

Er zijn ook processen waarin de motor maar op één vast toerental hoeft te draaien. Uiteraard heeft frequentieregeling in dit geval geen zin. Alternatieven zijn dan een riemoverbrenging, reductor of een magneetslipkoppeling, waarmee het gedreven apparaat op een constant lager toerental kan draaien.

Frequentieregeling heeft een licht negatief effect hebben op het rendement van de motor:

- Zelfs de beste frequentieomvormer heeft geen perfecte sinus als uitgangssignaal. Door hogere harmonischen uit de frequentieomvormer kan de efficiëntie van de motor met 1-2% dalen.
- De frequentieregelaar verbetert de $\cos \varphi$ (DPF), maar door harmonische verstoringen (uitgedrukt in THD (Total Harmonic Distortion)) kan de overall power factor verslechteren. Extra voorzieningen in de frequentieregelaar kunnen dit voorkomen/verbeteren.
- Het rendement van de frequentieregelaar zelf bedraagt 96-98%. De 2-4% restwarmte moet goed kunnen worden afgevoerd. Bij omgevingstemperaturen hoger dan 35 °C halveert de levensduur van de frequentieregelaar per 6-8 °C temperatuurverhoging.
- Voor frequentieregelaars is een IE-efficiency classificatie in ontwikkeling welke naar verwachting begin 2016 beschikbaar komt.

Tenslotte, enkele praktische beperkingen van frequentieregelaars:

- Vooral bij grote vermogens, meerdere omvormers, of gevoelige elektronische apparatuur in de buurt moet aandacht worden besteed aan de Elektromagnetische Compatibiliteit (EMC). Hoe dichter de frequentieomvormer bij de motor wordt geplaatst, hoe makkelijker het is om het opgewekte elektromagnetische veld binnen de perken te houden, middels filters.
- Bij regelingen met een negatieve koppel-toerenkarakteristiek, zoals bij spindelaandrijvingen, moeten de nodige beveiligingen zijn aangebracht zodat de motor niet op hol kan slaan. Ook smering kan bij hoge of lage toerentallen een probleem zijn. Om dit op te lossen kan een extra smeervoorziening nodig zijn.
- Voor machines met constant koppel moet óf extra ventilatie óf overdimensionering worden toegepast als het regelbereik breder is dan een factor 3.

Voor motoren die een groot koppel bij laag toerental moeten leveren zijn andere regelcomponenten toepasbaar als bijvoorbeeld de hydraulische koppeling of mechanische variator.

Zoals hierboven aangegeven biedt de magneetslipkoppeling door zijn mechanische eenvoud (2 permanent magneten op kleine afstand van elkaar) een laag niveau van trillingen, geluid en onderhoud. In de regelbare toepassing kan de overbrengingsverhouding traploos worden gevarieerd waarmee het een direct alternatief is voor de frequentieregelaar; met name in ATEX-omgeving en omgevingen met stof, agressieve media is de magneetslipkoppeling al snel rendabel toepasbaar. De koppeling heeft een rendement (door de slip) en levert 75% tot 90% van de besparingen van een frequentieregelaar (bij het vervangen van smookkleppen en bypasses bij variabel koppel toepassingen).

4.3. Overbrenging

Uiteraard is géén overbrenging de meest efficiënte overbrenging: de motor wordt dan direct aangesloten op het aangedreven apparaat (*direct drive*). Niet alle systemen zijn hier echter voor geschikt. Vaak liggen de toerentallen van de motor (bij 50 Hz uitsluitend op bijvoorbeeld 3.000, 1.500 of 1.000 toeren per minuut) ver boven het gewenste toerental in het aangedreven apparaat.

Direct drive kan dan niet worden toegepast omdat de overbrengingsverhouding daarvan per definitie 1:1 is.

Voor de overbrenging tussen motor en aangedreven apparaat kunnen tandwielen, kettingen of riemen worden gebruikt. Deze overbrengingen hebben veelal een hoge efficiëntie van circa 92%-98%.

Vermijd bij tandwiel-overbrengingen de toepassing van wormwielen of gekruiste schroefwielen: hierbij kunnen verliezen optreden van 7% tot 35%. Hoe groter de overbrengingsverhoudingen en hoe meer trappen van overbrenging, hoe groter de verliezen.

Bij riemoverbrenging is er de keuze tussen een tandriem of een (tandloze) V-snaar. V-snaren kunnen slippen, tandriemen niet. Hierdoor zijn tandriemen rond de 2% efficiënter, en genereren ze dus ook minder restwarmte; daarnaast zijn tandriemen geschikt voor natte of vette omgevingen. De slip van V-snaren heeft echter ook voordelen: de snaar kan hierdoor schokken en trillingen uit de motor tot op zekere hoogte opvangen, in plaats van ze direct door te geven aan het aangedreven apparaat (en vice versa). Span V-snaren regelmatig opnieuw aan, anders treedt er teveel slip op en kan de efficiëntie dalen van 92-94% naar 85%.

De magneetslipkoppeling is een koppeling bestaande uit twee permanent magneetschijven met met een variabele luchtspleet ertussen. Doordat de schijven geen contact maken worden er weinig trillingen doorgegeven, waardoor er minder slijtage van lagers e.d. optreedt. Ook is de uitlijning van motor en apparaat minder kritisch – tot enkele millimeters mis-uitlijning is toelaatbaar. Nadeel is het energieverlies door de slip tussen de 2 schijven. De koppeling is in speciale omgevingen (stof, vuil, ATEX) al snel rendabel toepasbaar, als toerenregeling en als toerentalreductor.

4.4. Aangedreven apparaat, proces

Het aangedreven apparaat als een pomp, ventilator, compressor of werktuig is de 'kern' van het aandrijfsysteem, en voorziet optimaliter exact in de vereiste procescondities als bijvoorbeeld flow, druk of koppel in de tijd. In voorgaande paragrafen is ingegaan op de elektromotor, regeling en overbrenging. In deze paragraaf worden kort punten aangereikt om het apparaat en eventuele achterliggende (pijp)systemen te optimaliseren.

Belangrijkste stappen om tot een optimaal uitgelegd pomp- of ventilatiesysteem te komen zijn:

Bestaand systeem

- Controleer of de pomp, ventilator op het juiste werkpunt draait, met de actuele opvoerhoogte(n) en debiet(en);
 - Meet hiertoe actuele opvoerhoogte(n), debiet(en), en bijhorende rendementen (lees af uit pompcurve).
 - Controleer of debiet en opvoerhoogte nog goed aansluiten op de achterliggende procesvraag (koelvermogen in de tijd).
 - Controleer of huidige pomp-, ventilator-karakteristieken nog passen bij de actuele procescondities.
 - Zeker bij parallelle pompen levert dit snel besparingen op.
 - Variabele bedrijf: pas het debiet en druk aan aan de vraag (vraagsturing)
- Beoordeel de efficiency van de pomp, ventilator of compressor en kies voor een zeer efficiënte uitvoering
 - Pompen: 5% tot 25% verbetering mogelijk door efficiëntere pomp;

- Ventilatoren: 2 tot 18% verbetering mogelijk door juiste dimensionering van de ventilator;
- Compressoren: 9% tot 18% verbetering mogelijk door juiste dimensionering van de compressor.

Nieuw systeem, of renovatie

- Ontwerp de installatie op effectieve procescondities (watergebruik, warmtevraag);
- Ontwerp de installatie op een minimale energieverliezen (korte leidingen met grote doorsnede, geen onnodige kleppen en bogen);
 - Ventilatie: minder weerstand: korte, grote, mogelijk ronde en (lek)dichte luchtleidingen, geen onnodige weerstanden van kleppen, vorm- en maatveranderingen, warmtewisselaars;
 - Minder lucht: precieze bepaling van het vereiste luchtdebiet, en de luchtcondities als koude, warmte en vochtigheid, vraagafhankelijke bedrijfsvoering (tijd per dag, geen gebruik zonder vraag).

Het is belangrijk om het leidingwerk van pomp- en ventilatiesystemen goed te onderhouden en schoon te maken. Vervuiling door corrosie, kalkafzetting en vuile deeltjes kunnen de drukverliezen en daarmee het energieverbruik verhogen. Preventieve reiniging of curatief, bijvoorbeeld op basis van een energieboekhouding die aangeeft wanneer de efficiëntie van het systeem omlaag gaat, is aan te raden.

Is er in een ruimte structureel een groot warmteoverschot dat afgevoerd moet worden, probeer dit dan niet met ventilatie op te lossen; dit vergt onverantwoord hoge debieten/hoog energieverbruik. Het is efficiënter om de warmtebronnen gericht te (water)koelen.

4.5. Onderhoud, bedrijfsvoering

Goed preventief onderhoud is de eerste stap naar efficiency. Een goede uitlijning van een elektromotor die een pomp aandrijft levert al snel 5% besparing op. Goede afdichtingen en optimale smering besparen nog eens enkele procenten. Nauwkeurig balanceren kan ook tot 5% rendementsverbetering opleveren, evenals het goed afregelen van de hydrauliek.

Tijdig vervangen van de lagers en afdichtingen tijdens geplande stops, zorgt voor minimaal risico op ongeplande stops, efficiënt bedrijf, en korte 'downtime' tijdens geplande stops.

De motoren hebben regulier groot onderhoud nodig: in principe moet elke drie tot vijf jaar de lagers worden vervangen.

In de aankoopprocedure kunnen IE3- of IE4-motoren als standaardis worden opgenomen in het bestek. De inkoopafdeling kan extra waarderingspunten toekennen aan offertes waarin energiezuinige aandrijfsystemen (met analyse onderbouwd) worden aangeboden.

4.6. Netkwaliteit, Cos φ -regeling

De Netcode bij de Elektriciteitswet 1998 stelt dat de momentane arbeidsfactor ($\cos \varphi$) voor een elektriciteitsgebruiker die aangesloten is op het landelijke elektriciteitsnet mag variëren tussen 0,85 na-ijlend en 1. Zodra de arbeidsfactor kleiner is dan 0,85 na-ijlend brengt de netbeheerder kosten in rekening voor het afgenomen blindvermogen.

Monitor daartoe de arbeidsfactor ($\cos \varphi$, Displacement Power Factor DPF). Zolang de $\cos \varphi$ boven de 0,85 blijft is $\cos \varphi$ -regeling niet nodig. Wees kritisch naar voorgespiegelde besparingen door \cos

φ -compensatie. Bedrijven die componenten voor decentrale compensatie leveren, prijzen $\cos \varphi$ -verbetering aan als middel om energie te besparen. Het blijkt echter moeilijk om de voorgespiegelde besparingen van 4% tot 6% te onderbouwen.

Toepassing van een frequentieregelaar verbetert de $\cos \varphi$ (DPF), maar door harmonische verstoringen (uitgedrukt in THD (Total Harmonic Distortion) kan de overall power factor⁶ verslechteren. Extra voorzieningen in de frequentieregelaar kunnen dit voorkomen/verbeteren.

5. Inventariseren van besparingsmogelijkheden

Met de wetenschap dat elektrische aandrijvingen 2/3 van het elektriciteitsverbruik van het bedrijf bepalen, en elektromotoren 95% van de levenscyclus kosten van de motor bepalen, is het de moeite waard om dit continu aandacht te geven. In deze paragraaf enkele stappen om dit vorm te geven.

Inventarisatie

Breng alle relevante data van de elektromotoren in kaart. Voer hiertoe een inventarisatie uit van alle motoren op de locatie, en registreer de volgende gegevens:

Elektromotor - aandrijfsysteem	gegevens
Algemene typering van systeem	Bijvoorbeeld: pomp koelwatersysteem, of aandrijving fan luchtbehandelingskast
Motorgegevens	Vermogen (kW), Bouwjaar, Rendement
Type overbrenging	Snaar, riem, tandwielkast, wormwiel of directdrive
Aangedreven apparaat	Pomp, compressor, ventilator, band, etc.
Bedrijfstijd	Uren/jaar, naar belasting (% nominaal)
Belasting, belastingpatroon	Load factor gemiddeld, en Per uur, dag, week: aantal wisselingen per tijdseenheid (inschakelduur en starts/stops)
Type regeling	Aan/uit, frequentieregeling, smoor, bypass, etc.
Mate van overdimensionering	Op basis van schatting of meting
Onderhoudschema/praktijk	Soort onderhoud en storingsfrequentie (> of < per 2 jaar)

Tabel 7 Inventarisatie aandrijfsystemen

Bij de opname kunnen de motorgegevens van typeplaatje worden overgenomen. En het type overbrenging, apparaat en regeling worden vastgesteld. Gegevens als belastingpatroon en reële bedrijfstijd en overdimensionering kunnen met metingen worden bepaald.

De motorenlijst biedt operators, engineers en managers toegang tot informatie over motoren die in kritische procestoepassingen draaien, de grootste verbruikers (vermogen en draaitijden), de oudste motoren, en motoren die de meeste storingen geven.

Analyses

Na de inventarisatie kan een eerste analyse worden uitgevoerd en een short list worden samengesteld van kansrijke systemen voor optimalisatie. Bijvoorbeeld op basis van verbruik, aan te passen regeling (stromingssystemen), leeftijd, etc.

⁶Power Factor: $= \frac{DPF}{\sqrt{1+THD^2}}$

Kansrijke opties kunnen worden uitgewerkt: door middel van metingen aan motor en apparaat, en analyses van het proces, de aandrijving en inpassing in de bedrijfsoperatie. Bij voldoende positief resultaat kunnen de nadere analyses tot een business case worden uitgewerkt. Zie de Brochure EEA voor een uitwerking.

Meerjarenplan - motormanagement

De analyses en cases kunnen tenslotte in een meerjaren plan worden opgenomen, zodat efficiënte aandrijving en lage total cost of ownership worden geborgd in de organisatie.

6. Links

RVO.nl – Quickscan Aandrijfsystemen

RVO.nl heeft een quickscan ontwikkeld waarmee alternatieven voor verbetering of vervanging van bestaande aandrijfsystemen doorgerekend kunnen worden: <http://edrivequickscan.allied.nl/>

EIA

Op RVO.nl is informatie over EIA te vinden: www.rvo.nl/energie-investeringsaftrek-eia

Motor Systems Tool

Een gebruiksvriendelijk en onafhankelijk tool is de Motor System Tool van het Deense Technologisk Institut die alle componenten van het aandrijfsysteem meeneemt. Door het invoeren van belasting, overbrenging, motor en belasting kan de efficiëntie het aandrijfsysteem doorgerekend worden. Aan het programma hangt een grote database met standaard componenten die gebruikt kunnen worden. Dit maakt het een ontzettend handig hulpmiddel bij het analyseren van de aandrijving. Kostenloos te down loaden via: www.motorsystems.org

Kennisnetwerk Efficiënte Elektrische Aandrijvingen

Het kennisnetwerk Efficiënte Elektrische Aandrijfsystemen (#KEEA) maakt praktische kennis toegankelijk en beschikbare technieken bekend bij beïnvloeders en beslissers bij eindgebruikers van aandrijfsystemen. Industriële bedrijven raken zo beter bekend met de beschikbare efficiëntere technieken voor elektrische aandrijfsystemen.

Het kennisnetwerk is een initiatief van RVO.nl, Uneto-VNI, FME – FEDA, Holland Pomp en Agro & Food cluster. Voor meer informatie zie www.keea.nl

Europese publicaties

Ecodesign studies en regelgeving:

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/ecodesign/index_en.htm

EU-publicaties, EU-Richtlijnen en EU-verordeningen:

<http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

U.S. Department of Energy, Advanced Manufacturing Office

Tools to Assess Your Energy System

- [MotorMaster+ International](#)
- [Motor Decisions MatterSM Resources](#)
- [Airmaster](#)

- [Fan system assessment tool](#)
- [Chilled water system analysis tool](#)
- [Pumping system assessment tool](#)

Scorecards and Simple Calculators

- [Notched V-Belts Calculator](#)
- [Variable Speed Drives \(VSD\) Calculator for Fans](#)
- [VSD Calculator for Pumps](#)