

## Verbetering van de energie-efficiëntie en betrouwbaarheid van koelwater- en persluchtutiliteiten in een procesinstallatie voor kunststofproductie

Bram Lenaerts

master IW energie

Martijn Vrolix

master IW energie

### Situering

- DSM Specialty Compounds - Genk
- Bedrijfsstrategie: 'Purpose-led, Performance-driven'
- Producent van hoogwaardige kunststofgranulaten

### Probleemstelling

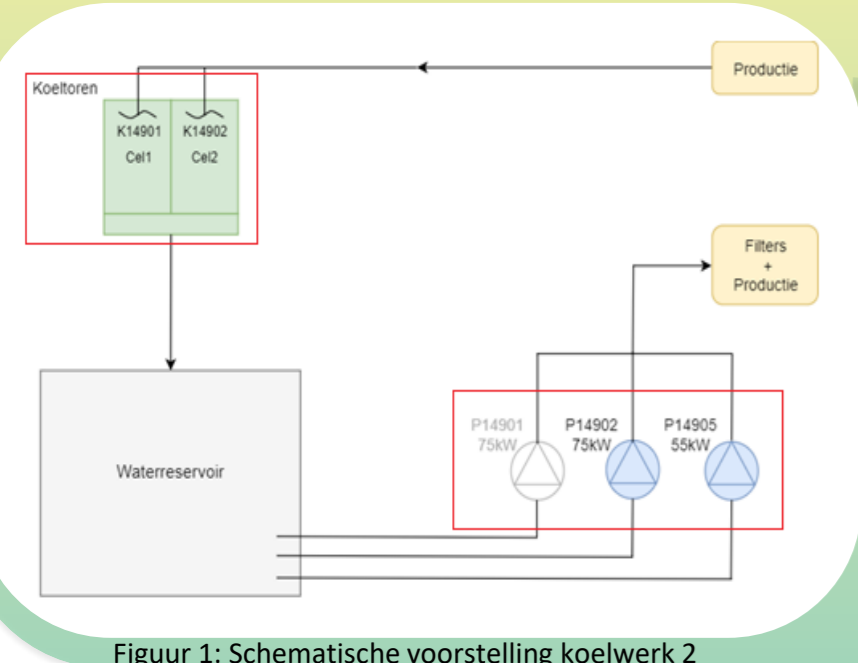
- Koelwater utiliteiten (koelwerk 2):**
- Verouderde componenten, niet mee geëvolueerd (bv. aanpassingen productiehal)
  - Inefficiënte regeling (manuele afsluiters, smoring)
  - Optimale beheersing niet gewaarborgd → onnodig hoog energieverbruik
- Perslucht utiliteiten (koelwerk 2):**
- Machinebeschikbaarheid van de persluchtcompressoren laag omwille van suboptimale koeling → ongeplande shutdowns

### Doelstelling

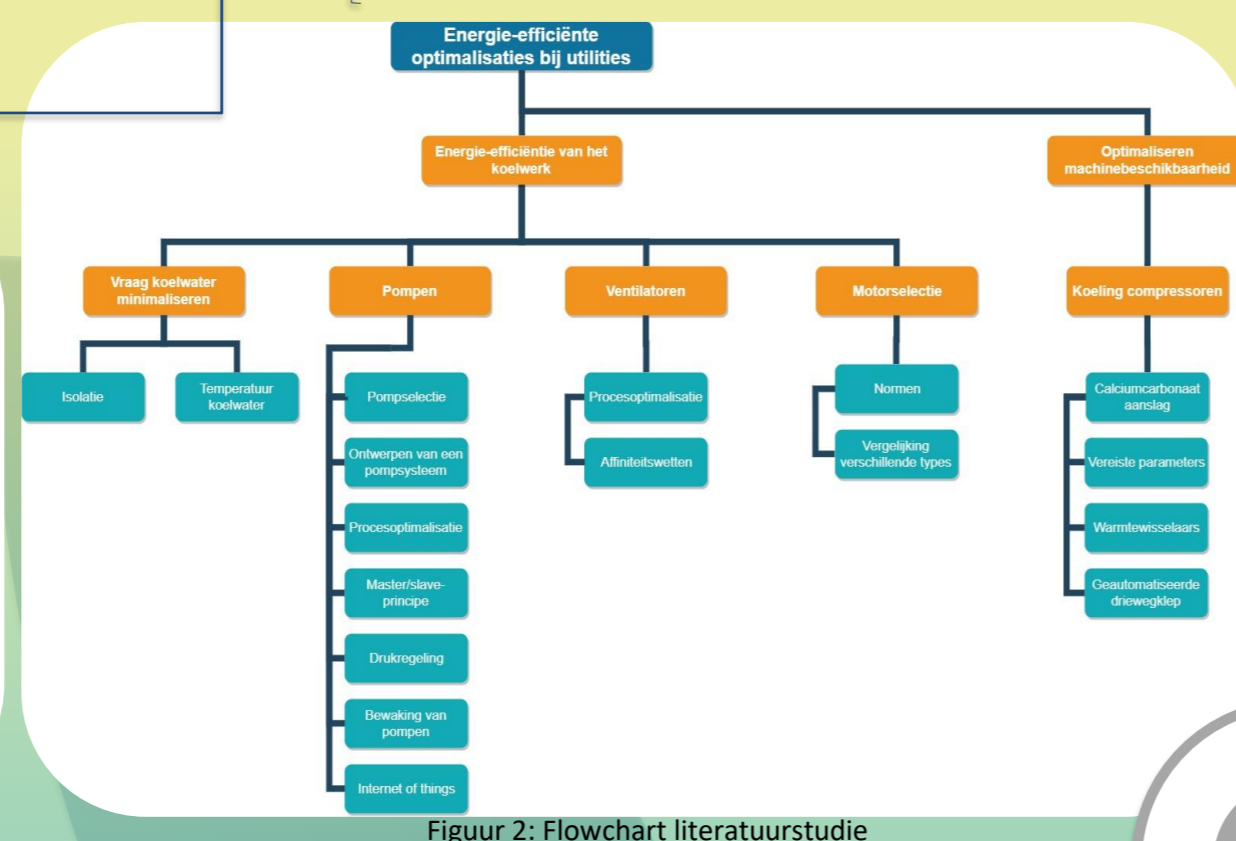
- Energie-efficiëntie van koelwaternetwerk verbeteren
- Machinebeschikbaarheid van de compressoren verhogen
- Technische uitwerking van verbeteropportunities
- Opstellen investeringsanalyse (max. terugverdientijd 3 jaar)

### De conceptstudie

- Analyse huidige toestand van koelwerk 2 (figuur 1)
- Literatuurstudie (figuur 2)
- Verschillende online metingen (debiet, vermogen, temperatuur,...)
- Detectie van mogelijke optimalisaties



- Variabele snelheidsaandrijvingen
- Hoogrendementsmotoren (SynRM)
- Secundair koelcircuit op onthard water
- Temperatuursverhoging koelwater



### De investeringsanalyse

**Koelwaterpompen:**  
 → **Energiekosten:**  $\epsilon = P_{el}(kW) * tijdsdeel(\#uren) * 0,086 \left(\frac{\epsilon}{kWh}\right)$   
 → €20810 winst/jr. t.o.v. referentie

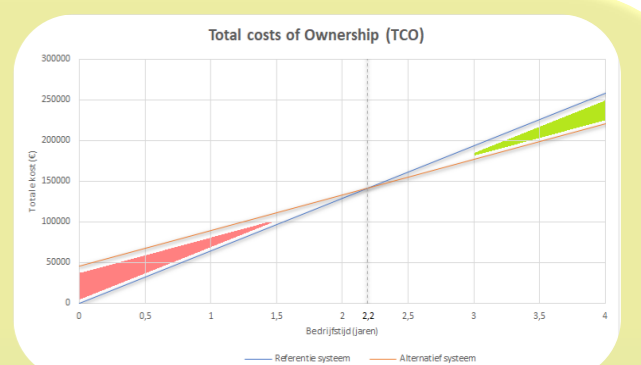
- Terugverdientijd = **2,2 jaar** (figuur 7)

#### Ventilatoren van koeltoren:

Warmteopname van koelwater is afhankelijk van de productie in de hal (varieert continu doorheen jaar).  
 - Rekening houdend met gemiddelde warmteopname en gemiddelde buitencondities geeft:

→ **Energiekosten:**  $\epsilon = P_{el,2motoren}(kW) * T_{1,a,wb}(\#uren) * \frac{0,086\epsilon}{kWh}$  → €11560 winst/jr. t.o.v. referentie  
 → **Waterverbruik:**  $\epsilon = m_{suppletie} \left(\frac{m^3}{h}\right) * T_{1,a,wb}(\#uren) * \frac{1,1\epsilon}{m^3}$  → €1216 winst/jr. t.o.v. referentie  
 - Terugverdientijd = **1,9 jaar** → €12776 totaal

**Secundair koelcircuit bij compressoren:** Uitval ten gevolge van een niet optimale koeling van de compressoren is te **reduceren naar nul** → echter wel: investerings-, ombouw (=€23365) en energiekost (=€606/jr.), maar verwaarloosbaar t.o.v. potentiële winst



### De praktische uitwerking (=2-delig)

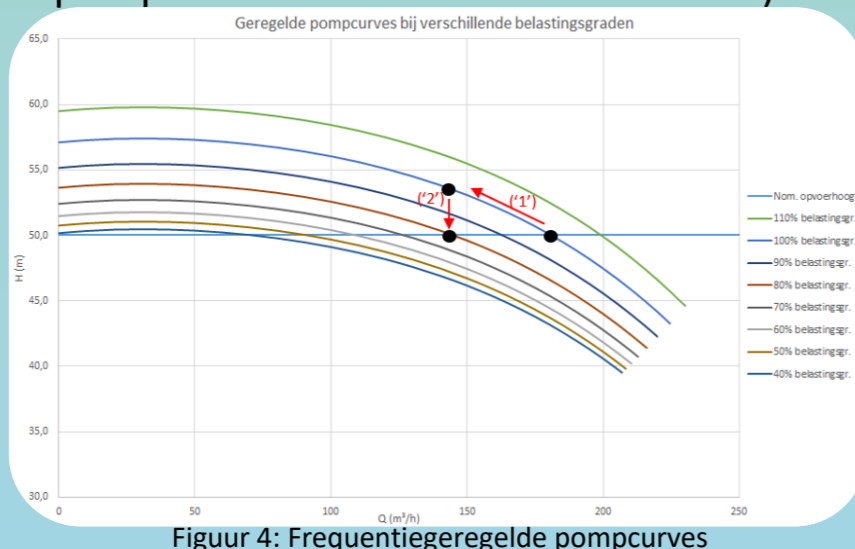
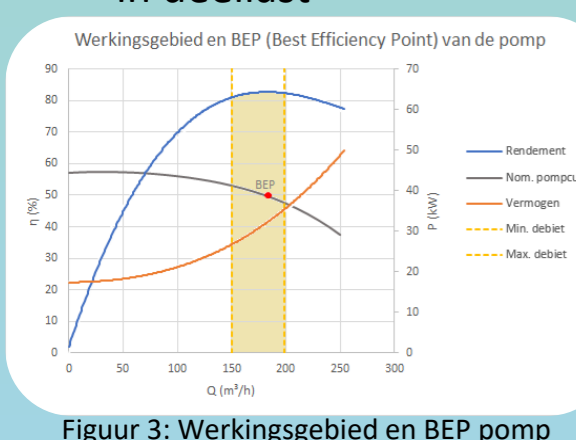
#### Koelwaterpompen:

1. Analyseren en definiëren van werkelijke bedrijfscurve
2. Vaststellen **werkingsgebied** afh. van de systeembehoeften i.f.v. vereist debiet (Q) en opvoerhoogte (H)  
 Polynoomregressie voor pompcurve:  $H_p(Q) = a_1 Q^2 + a_2 Q + H_{start}$   
 Debiet houdt rekening met temperatuursverhoging koelwater (25°C):  

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 * c_p * (T_1 - T_2)}{c_p * (T_1 - T_3)}$$

3. Pompselectie: KSB Etanorm 100-80-200
4. Bepaling van het **motorvermogen** (bij verschillende %belasting)  
 $P_{hydr} = Q * \Delta P$   
 $P_{as} = P_{hydr} / \eta_{pomp}$   
 $P_{motor} = P_{as} / (\eta_{motor} * \eta_{VFD})$   
 → nominaal: 37kW Supreme IE4 (SynRM) + pumpdrive
5. Energie-efficiënte regeling:

- **Frequentieregelde** pompcurves:  $H_{start} = H_p - a_1 Q^2 - a_2 Q$   
 → naargelang vereist debiet (werkingsgebied) (figuur 3)
- Bepaling van toerentallen, met bijhorende frequentie bij %belasting (figuur 4)
- **Synchrone aansturing** van pompen is meest efficiënt (met uitzondering wanneer één pomp het vereist debiet kan voorzien) → rendementverliezen in deellast

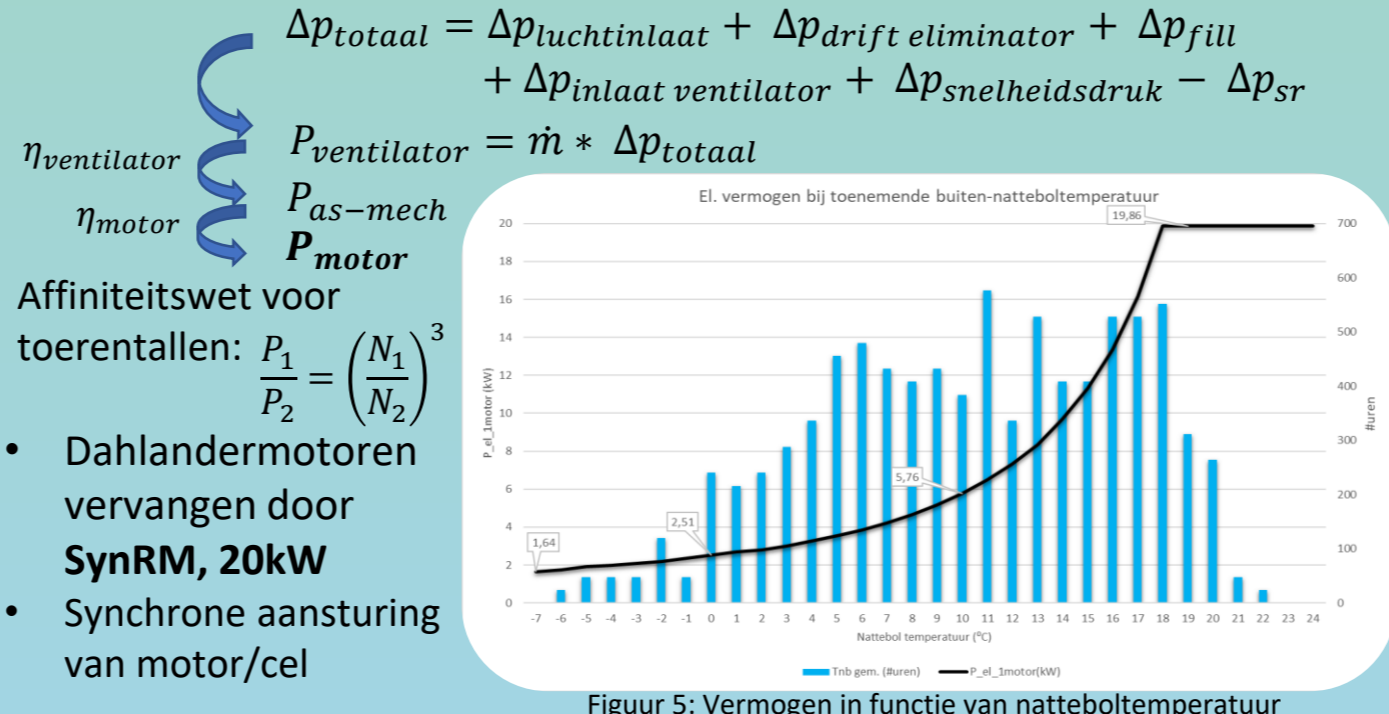


'Intelligente' samenwerking tussen pompen en koeltoren toont aan dat het ventilatorverbruik ondergeschikt is aan het pompverbruik → Meest energie-efficiënte regeling om warmte uit productie af te voeren ontstaat wanneer de koeltoren op vollast werkt en pompen op deellast

### ENERGIE-EFFICIENTIE KOELWATERNETWERK

#### Ventilatoren van koeltoren:

1. Water gekoeld door **warmte-uitwisseling met lucht**  
 → Bij variërende buitencondities luchtstroomvolumes en -massa's bepalen
2. **Massa- en energiebalansberekeningen** voor bepalen van:
  - Verdampings-, spulverliezen → suppletie-waterbehoeften
  - Massadebiet en volumestroom lucht
$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_3(h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1) - (x_2 - x_1)h_4} \quad \dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_a(x_2 - x_1) = m_{suppletie}$$
3. Berekening van de **drukval** doorheen koeltoren
  - $\Sigma$ drukverliezen (=nadelig):
    - luchtinlaat (ingangsverliezen)
    - koelpakket
    - drift eliminator (druppel afscheider)
    - inlaat ventilator
    - dynamisch drukverlies
$$\Delta p_{obstructie} = \frac{(k * v^2 * D)}{2}$$
4. **Vermogen** van de aandrijving (figuur 5)

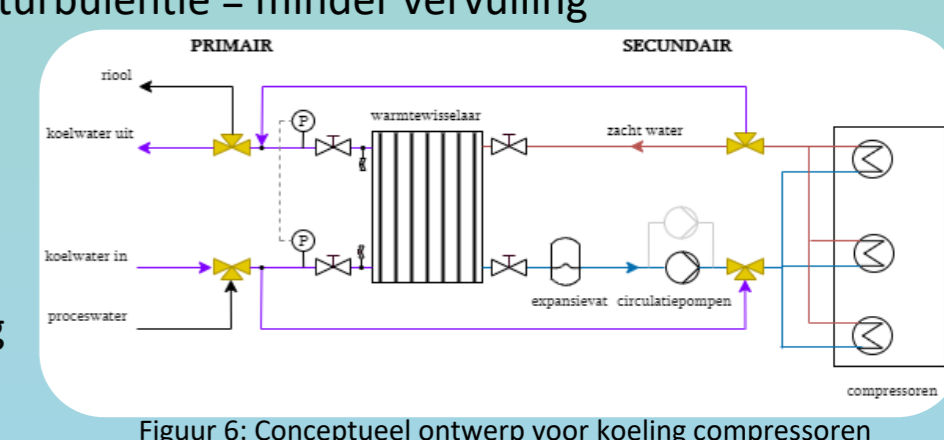


$\eta_{ventilator} = \frac{P_{ventilator}}{P_{as-mech}}$   
 $\eta_{motor} = \frac{P_{motor}}{P_{as-mech}}$   
 Affiniteitswet voor toerentallen:  $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$   
 • Dahlander motoren vervangen door **SynRM, 20kW**  
 • Synchrone aansturing van motor/cel

### MACHINEBESCHIKBAARHEID COMPRESSORPARK

#### Secundair koelcircuit: (figuur 6)

1. Specificaties:
  - Bij selectie **platenwarmtewisselaar** volgende parameters van belang
    - Warmtestroom
    - Ingangs- en uitgangstemperaturen beide zijden
    - Max. werkdruk, toelaatbare drukval beide zijden
    - Max. werktemperatuur
    - Debiet beide zijden
  - Specificaties van warmtewisselaars in **compressoren**
  - Temperatuurtraject
2. Bepaling warmtestroom en **primaire massadebiet**:  
 $\dot{Q}_s = \dot{Q}_p$   
 $\dot{Q}_s = \dot{m}_s * c_p * \Delta T_s = \dot{Q}_p \rightarrow \dot{m}_p = \frac{\dot{Q}_p}{c_p * \Delta T_p}$
3. Bepaling warmtewisselend oppervlak van warmtewisselaar:
  - Warmteoverdrachtscoëfficiënt:
    - convectie
    - conductie
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$
  - Tegenstroomtype
  - Warmtewisselend oppervlak:
    - $\dot{Q}_s = U * A * \Delta T_m \rightarrow A = \frac{\dot{Q}_s}{U * \Delta T_m}$
4. Platenwarmtewisselaar van Alfa Laval T6-PFG  
 → ↑ schuifspanning, turbulentie = minder vervuiling
5. Circulatiepomp: Grundfos Magna3
6. Expansievat: 8 liter
7. **3-wegkogelkraan** DN80/DN50 met elektrische aandrijving (24VDC)



Reiniging van warmtewisselaar d.m.v. ontkalker → **bypass** bij onderhoud  
 Proceswater als **noodvoeding** bij wegvallen van koelwater

### Conclusie

Door implementatie van variabele snelheidsaandrijvingen in combinatie met hoogrendementsmotoren bij zowel de koelwaterpompen, als de ventilatoren van de koeltoren is een **drastische energiereductie** mogelijk. Elk van deze projecten heeft een **terugverdientijd minder dan 3 jaar**. Door het inbouwen van een externe warmtewisselaar op onthard water in combinatie met geautomatiseerde driewegkleppen, drukmetingen en een bypass zal ook uitval van de compressoren omwille van inadequate koeling **vermeden** worden.

Promotoren / Copromotoren: ir. Frederik Rogiers – KULeuven / UHasselt  
 ing. Yves van Reempts – DSM Specialty Compounds