

Informatieblad

Faciliteiten

t.b.v. energie in de milieuvergunning
voor niet MJA-inrichtingen

Faciliteiten

A large, white, curved shape that starts from the left edge and curves upwards and then downwards, resembling a stylized wave or a large letter 'C'. It is set against a solid grey background.

Op het gebied van energie in de milieuvergunning heeft InfoMil de volgende publicaties:

- *Circulaire Energie in de Milieuvergunning*, VROM/EZ oktober 1999
- E3 *Informatieblad Gebouwen*, januari 1996
- E4 *Informatieblad Faciliteiten*, januari 1996 (vervallen)
- E5 *Informatieblad Kunststofverwerkende industrie*, september 1996
- E6 *Informatieblad Glastuinbouw*, september 1996
- E7 *Informatieblad Vleesindustrie*, november 1996
- E8 *Informatieblad Mengvoederindustrie*, november 1996
- E9 *Informatieblad Veehouderijen*, november 1997
- E10 *Informatieblad Broodbakkerijen*, november 1997
- E11 *Informatieblad Rioolwaterzuiveringsinrichtingen*, november 1997

Inhoud

1 Inleiding 4

- 1.1 Achtergrond en doel 4
- 1.2 Begripsbepalingen 4
- 1.3 Gebruik van het informatieblad 4
- 1.4 Strategie bij energiebesparing 5
- 1.5 Opbouw en status 5
- 1.6 Literatuur bij dit hoofdstuk 6

2 Faciliteiten en energiebesparing 7

- 2.1 Koel- en vriesinstallaties 7
- 2.2 Stoomvoorziening 13
- 2.3 Perslucht 18
- 2.4 Vacuümsystemen 23
- 2.5 Emissiebeperkende technieken lucht 27
- 2.6 Waterzuiveringstechnieken 31
- 2.7 Drogen en ontwateren 35
- 2.8 Pompen en aandrijvingen 36
- 2.9 Restwarmtebenutting en integratie van warmte- en koudestromen 41

3 Vragenlijsten 45

- 3.1 Vragenlijst koelinstallatie 45
- 3.2 Vragenlijst stoom 47
- 3.3 Vragenlijst perslucht 48
- 3.4 Vragenlijst vacuüm 49
- 3.5 Vragenlijst biologische waterzuivering 50
- 3.6 Vragenlijst pompen en aandrijvingen 51
- 3.7 Inventarisatie potentieel voor restwarmtebenutting 48

Bijlagen

- 1 literatuurreferenties 53
- 2 Lange-termijnopslag in de bodem 54
- 3 Definities 55

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel

Het informatieblad faciliteiten maakt deel uit van een reeks informatiebladen die is ontwikkeld ter ondersteuning van het bevoegd gezag bij het opnemen van het aspect energie in de milieuvergunning. Deze informatiebladen vormen een aanvulling op de Circulaire Energie in de milieuvergunning van de ministeries van VROM en EZ (8). Dit informatieblad beschrijft de stand der techniek voor energiebesparing bij diverse veel voorkomende faciliteiten. De nadruk ligt hierbij op technische maatregelen. Met behulp van onderstaande informatie kan de vergunningverlener vaststellen of in een bepaalde bedrijfssituatie de stand der techniek wordt toegepast en zo niet, of het redelijk is deze te vragen.

Dit informatieblad is een actualisering van een informatieblad dat in januari 1996 is verschenen.

In het vooroverleg moet worden geprobeerd zoveel mogelijk inzicht te krijgen in mogelijkheden voor energiebesparing. Vervolgens moet worden geprobeerd overeenstemming te bereiken over de maatregelen die aan de inrichting genomen gaan worden. Geadviseerd wordt hierbij zoveel mogelijk aan te sluiten bij de initiatieven van de bedrijfsleiding. Zo worden eigen verantwoordelijkheid en zelfwerkzaamheid bevorderd.

1.2 Begripsbepalingen

Onder faciliteiten worden in dit blad voorzieningen verstaan die ondersteunend zijn voor productieprocessen. Dit blad concentreert zich daarbij op energie-intensieve voorzieningen die breed worden toegepast. Het blad richt zich niet op toepassingen of maatregelen die specifiek zijn voor een bepaalde bedrijfstak.

Deze invulling betekent een verbreding ten opzichte van de vorige versie van het informatieblad. Door de beleidswijziging die zich sinds de vorige versie heeft voltrokken, neergelegd in bovengenoemde circulaire, is het onderscheid tussen proces en faciliteit minder strikt geworden.

In bijlage 3 staat van een aantal begrippen de definitie. De in dit blad genoemde besparingspercentages en terugverdientijden van energiebesparende maatregelen zijn indicatief en gelden voor gemiddelde situaties. Er wordt geen rekening gehouden met specifieke omstandigheden bij bedrijven, zoals aanpassing van bouwkundige voorzieningen, vervroegde afschrijving etc. Bij de berekening van de indicatieve terugverdientijden zijn de energieprijzen van 1999 aangehouden en eventuele subsidies zijn buiten beschouwing gelaten. Bij de berekening van de terugverdientijd voor een specifieke situatie moet worden uitgegaan van de definitie (zie bijlage 3).

In dit informatieblad zijn de maatregelen onderverdeeld in drie categorieën: Stand der techniek, aandachtspunten en good housekeeping.

Indien voor een maatregel in een gemiddelde situatie de terugverdientijd 5 jaar of minder kan bedragen, is de maatregel als 'stand der techniek' opgenomen. Voor zover mogelijk zijn daarbij tevens de criteria aangegeven, waaronder de maatregel in gemiddelde situaties aan deze terugverdientijd voldoet. Let wel: in de specifieke omstandigheden van een bedrijf kan de terugverdientijd anders zijn.

Energiebesparende maatregelen die minder vaak van toepassing zijn of minder concreet zijn, zijn niet als stand der techniek aangegeven, maar als 'aandachtspunten'.

Good housekeeping maatregelen zijn gedragsafhankelijk en vergen over het algemeen een geringe investering. De terugverdientijd is daarbij vaak kort. In een aantal gevallen kan men hieraan geen vergunningvoorschriften verbinden vanwege de slechte handhaafbaarheid.

1.3 Gebruik van het informatieblad

Dit blad kan worden gebruikt bij niet-MJA-bedrijven waar de relevante technieken voorkomen. Het is niet zo dat aandacht voor de betreffende faciliteit altijd zinvol is. Uit analyse van het energieverbruik van de inrichting moet blijken of het aandeel van de betreffende faciliteit in het totale energiegebruik zodanig is dat speciale aandacht gerechtvaardigd is. De Circulaire geeft aan hoe deze analyse eruit kan zien. Daarnaast moet ook gekeken worden of er een besparingspotentieel is. Hiervoor zijn de vragenlijsten in hoofdstuk 3 bedoeld.

De analyse van het energieverbruik en de vragenlijsten zijn bedoeld voor de vergunningaanvraag. Als deze gegevens bij de aanvraag ontbreken is het beoordelen van de redelijkheid van de maatregelen niet mogelijk. Om die reden is het van belang dat het bedrijf de vragenlijsten zo vroeg mogelijk in bezit heeft, bijvoorbeeld voor het vooroverleg. Tijdens het vooroverleg kan de vergunningverlener de lijsten zo nodig nader toelichten.

In enkele gevallen is het doel van de vragenlijsten niet zozeer om te beoordelen of de stand der techniek wordt toegepast, maar om te bepalen of een gericht nader onderzoek zinvol zou kunnen zijn, bijvoorbeeld naar mogelijkheden van restwarmtebenutting. Dit onderzoek kan het beste in het vooroverleg besproken worden. Als daaruit blijkt dat een onderzoek inderdaad zinvol is, kan het in de voorschriften worden opgenomen.

Uit de ingevulde vragenlijsten blijkt of de stand der techniek reeds toegepast wordt en welke maatregelen zinvol zouden kunnen zijn in het bedrijf. Voor de redelijkheidstoets is een overzicht nodig van de kosten en opbrengsten van deze maatregelen. Bij voorkeur wordt dit overzicht bij de aanvraag gevoegd, maar omdat hiervoor door het bedrijf informatie moet worden ingewonnen, bijvoorbeeld via een offerte, is dit vaak niet haalbaar. Op basis van het overzicht wordt een bedrijfsenergieplan opgesteld waarin van de redelijke maatregelen wordt opgegeven wanneer ze worden uitgevoerd. De Circulaire geeft een model hiervoor. Als het overzicht van kosten en opbrengsten en het bedrijfsenergieplan niet bij de aanvraag kunnen worden overgelegd kan het opstellen hiervan via een onderzoeksvoorschrift in de vergunning opgenomen worden.

De vergunningverlener moet een bedrijfsenergieplan zelf beoordelen, waarbij dit informatieblad als toetsingskader kan worden gebruikt. Bij deze afweging speelt de terugverdientijd een belangrijke rol. De berekening hiervan gaat uit van het (meer)investeringsbedrag (na aftrek van eventuele subsidies) en de jaarlijkse opbrengst ten gevolge van de energie die wordt bespaard en andere besparingen (zie definitie). Bij deze berekening wordt geen rekening gehouden met kosten van het (vervroegd) uit bedrijf nemen van een installatie of met rentekosten. Een advies over de te hanteren terugverdientijd is gegeven in de Circulaire Energie in de milieuvergunning. Daar wordt uitgegaan van een terugverdientijd tot en met 5 jaar.

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen nieuwe en bestaande situaties. Met name voor nieuwe situaties, waaronder ook uitbreidingen, dient de stand der techniek te worden toegepast. In bestaande situaties blijkt vaak dat iedere situatie anders is. Afschrijvingstermijnen van bestaande installaties en investeringsplannen van het bedrijf spelen een grote rol. De gehanteerde afschrijvingstermijnen kunnen per installatie verschillen.

Geadviseerd wordt bij de fasering van maatregelen in de vergunning zoveel mogelijk aan te sluiten bij natuurlijke momenten waarop binnen een inrichting veranderingen plaatsvinden.

Samengevat: iedere situatie moet afzonderlijk worden beoordeeld. De informatie in dit blad is niet specifiek genoeg voor een beoordeling van individuele bedrijfs-situaties. Maatregelen kunnen niet uitsluitend op basis van dit blad worden voorgeschreven. Op inrichting-niveau dienen in geval van twijfel de kosten en opbrengsten per relevante maatregel te worden bepaald. Pas dan kan een alara-afweging worden gemaakt.

1.4 Strategie bij energiebesparing

In de strategie bij energiebesparing is de volgende prioriteitsvolgorde voor de technische maatregelen opgenomen:

- 1 Vermindering van de energiebehoefte;
- 2 Hergebruik van energie;
- 3 Verbetering van de energieomzetting.

Vermindering van de energiebehoefte

Het gaat hierbij om een zodanige aanpassing, dat het energieverbruik zo laag mogelijk is. Zo kan het energieverbruik van een stoomnetwerk worden verlaagd door stoomleidingen en appendages goed te isoleren.

Hergebruik van energie

Door hergebruik van energie wordt de hoeveelheid afvalenergie verminderd en neemt het energieverbruik af. Een voorbeeld hiervan is gebruik van de warmte die vrijkomt bij een persluchtcompressor voor ruimteverwarming.

Verbetering van de energieomzetting

Nadat de energiebehoefte en het hergebruik zijn geoptimaliseerd, wordt bepaald welke energie-omzetter in het specifieke geval het meest energiezuinig is, of met energiezuinige technieken kan worden aangepast. Een voorbeeld hiervan is warmtekrachtkoppeling bij stoomopwekking.

Naast het toepassen van bovengenoemde technische maatregelen is een goede organisatorische inbedding van de zorg voor een zuinig energieverbruik (energiezorg) een belangrijke voorwaarde om tot energiebesparing te komen. Novem heeft een energiezorgsysteem ontwikkeld waarmee bedrijven op een structurele en economisch verantwoorde wijze hun energieverbruik kunnen minimaliseren. Energiezorg omvat maatregelen op het gebied van organisatie, techniek en gedrag. Het systeem omvat de organisatorische structuur, afspraken over taken en verantwoordelijkheden en procedures, processen en voorzieningen voor het uitvoeren van energiezorg. Hiervoor bestaat een keur aan instrumenten, variërend van praktijkvoorbeelden en checklists tot rekenmodellen en voorbeeldrapporten. Novem zal deze informatie eind 1999 via haar internetsite www.novem.nl toegankelijk maken. Dit zogeheten Energiekabinet is zo ontworpen dat iedere organisatie uit de laden die instrumenten kan kiezen die haar het beste passen. Meer informatie over energiezorg is te verkrijgen bij Novem (17). In dit informatieblad wordt niet verder op dit onderwerp ingegaan. Er wordt wel ingegaan op de meest relevante good housekeeping maatregelen.

Bij de algemene strategie geldt verder dat uitvoering van een bepaalde maatregel de technische en economische haalbaarheid van andere maatregelen beïnvloedt. Het uitvoeren van een maatregel heeft een verlaging van het energieverbruik tot gevolg, waardoor de energiebesparing van de volgende maatregel minder kan worden. De volgorde waarin maatregelen worden uitgevoerd is derhalve van groot belang.

1.5 Opbouw en status

In hoofdstuk 2 wordt voor een aantal veelvoorkomende voorzieningen de stand der techniek met betrekking tot energiebesparing beschreven, alsmede een beknopte toelichting op de maatregelen. Verder wordt een overzicht gegeven van aandachtspunten en relevante good housekeeping maatregelen. Het laatste deel van hoofdstuk 2 (2.9) behandelt een algemene benadering die gevolgd kan worden om vast te stellen of er bij een bedrijf sprake is van een potentieel voor restwarmtebenutting.

Dit informatieblad is samengesteld door het Informatiecentrum Milieuvergunningen (InfoMil), met commentaar van Novem en betrokken uit het bedrijfsleven, gemeentes en provincies en het RIZA. Vervolgens is het blad becommentarieerd door de Werkgroep Energie in de Milieuvergunning (WEM), een ambtelijk orgaan waarin de ministeries van EZ en VROM, de Inspectie Milieuhygiëne, het IPO, de VNG, VNO/NCW en InfoMil vertegenwoordigd zijn.

Het blad is informerend en adviserend en heeft niet de status van een richtlijn. Het informatieblad dient in combinatie met de Circulaire Energie in de Milieuvergunning gebruikt te worden.

Indien nodig wordt het blad na verloop van tijd aangepast, op basis van praktijkervaring en/of door ontwikkelingen in de stand der techniek.

2 Faciliteiten en energiebesparing

2.1 Koel- en vriesinstallaties

2.1.1 Inleiding

Een koelinstallatie onttrekt warmte aan een te koelen product of ruimte en geeft deze warmte elders weer af. Afhankelijk van het gebruiksdoel wordt er gesproken over:

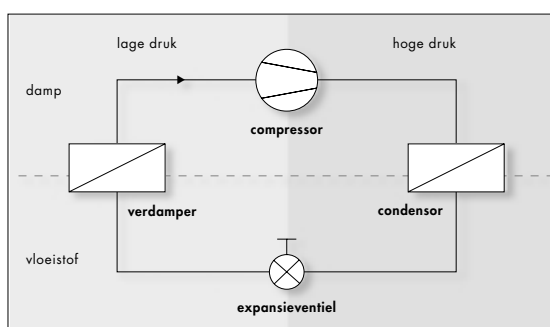
- klimaatkoeling, (10°C tot 20°C)
- koelcelkoeling (0°C tot 10°C)
- vriescelkoeling (-40°C tot 0°C)

2.1.2 Werking en energie-efficiëntie

Werking koelproces

Een koelinstallatie bestaat uit 4 onderdelen:

- **Verdamper**
Onttrekt warmte aan het te koelen product onder verdamping van het koudemiddel.
- **Compressor**
Brenge het koudemiddel onder hogere druk en daarmee op een hogere temperatuur. De compressor kan op diverse plekken staan. Vaak staat de compressor in een aparte ruimte opgesteld.
- **Condensor**
Geeft onder condensatie van het koudemiddel warmte af aan een ander medium (meestal aan de buitenlucht)
- **Expansieventiel**
Verlaagt druk en temperatuur van het koudemiddel. Hierdoor koelt het koudemiddel af en kan warmte opgenomen worden. Het expansieventiel zit meestal in de omkasting van de verdamper.



Figuur 1: schema koelinstallatie

Deze onderdelen vormen een gesloten circuit. Het dampvormig koudemiddel wordt samengeperst in de compressor. Hierdoor stijgen druk en temperatuur van de damp. In de condensor geeft het koudemiddel zijn warmte af aan een ander medium (meestal lucht, soms water). Hierbij condenseert het koudemiddel (van damp naar vloeistof). Het koudemiddel is dan nog steeds onder druk. In het expansieventiel wordt vervolgens de druk van de vloeistof verlaagd. Onmiddellijk

na het expansieventiel bevindt zich de verdamper. In de verdamper gaat de koelvloeistof weer over van vloeistof naar damp. Hierbij wordt warmte onttrokken aan het te koelen product (of ruimte). Vervolgens stroomt het koudemiddel (in dampvorm) naar de compressor. Hier begint de koelcyclus opnieuw.

Energie efficiency

De hoeveelheid opgenomen warmte wordt afgezet tegen de hiervoor benodigde aandrijfenergie. Deze verhouding wordt koudefactor of COP (Coefficient Of Performance) genoemd. Hoe hoger de koudefactor hoe hoger de energie-efficiency. Hierin wordt alleen de prestatie van de compressor beoordeeld. Een koelcompressor die 100 kW_e (= kW_{elektrisch}) gebruikt kan bij een koudefactor van 2,5 ongeveer 250 kW_{th} (= kW_{thermisch}) wegkoelen. De koudefactor varieert tussen 1,5 en 3,5.

De koudefactor wordt voor een belangrijk deel bepaald door de temperatuur (of druk) in de verdamper en de condensor. Wanneer de condensortemperatuur zo laag mogelijk is en de verdampertemperatuur zo hoog mogelijk wordt de hoogste koudefactor gerealiseerd. Voor een goede werking van het koelproces is een zeker verschil tussen verdampingstemperatuur en de gewenste koel- of vriestemperatuur noodzakelijk, maar een te groot verschil is energetisch gezien ongunstig. Als vuistregel geldt dat verlagings van de condensortemperatuur een besparing van ca. 2% per graad oplevert. Een verhoging van de verdampertemperatuur levert een besparing van ca. 1% per graad.

Een lage condensortemperatuur of -druk betekent dat het verschil in temperatuur tussen de condensor en het medium dat de warmte moet opnemen (meestal lucht) klein is en er dus moeilijk warmte aan het medium kan worden afgegeven. Een hogere verdampertemperatuur betekent dat er niet zulke lage koel- of vriestemperaturen bereikt kunnen worden. Een temperatuurverschil van circa 7 graden tussen de gewenste temperatuur en de verdampingstemperatuur van het koudemiddel is ideaal.

Bij ruimtekoeling heeft de verdampertemperatuur invloed op de luchtvochtigheid in de ruimte. Verhoging van de verdampertemperatuur betekent minder condensvorming op de verdamper, en daardoor een hogere relatieve luchtvochtigheid. Bij opslagruimtes (bv. fruit in koelcellen) moet hiermee rekening worden gehouden.

2.1.3 Waar moet je beginnen

Hieronder worden maatregelen gegeven in drie groepen.

De eerste groep zijn maatregelen die vrijwel altijd uitgevoerd kunnen worden zonder investering. Dit zijn overwegend good housekeeping maatregelen. De tweede groep zijn ingrijpendere maatregelen. Geadviseerd wordt naar de haalbaarheid van deze maatregelen te kijken als uit analyse van het energiegebruik is gebleken dat de koelinstallatie een belangrijke verbruiker is. De derde groep tenslotte zijn maatregelen die alleen zinvol zijn bij nieuwbouw of renovatie van het hele systeem.

Bij het uitvoeren van maatregelen is het raadzaam onderstaande volgorde aan te houden.

- 1 Minimaliseer de koudevraag (bv. door verbeterde isolatie van een koelcel)
- 2 Kijk naar mogelijkheden voor warmteterugwinning (bv. door plaatsing van een persgasboiler)
- 3 Verhoog het rendement van koude-opwekking (bv. door frequentieregeling op de compressor)

Tabel 1 Maatregelen die vrijwel altijd uitvoerbaar zijn

Omschrijving	Toepassingscriterium	Indicatie tvt
K1 Warmtebronnen in te koelen ruimtes minimaliseren of verwijderen	Losse elektriciteitsverbruikers in koelruimte Onnodig aanstaan elektriciteitsverbruikers	< 1
K14 Verlagen condensator-temperatuur	Warmte-afgifte aan buitenlucht of andere lucht met wisselende temperatuur	< 1
K15 Verhogen verdampertemperatuur	Afhankelijk van te koelen product en de grootte van het verdampersoppervlak	< 1
K16 Schoonhouden condensors	Altijd	< 1
K17 Ontdoicyclus optimaliseren	Gelijkmatige koelbelasting	< 1
K18 Verbeteren kierdichting	Bij slecht sluitende deuren	< 1
K19 Warmteafgifte condensor verbeteren	Als condensor niet vrij staat	< 1

Tabel 2 Maatregelen bij uitgebreide aandacht

Omschrijving	Toepassingscriterium	Indicatie tvt
Stand der techniek		
K2 Beperking deurverliezen	Regelmatig transport tussen gekoelde en niet gekoelde ruimten	2-10
K3 Te koelen ruimte verkleinen	Als te koelen ruimte regelmatig slechts gedeeltelijk gebruikt wordt	Zie tekst
K4 Beter isoleren	Bij bestaand: verslechterde isolatie Bij nieuwbouw of renovatie: altijd	1-3
K5 Uitschakelen verdampersventilatoren bij uitschakelen compressor	In vriescellen, als er geen negatieve gevolgen voor het product zijn	4-5
K6 Koppeling condensors bij deellast	Meerdere compressoren die regelmatig worden afgeschakeld	2-5
K7 Automatische ontluftung	Verdampersdruk < 1 bar	2-5

Tabel 3 Maatregelen bij nieuwbouw of renovatie

Omschrijving	Toepassingscriterium	Indicatie tvt
Stand der techniek		
K8 Warmteterugwinning/persgasboiler	Warmtebehoefte aanwezig	3-6
K9 Condensordrukregeling	Bij warmte-afgifte aan buitenlucht	2
K10 Vertraagd inschakelen compressoren	Bij vriescellen als compressoren < 15 minuten draaien door openen deuren; temperatuurtolerant product	1-2
K11 Frequentieregeling compressor	Bij vervanging van compressor die regelmatig op deellast draait; vooral rendabel bij meerdere compressoren	2-4
K12 HR of 2-toeren ventilatormotor	Bij vervanging ventilatormotor	1-5
K13 Lange-termijnopslag in de bodem	Koelbehoefte > 500 kW bij circa 10°C en minimaal 1000 gebruiksuren	4-6
Aandachtspunten		
K20 Koel- en vriescellen op temperatuur groeperen	Meerdere cellen met verschillende temperaturen	Zie tekst
K21 Gekoelde voorruimte	Vriescellen waarvan de deur regelmatig gebruikt wordt	5-10
K22 Elektronisch expansieventiel	Koelcellen met verdampingsgevoelige producten	5-6
K23 Heetgasontdooiing		
K24 Windgekoelde condensor	Voldoende ruimte en veel bedrijfsuren	
K25 Gebruik restwarmte	Voldoende restwarmte aanwezig	

2.1.4 Overige milieu-aspecten koelinstallaties

Milieu-effecten van koudemiddelen

Op het gebruik van koudemiddelen zijn een aantal regels van toepassing.

Voor het gebruik van CFK's en HCFC's in koelinstallaties gelden de regels van het CFK-besluit. Dit houdt in dat er een verbod op of beperking aan het gebruik in nieuwe installaties geldt, en dat voor bestaande installaties geldt dat alleen een STEK-erkend installateur er onderhoud aan mag verrichten en dat de Regeling lekdichtheitsvoorschriften Koelinstallaties van toepassing is. De regels voor bestaande installaties gelden ook voor het gebruik van HFK's als koudemiddel.

Overschakeling van CFK's op een ander type koudemiddel kan leiden tot een afname van de energie-efficiency van de installatie. Regelmatige controle op lekdichtheid en onderhoud is gunstig voor de energie-efficiency van de installatie.

Bij gebruik van ammoniak als koudemiddel geldt CPR-richtlijn 13-2 Ammoniak – Toepassing als koudemiddel voor koelinstallaties en warmtepompen (1).

Geluidsproductie

De compressor van een koelinstallatie is een geluidbron. Maatregelen die zorgen voor een efficiënter gebruik van de koelinstallatie zullen ook de geluidsproductie enigszins terugdringen, omdat daardoor de compressor minder hoeft te draaien.

2.1.5 Maatregelen

Stand der techniek

K1 Warmtebronnen in te koelen ruimtes minimaliseren of verwijderen

Stand der techniek / Good housekeeping, minimaliseren koudevraag

Alle elektriciteit die in een koelcel of geklimatiseerde ruimte verbruikt wordt, wordt uiteindelijk warmte. Losse elektriciteitsverbruikende apparaten moeten indien mogelijk worden verwijderd. Het verbruik van verlichting, ventilatoren en andere elektriciteitsverbruikers in koel- of vriescellen moet minimaal zijn. Onnodig aanstaan moet worden voorkomen, bijvoorbeeld door een automatische schakeling. Bij vervanging van verlichting en ventilatoren moet een zo hoog mogelijk rendement worden gekozen.

De kosten van het verwijderen van losse apparaten zijn nihil. De kosten van automatische schakeling zijn vrij gering (eenvoudige aanwezigheidsdetectie kost ca. f 75,-) en bespaart op het verbruik van het apparaat zelf en ook op het verbruik van de koelinstallatie. De (meer)investering voor een verhoogd rendement is sterk apparaatafhankelijk. Voorbeeld: in een koelcel met een koudefactor 3 is in totaal 200 W aan verlichting geïnstalleerd. Gemiddeld één keer per week wordt het licht vergeeten en blijft het de hele nacht (10 uur) doorbranden. Per jaar geeft dit een extra verbruik van ca. 100 kWh (f 15,-). Om deze extra warmte weg te koelen verbruikt de koelinstallatie 33 kWh (f 5,-). Aanwezigheidsdetectie bespaart dus per jaar in totaal 133 kWh en verdient zich door het gecombineerd effect in 3¼ in plaats van 5 jaar terug.

K2 Beperking deurverliezen

Stand der techniek, minimaliseren koudevraag

Deurverliezen bij koel- en vriescellen hangen samen met de afdichting, de grootte van de deuropening en de frequentie, tijdsduur en snelheid waarmee de deuren openen en sluiten. Deurverliezen kunnen oplopen tot 10 à 30%. Mogelijkheden voor beperking zijn:

- verkleinen van de deuropeningen. Niet meer de vorkheftruck door de deur, maar alleen het product (via een transportband);
 - automatisch systeem voor het sluiten van de deuren;
 - stroken gordijnen;
 - snelsluitdeuren;
 - sluisen;
 - dockshelters;
 - aanbrengen luchtgordijn.
- Besparing is afhankelijk van het huidige gedrag, het temperatuurverschil binnen en buiten de cel. Kosten tussen f 3.000,- en f 10.000,-. Te verwachten terugverdientijd tussen 2 en 10 jaar. Deze maatregel is vooral toepasbaar als er regelmatig transport plaatsvindt tussen gekoelde en niet gekoelde ruimten. Sommige voorzieningen zijn alleen haalbaar bij nieuwbouw of renovatie.

K3 Te koelen ruimte verkleinen

Stand der techniek, minimaliseren koudevraag

Door variaties in het productieproces kan het voorkomen dat koel- en vriesruimten slechts ten dele zijn gevuld met producten. Door het plaatsen van een tussenwand (bijv. een plasticscherf of paneel) kan de grootte van de te koelen ruimte verkleind worden. De kosten zijn gering. De besparingen kunnen oplopen tot 25% van het totale elektriciteitsverbruik van die cel.

K4 Beter isoleren

Stand der techniek, minimaliseren koudevraag

Het energieverbruik van een koel- of vriescel wordt voor een belangrijk deel bepaald door de isolatie van de cel. De koellast kan beperkt worden door de dikte van de isolatie te verhogen. Wanneer de laag twee keer zo dik wordt gemaakt neemt het verlies met de helft af.

Voor een bestaande koelcel waarvan de bouwkundige staat niet optimaal is, kan herisolatie of uitbreiding van de isolatie de moeite waard zijn. Als er vermoedens zijn dat dit het geval is, kunnen warmtelekken opgespoord worden met infraroodopnamen in de cel. Dit kost ca. f 1.500,- voor diverse opnamen in de cel en van leidingen. Specifieke lekken (bv. gaten voor doorvoering of

ontbrekende isolatie) kunnen gericht worden gerepareerd. Extra isolatiemateriaal kan binnen de bestaande cel worden aangebracht maar ook eventueel aan de buitenzijde. Een aandachtspunt is wel de dampdichtheid van de diverse constructie-onderdelen en de plek waar het mogelijk gaat condenseren. Hiervoor zal een gespecialiseerd bedrijf moeten worden ingeschakeld. Bij nieuwbouw kan de optimale isolatiedikte gekozen worden op grond van het CINI-handboek (20). In dat Handboek is ook informatie te vinden over de optimale isolatie voor koudemiddel-leidingen.

Bij renovatie en nieuwbouw is deze maatregel altijd toepasbaar. In bestaande situaties moet de plaatsing zorgvuldig gebeuren. Onzorgvuldigheden kunnen leiden tot lucht-lekkages en condensvorming.

K5 Uitschakelen verdampventilatoren bij uitgeschakelde compressor

Stand der techniek, verhogen rendement koude-opwekking

In cellen draait vaak continu een ventilator bij de verdamper, dus ook als er geen warmte onttrokken wordt. Door de schakeling van zo'n ventilator aan die van de compressor te koppelen is eenvoudig een energiebesparing te realiseren. Deze maatregel kan haalbaar zijn in vriesruimtes, maar meestal niet in koelruimtes. Dat komt omdat de temperatuurverdeling in de vries- of koelruimte verslechtert als de ventilator van de verdamper stopt. Dit is voor koelruimten meestal niet acceptabel, maar in vriesruimten bevat het bevroren product veel meer koude dan de lucht. De kosten en de besparingen zijn relatief gering. Er moet onderzocht zijn of er geen negatieve gevolgen voor het product zijn.

K6 Koppeling condensors bij deellast

Stand der techniek, verhogen rendement koude-opwekking

Bij veel koelinstallaties heeft elke compressor zijn eigen condensor. Bij afnemende koudevraag wordt met behulp van een cascade-regeling steeds een volgende compressor (met bijbehorende condensor) afgeschakeld. Door de dan nog draaiende compressoren

toch alle condensoren te laten gebruiken kan het condensoroppervlak relatief verhoogd worden. Bij toenemende koudebehoefte kunnen de compressoren alsnog weer hun eigen compressoren bedienen. De investering is gering (regelmechanisme en leidingwerk). De besparing kan oplopen tot ca 25%. De maatregel is toepasbaar bij meerdere compressoren die dankzij een onderlinge koppeling vaak afgeschakeld worden.

K7 Automatische ontluchting

Stand der techniek, verhogen rendement koude-opwekking

Bij een verdampersdruk kleiner dan 1 bar kan door penetratie van lucht in het koelsysteem een verslechtering optreden van de warmteoverdracht van de condensor. In dat geval stijgt de condensatietemperatuur en -druk en daalt de energie-efficiency. Door toepassing van een automatische ontluchting op de condensor wordt de lucht van het koudemiddel gescheiden. Een automatische ontlufter voor een koelinstallatie van 200 kW kost circa f 10.000,-. Dit bespaart gemiddeld 5% op het energieverbruik van de koelinstallatie.

K8 Warmterugwinning (persgasboiler)

Stand der techniek, warmterugwinning

Het koudemiddel is na de compressor (op weg naar de condensor) heet. Dit hete gas wordt persgas genoemd. De warmte hiervan kan gebruikt worden om water of een werkruimte mee te verwarmen. In de praktijk wordt vaak een persgasboiler gebruikt. Naast het nuttig gebruik van de restwarmte wordt extra bespaard omdat een lagere condensatietemperatuur mogelijk is en (bij koelcellen) de condensorventilatoren minder hoeven te draaien. De terugverdientijd wordt bepaald door de gelijktijdigheid van de warmtebehoefte en koudelevering. De terugverdientijd is 3 tot 6 jaar. Voorwaarde is dat er een (min of meer) gelijktijdige warmtevraag is. Als de restwarmte in het persgas wordt gebruikt om warm water te maken kan bijverwarming nodig zijn om aan hygiëne-eisen te voldoen (minimale temperatuur). Dit kan de rentabiliteit verlagen.

K9 Condensordrukregeling

Stand der techniek, verhogen rendement koude-opwekking

Een condensor moet warmte afgeven. Om dit te kunnen realiseren moet de condensor altijd ca 15°C warmer zijn dan de omgeving (meestal buitenlucht). De temperatuur van de buitenlucht varieert en daarmee varieert de ideale temperatuur van de condensor ook. Bij kleine installaties kan de condensortemperatuur 2 keer per jaar handmatig aan de weersomstandigheden worden aangepast (zie K14). Voor grote installaties kan een automatische regeling rendabel zijn. Kosten voor een thermostatische regeling zijn vanaf f 500,-, een PLC-sturing kost vanaf f 1.500,-. Automatische regeling is minder zinvol in combinatie met een thermostatisch expansieventiel. De maatregel is optimaal in combinatie met een elektronisch expansieventiel (zie K22) of een verbeterd expansieventiel (kosten ca. f 450,- incl montage). De terugverdientijd is in het algemeen korter dan 2 jaar. Let hierbij ook op de besparing die gerealiseerd wordt doordat de verdampertemperatuur ook beter geregeld wordt.

K10 Vertraagd inschakelen compressoren

Stand der techniek, minimaliseren koudevraag

In koel- en vriescellen wordt voor ieder product een maximale temperatuur aangehouden. Als deze overschreden wordt, wordt de compressor ingeschakeld. Door het openen van deuren stijgt de temperatuur snel en kan de compressor aanslaan, terwijl de producten nog voldoende koud zijn. Door gebruik te maken van een regeling die ervoor zorgt dat de compressoren vertraagd inschakelen t.o.v. de verdamperventilatoren kan onnodig draaien van de compressor worden voorkomen. Na overschrijding van de maximale temperatuur wordt nu eerst de luchtcirculatie ingeschakeld. Hierdoor daalt de celluchttemperatuur en wordt voorkomen dat de compressor onnodig wordt ingeschakeld. De besparing kan oplopen tot ongeveer 15% op het elektriciteitsgebruik van de compressor. De kosten voor het plaatsen van een tijdvertraging is ca. f 100,-.

Deze maatregel is rendabel als de compressoren regelmatig minder dan 15 minuten draaien en het product enige tolerantie biedt m.b.t. de temperatuur. De maatregel is niet toepasbaar als het kortstondig inschakelen van compressoren wordt veroorzaakt door iets anders dan het openen van deuren.

K11 Frequentieregeling compressor

Stand der techniek, verhogen rendement koude-opwekking

De capaciteit van de compressor kan op verschillende manieren geregeld worden. Sommige daarvan (bijvoorbeeld cilinderafschakeling) verlagen de capaciteit, maar nauwelijks het elektriciteitsverbruik. Als de capaciteit van een compressor vaak omlaag geregeld moet worden kan frequentieregeling rendabel zijn. Voor toelichting op werking en kosten wordt verwezen naar hoofdstuk 2.8. Deze maatregel is alleen rendabel bij nieuwbouw of renovatie. Als er sprake is van meerdere compressoren kan de terugverdientijd 2 jaar of minder zijn.

K12 Hoog rendement motor of tweetoerenmotor voor verdamperventilatoren

Stand der techniek, verhogen rendement koude-opwekking

Bij vervanging van de ventilator in een koel- of vriescel moet ernaar gestreefd worden het elektriciteitsverbruik van de ventilator te minimaliseren. Naast de elektriciteitsbesparing geeft dit minder warmte in de cel (zie ook K1). Als de capaciteit van de ventilator wordt berekend op de maximaal te verwachten belasting kan een tweetoerenmotor interessant zijn. Als niet het volledige vermogen nodig is, kan de ventilator dan voldoende circulatie in stand houden. Bij vervanging kunnen terugverdientijden van minder dan 3 jaar gerealiseerd worden op de meerinvestering.

Als de ventilator een constante capaciteit moet leveren kan een hoogrendementventilator rendabel zijn. Hoogrendementventilatoren (= motoren met een rendement > 92%) kunnen een energiebesparing van 7% bereiken. De terugverdientijd op meerinvestering is afhankelijk van het aantal draaiuren.

K13 Lange-termijnopslag in de bodem (zie ook bijlage 2)

Stand der techniek, verhogen
rendement koude-opwekking

Als er een koelinstallatie gekozen wordt voor klimaatkoeling of een andere grote koelinstallatie voor wat hogere temperaturen kan bij grote vermogens (koelbehoefte > 500 kW en minstens 1000 gebruiksuren) lange-termijnopslag in de bodem aantrekkelijk zijn. Bij dit systeem wordt in de zomer in de (basis)koelbehoefte voorzien met grondwater van ca. 8°C dat na gebruik wordt opgeslagen in een watervoerende laag (of aquifer) in de bodem. Dit opgewarmde water kan in de winter worden ingezet voor (basis)verwarming of als dat niet kan worden teruggekoeld aan de buitenlucht. Na afkoeling wordt het water opgeslagen in een tweede aquifer. Een uitgebreide toelichting wordt gegeven in bijlage 2.

Voor dit systeem is een uitgebreid haalbaarheidsonderzoek nodig. Als zowel warmte als kou nuttig gebruikt kunnen worden is de terugverdientijd 5 jaar of minder bij een koelvermogen groter dan 500 kW en minstens 1000 gebruiksuren.

Good housekeeping

K14 Verlagen condensatortemperatuur

Good housekeeping, verhogen
rendement koude-opwekking

Een condensor moet warmte afgeven aan zijn omgeving. Hiervoor moet de condensor altijd ca 15°C warmer zijn dan de omgeving (meestal buitenlucht). In de praktijk blijkt vaak dat de temperatuur van de condensor is ingesteld op ca 40°C. Het overgrote deel van het jaar is het buiten kouder dan 25°C. In die periode kan de condensortemperatuur verlaagd worden. Let bij verlaging op dat het expansieventiel een minimale drukverschil tussen condensor en verdamper nodig heeft. Bij grote installaties kan bij nieuwbouw of renovatie ook gekeken worden naar een condensordrukregeling (zie k9). Elke graad temperatuurverlaging levert een energiebesparing van ca 2% van het energieverbruik van de compressor. In het gegeven voorbeeld verbetert de koudefactor van de installatie bij buitentemperaturen van 10°C of lager met ca. 30%.

K15 Verhogen verdampertemperatuur

Good housekeeping, verhogen
rendement koude-opwekking

De verdamper moet om warmte te kunnen opnemen uit zijn omgeving ca 7°C kouder zijn dan de celluchttemperatuur. Een groter of kleiner verschil zal vaak leiden tot het niet maximaal benutten van de verdampingscapaciteit. Elke graad temperatuurverhoging levert een energiebesparing van ca 1% van het energieverbruik van de compressor.

K16 Schoon houden condensor

Good housekeeping, verhogen
rendement koude-opwekking

Een condensor moet warmte afgeven aan zijn omgeving. Als het condensoroppervlak vervuild raakt vermindert de warmteafgifte en daalt de energie efficiency van het systeem. Vooral condensoren in een industriële omgeving en bij een binnenopstelling kunnen zwaar vervuild zijn. Besparing kan oplopen tot 10% van het compressorverbruik.

K17 Ontdooicyclus optimaliseren

Good housekeeping, verhogen
rendement koude-opwekking

Het ontdooien kost ongeveer 10% van het elektriciteitsverbruik voor koude-opwekking. Niet tijdig en te lang ontdooien leidt tot energieverlies en onnodige warmte-inbreng. De cyclus moet aangepast worden op de vochtproductie van het te koelen product. Dit kan handmatig, vooral als de koelbelasting gelijkmatig is. Het einde van de ontdooiperiode kan automatisch bepaald worden door een ontdooibeëindigingsthermostaat (kosten ca. f 300,-).

K18 Verbeteren kierdichting

Good housekeeping, minimaliseren
koudevraag

Vaak blijkt dat deuren van koel- en vriescellen niet goed sluiten. Het periodiek vervangen van versleten deurrubbers wordt ook vaak vergeten. De te verwachten terugverdientijd is bijna altijd korter dan 1 jaar.

K19 Warmteafgifte van condensor verbeteren

Good housekeeping, verhogen
rendement koude-opwekking

Het komt voor dat condensoren hun warmte niet goed kwijt kunnen omdat ze staan ingebouwd achter kratten, pallets e.d. of omdat ze in een kleine slecht geventileerde ruimte staan opgesteld (of zelfs achter plafonds of onder vloeren). Kosten voor het verwijderen van de obstakels is gering. Verplaatsing van de condensor kan soms ook een optie zijn. De besparing kan oplopen tot 15% van het verbruik.

Aandachtspunten

K20 Koel- en vriescellen op temperatuur groeperen

Aandachtspunt, minimaliseren koudevraag

Het energieverlies tussen cellen onderling kan verminderd worden door de cellen met dezelfde temperatuur te groeperen. Getracht moet worden zoveel mogelijk de cellen met de hoogste temperatuur aan de buitenzijde te situeren en tevens de cellen met de laagste temperatuur zo veel mogelijk te omringen door cellen met een hogere temperatuur. De cellen met de laagste temperatuur hebben dan zo min mogelijk koudeverlies waardoor er minder rendementsverlies optreedt bij de productie van koude.

K21 Gekoelde voorruimte toepassen

Aandachtspunt, minimaliseren koudevraag

Telkens wanneer de deur opengaat zal bij een vriescel veel warmte de vriesruimte binnendringen. Dit kan verminderd worden door, voor de toegangsdeur van de vriescel, een gekoelde voorruimte te plaatsen met een zo klein mogelijk wandoppervlak. De kosten zijn vergelijkbaar met het bouwen van een koelcel van gelijke afmetingen. De maatregel is toepasbaar bij vriescellen wanneer de aanwezige ruimte en bedrijfsvoering dit mogelijk maken. Misschien kunnen toegangen van meerdere vriescellen voorzien worden van één centrale gekoelde voorruimte.

K22 Elektronisch expansieventiel

Aandachtspunt, verhogen rendement koude-opwekking

In de koelkringloop zorgt het expansieventiel ervoor dat het koudemiddel, dat onder hoge druk vanaf de condensor komt, in druk verlaagd wordt en naar de verdamper stroomt. In de verdamper neemt het koudemiddel warmte op van het te koelen product. De uittredetemperatuur (uit de verdamper) wordt gemeten en op basis hiervan regelt het expansieventiel de hoeveelheid koudemiddel die doorgelaten moet worden. Er zijn twee typen expansieventielen; thermostatische en elektronische. Een *thermostatisch expansieventiel* is een mechanisch gestuurd ventiel. Een temperatuursensor bepaalt de uittredetemperatuur van de verdamper en stuurt hierdoor het expansieventiel open.

Bij een *elektronisch expansieventiel* wordt het ventiel door een stappenmotor aangedreven en wordt de grootte van de doorlaatopening elektronisch geregeld. Er wordt zoveel koudemiddel doorgelaten dat de verdamper de grootste koelcapaciteit biedt. Dit gebeurt ook bij kleine drukverschillen. Hierdoor kan de condensatietemperatuur ook verlaagd worden waardoor de koelcyclus zo energie efficiënt mogelijk kan verlopen. Deze maatregel kan toepasbaar zijn bij koelcellen en dan met name bij verdampingsgevoelige producten.

K23 Heetgasontdooiing

Aandachtspunt, verhogen rendement koude-opwekking

Vaak ontstaat een laagje ijs op de verdamper. Om te voorkomen dat verdampers dichtvriezen moeten de verdampers regelmatig ontdooit worden. Door hiervoor in plaats van een elektrische ontdooiing gebruik te maken van het warme persgas kan energie bespaard worden. Heet persgas wordt uit de compressor in de verdamper geleid waardoor deze ontdooit. Bijkomend voordeel is dat er minder warmte in de cel gebracht wordt omdat de ijslaag van binnenuit ontdooit. De ontdooitijd is daardoor korter. Een besparing van 5 tot 15 % op het totale energieverbruik van de installatie is mogelijk. Kosten zijn situatie-afhankelijk. Deze maatregel is alleen rendabel bij nieuwbouw of renovatie.

K24 Windgekoelde condensoren

Aandachtspunt, verhogen rendement koude-opwekking

Bij een windgekoelde condensor wordt geen ventilator gebruikt. De voordelen zijn: geen geluid, geen stroomverbruik door de condensorventilatoren, weinig onderhoud en lange levensduur. De kosten zijn afhankelijk van de bouwkundige kosten voor het opstellen van de luchtgekoelde condensor. De besparingen kunnen bepaald worden door de hoeveelheid te besparen condensorventilatorvermogen vermenigvuldigd met het aantal draaiuren per jaar. Er moet voldoende ruimte zijn om de windgekoelde condensor te kunnen opstellen. De maatregel is rendabel bij bijvoorbeeld > 4000 uren per jaar gedurende > 5 jaar en > 250 kW.

K25 Gebruik restwarmte

Aandachtspunt, verhogen rendement koude-opwekking

In dit hoofdstuk is vooral ingegaan op elektrische compressie koeling. Koude kan ook geproduceerd worden door toepassing van absorptiekoeling (zie ook 2.9.4). Voor absorptiekoeling zijn grote hoeveelheden warmte nodig van > 95°C. Voorwaarde is dat in de nabije omgeving van de koelinstallatie deze hoge temperaturen (als restwarmte) beschikbaar zijn. In dat geval is een grote energiebesparing mogelijk. Absorptiekoeling heeft verder een lager elektrische vermogen en is betrouwbaar. Vaak wordt een absorptiekoelinstallatie gecombineerd met elektrische koeling voor het opvangen van piken. Aanschafprijzen absorptiekoelinstallatie is hoger dan van een elektrische compressiekoeling. De kosten voor het energieverbruik zijn beduidend lager. Deze maatregel is alleen mogelijk als het gehele jaar een niet te sterk wisselende koelbehoefte aanwezig is en een aanbod van restwarmte dat goed op de koelbehoefte aansluit.

2.2 Stoomvoorziening

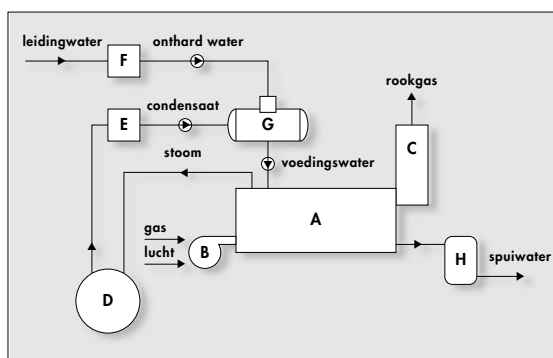
2.2.1 Inleiding

Stoom heeft diverse toepassingsgebieden. Het kan worden gebruikt om producten en ruimten te verwarmen, bij spoel- en wasdoeleinden, sterilisatie, drogen, luchtbevochtiging of opwekken van elektriciteit en kracht. Stoom heeft een hoge warmte-inhoud, waardoor warmte goed kan worden getransporteerd en overgedragen.

2.2.2 Waar moet je beginnen?

Een stoominstallatie bestaat uit de volgende onderdelen:

- (A) stoomketel waar water wordt omgezet in stoom, met (B) brander en (C) rookgasafvoer;
- leidingen om stoom naar de gebruiker te transporteren;
- (D) gebruiker, waar stoom energie (warmte en soms kracht) af geeft;
- retourcondensaatleidingen en (E) condensaatvat waarin het condensaat wordt opgevangen;
- leidingen met voedingswater, inclusief (F) wateronthardingsinstallatie;
- (G) ontgasser, om voedingswater te ontdoen van zuurstof en koolzuur;
- (H) spuivoorziening, om ingedikte aanslag van calcium en magnesium uit de ketel te verwijderen;
- diverse afsluiters.



Figuur 2: voorbeeld van een gesloten lagedruk stoomsysteem

De twee meest voorkomende installaties zijn:

- lage druk ketelhuis, waar stoom onder druk tot 20 bar wordt opgewekt.
- hoge druk ketelhuis, waarin hoge druk stoom (> 40 bar) wordt geproduceerd. Alvorens stoom dienst gaat doen als warmtebron, wordt het naar een stoomturbine geleid. De energie die vrijkomt bij expansie van stoom wordt hierin via een generator omgezet in elektriciteit. Deze combinatie is het principe van een warmtekracht-installatie. In een warmtekrachtinstallatie met hoog vermogen kan ook een combinatie voorkomen met een gasturbine. De stoom wordt dan gemaakt met de warmte uit de hete afgassen van de gasturbine.

In dit hoofdstuk wordt alleen het lage druk ketelhuis behandeld. Dit soort installaties is veelal te vinden in kleinere chemische bedrijven, textielveredelingsbedrijven, kalkzandsteenfabrieken, wasserijen en de voedings- en genotmiddelenindustrie.

Alle onderdelen hebben invloed op het energieverbruik van het totale systeem en bij alle onderdelen zijn maatregelen mogelijk. Op grond van de algemene strategie bij energiebesparing (zie 1.4) is het het beste om te beginnen aan de verbruikskant en terug te werken tot aan de productiekant. De strategie komt neer op minimaliseren van het verbruik, minimaliseren van verliezen, terugwinning van vrijkomende warmte en optimaliseren van het opwekkingsrendement.

Ketelinstallatie

De *ketel* bestaat meestal uit een ventilatorbrander (B) aan de buitenzijde van de ketel en een door ketelwater omgeven vuurgang (A). Warmte uit de verbrandingsgassen van de brander wordt aan ketelwater overgedragen. Zo ontstaat stoom onder druk. De temperatuur van stoom en rookgassen is evenredig met de druk in de ketel. De verbrandingsgassen verlaten de ketel door een rookgasafvoer (C). Er wordt met een geringe overmaat aan lucht gewerkt om te voorkomen dat zich CO vormt. Het rendement van de installatie is het hoogst bij optimale (lage) luchtvermaat (brandstof/luchtverhouding) en lage afgastemperatuur en minimaal warmteverlies aan de buitenzijde van de ketel. Het opwekkingsrendement schommelt over het algemeen tussen 80–90%.

Gebruiker

Stoom wordt onder druk via leidingen naar de *gebruiker* getransporteerd. Bij gesloten stoomtoepassing wordt de warmte via warmteuitwisseling, zonder direct contact met het proces, overgedragen. Stoom koelt daarbij af en condenseert, waarna het condensaat in een gesloten circuit voor hergebruik naar een condensaatvat (E) kan worden gevoerd. De temperatuur van het condensaat is eveneens afhankelijk van de druk van de stoom waarvan het condensaat afkomstig is. Bij 5 bar stoomdruk bedraagt de condensaattemperatuur nog ca. 150°C, in het condensaatvat heerst meestal atmosferische druk en is de temperatuur maximaal 100°C. Ook bij overgang naar lagere druk komt energie, in de vorm van stoom, vrij. Bij open toepassing wordt stoom zelf bij het proces betrokken, bijvoorbeeld bij blancheren van groente in de conservenindustrie of bij sterilisatie. Condensaat wordt dan meestal niet hergebruikt binnen het systeem.

Ketelvoedingswater

Water dat niet als condensaat retour komt of met spuien verloren gaat (zie verder), wordt met vers water aangevuld. Als *ketelvoedingswater* kan geen puur leidingwater worden gebruikt. Het moet onthard

worden (F) om afzetting van calcium- en magnesiumzouten (hardheidsvormers) op de vuurgang en de pijp-wanden te voorkomen.

Koud, onthard suppletiewater wordt gemengd met retourcondensaat. Dit mengsel passeert een ontgasser (G). Door dit mengsel te ontdoen van zuurstof (O₂) en koolzuur (CO₂) wordt corrosie (roest) in de ketel voorkomen. Beide gassen worden periodiek met een beetje stoom afgeblazen.

Een deel van de zouten blijft in het voedingswater achter en kan indikken tot ketelsteen, zodat met enige regelmaat moet worden gespuid. Vaak wordt gebruik gemaakt van een automatisch werkende spui-installatie die in werking treedt als de zoutconcentratie in het ketelwater (geleidbaarheid) een bepaalde waarde overschrijdt. Komt er veel condensaat retour, dan is weinig suppletiewater nodig en hoeft minder te worden gespuid.

2.2.3 Wanneer welke maatregelen ?

In tabel 1 worden de maatregelen gegeven die, als aan het specifieke toepassingscriterium wordt voldaan, bij de meeste stoominstallaties zouden moeten worden aangetroffen of kunnen worden gevraagd. Als het systeem nieuw wordt ontworpen of gerenoveerd, is extra aandacht voor deze maatregelen nodig. Dit geldt vooral voor maatregel S9.

Tabel 1 Maatregelen bij alle stoominstallaties

Onderdeel	Toepassingscriterium	tvt (jaar)	
Stand der techniek			
S1	Aanzuigkoker voor warme omgevingslucht	Bij temperatuurverschillen in het ketelhuis van meer dan 15°C	1-2
S2.1	Temperatuurcorrectie verbrandingslucht	Bij aanvoerlucht met wisselende hoeveelheid warmte	2-3
S2.2	Zuurstofcorrectie	Indien de warmte-inhoud van het gas varieert	4-5
S3	Modulerende brander	Bij vervanging brander	
S4	Isolatie	Altijd	1-3
S5.1	Economiser	Vanaf 1,5 miljoen m ³ gas per jaar en voldoende warmtebehoefte elders	< 5
S5.2	Rookgascondensor	Vanaf 1,5 miljoen m ³ gas per jaar en voldoende warmtebehoefte elders	< 5
S6	Ontspanningsvat en warmte wisselaar in de spuleiding		1-3
S7	Hergebruik retourcondensaat en flashstoom	Bij niet verontreinigd condensaat	1-2
S8	Automatische lekdichtheidstest	Bij meer dan 5 regelstops, niet bij modulerende brander	1-3
Good housekeeping			
S9	Minimaliseren stoomverbruik	Continu, zeker bij vervanging	n.v.t.
S10	Vermijden stilstand	Bij hoofd- en bijketels	n.v.t.
S11	Optimale branderafstelling	Bij periodiek onderhoud aan brander	n.v.t.
S12	Vermijden stoompluimen	Altijd, behalve bij de ontgasser	n.v.t.

2.2.4 Overige milieu-aspecten stoom

Naast het energieverbruik heeft een stoominstallatie nog een aantal andere aspecten waar in de milieuvergunning rekening mee gehouden moet worden. De belangrijkste daarvan zijn:

2.2.4a regels voor drukvaten

Drukvaten die zijn geconstrueerd voor 0,5 bar overdruk vallen onder de Stoomwet en de daaruit volgende Regels voor Toestellen onder Druk (RTOD). De RTOD bevat technische maatregelen. Vanaf 29 november 1999 wordt de Europese Richtlijn drukapparatuur (97/23/EG) van kracht, ter vervanging van de Stoomwet/RTOD. De Europese richtlijn betreft een productkeur en heeft de status van wet. De regelgeving met betrekking tot periodieke inspecties, reparaties en dergelijke blijven een nationale aangelegenheid, zodat de RTOD ook in de toekomst een rol blijft spelen.

2.2.4b emissie van verzurende stoffen

Op een stoomketel van meer dan 900 kW kan het Besluit emissie-eisen stookinstallaties milieubeheer A of B van toepassing zijn. Dit besluit stelt eisen aan de maximaal toelaatbare emissie van stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂) en stof. De eisen in het Besluit gelden rechtstreeks en hoeven niet in de vergunning te worden opgenomen, tenzij van de eisen wordt afgeweken. Naast de emissie-eisen bestaat een verplichting om controlemetingen uit te (laten) voeren. Nadere informatie is te vinden in het besluit zelf en de door InfoMil uitgebrachte brochure (publicatie LBO1), leidraad (publicatie LBO3, 1999) en rekenmodel (LBO2, 1999).

2.2.4c Geluidproductie

Een stoominstallatie kan een relevante geluidsbron zijn op het moment dat de ventilatorbrander in werking is. De hinder kan worden beperkt door de ketelinstallatie in een afgesloten ruimte te plaatsen.

2.2.5 Beschrijving maatregelen

Stand der techniek

S1 Aanzuigkoker voor omgevingslucht

Stand der techniek

In het ketelhuis zijn luchttemperatuurverschillen tussen vloer en plafond van 20°C mogelijk, afhankelijk van de bouw van het ketelhuis en de staat van de isolatie bij ketel, leidingen en appendages. Door via een aanzuigkoker verbrandingslucht van boven uit het ketelhuis aan te zuigen en niet de lucht rondom de ventilatorbrander, kan op eenvoudige wijze een besparing worden gerealiseerd. Een vuistregel is dat elke 10° warmere verbrandingslucht een besparing van 0,3% op het gasgebruik heeft. Het verdient echter de voorkeur om eerst de isolatie van de ketelinstallatie te verbeteren en dan pas te bekijken of gebruik van lucht uit de stookruimte nog wel zinvol is.

S2 Automatische regeling luchtvermaat

Stand der techniek

Het rendement van de installatie wordt mede bepaald door de verhouding tussen brandstof en lucht. Bij de meeste installaties staat deze verhouding op een vaste waarde ingesteld. De optimale samenstelling is afhankelijk van de temperatuur van de verbrandingslucht en warmte-inhoud van de brandstof. Als de temperatuur van de aangezogen lucht of de warmte-inhoud van de brandstof fluctueren, is een starre verhouding niet gunstig voor het rendement. De luchtvermaat wordt dan namelijk ingesteld op de hoogste waarde, die alleen in extreme gevallen nodig is. Een verhoging van de luchtvermaat geeft vergroting van de schoorsteenverliezen. Bij fluctuerende temperatuur (s2.1) of warmte-inhoud (s2.2) kan automatische correctie van de luchtvermaat rendabel zijn.

S2.1 Temperatuurcorrectie

Bij variatie in de temperatuur van de aanvoerlucht, bijvoorbeeld als buitenlucht wordt aangezogen of als lucht wordt voorverwarmd met restwarmte met wisselende warmteinhoud, kan de luchtvermaat automatisch geregeld worden op de temperatuur van de aanzuiglucht.

S2.2 Zuurstofcorrectie

Als er wordt (bij)gestookt met bijvoorbeeld biogas of andere restgassen kan de warmteinhoud van de brandstof variëren, en kan het rendabel zijn de luchtvermaat hierop automatisch te regelen. Dit kan bijvoorbeeld via een zogenaamde zuurstoftrimregelaar, die de luchtvermaat corrigeert op de gemeten zuurstofconcentratie in de rookgassen. Als uitsluitend aardgas wordt gestookt is deze maatregel niet relevant.

S3 Modulerende brander

Stand der techniek

De warmteafgifte van een brander kan op verschillende manieren geregeld worden. De klassieke manier is aan/uitregeling. Hierbij gaat energie verloren omdat na elke regelstop de verbrandingskamer moet worden geventileerd alvorens de brander wordt ontstoken (zie ook s8). Als dit spoelen gebeurt terwijl de ketel nog op temperatuur is, gaat warmte verloren. Het verlies is afhankelijk van het aantal regelstops. Een modulerende brander kan omlaag worden geregeld als tijdelijk minder behoefte is aan warmte. Omdat een modulerende brander minder vaak wordt aan- en uitgezet, hoeft niet meer gespoeld te worden. De maatregel kan rendabel zijn als de brander wordt vervangen.

S4 Isolatie

Stand der techniek

De hoge temperaturen in een stoominstallatie maken isolatie van onderdelen snel rendabel. De terugverdientijd bedraagt, afhankelijk van de situatie, enkele maanden tot een paar jaar. In de praktijk is de ketelromp door de leverancier vaak al wel geïsoleerd, maar aan het ketelfront, leidingen, afsluiters en flenzen is niet altijd aandacht besteed. Ter illustratie, de volgende gegevens:

- het stralingsverlies van de ketel ligt gemiddeld op 1% van het geïnstalleerde vermogen, bij een ketelfront gaat al snel warmte die overeenkomt met 500 m³ gas per jaar verloren.
- het jaarlijkse energieverlies van een ongeïsoleerde afsluiter, 2 meter ongeïsoleerde leiding of 4 paar ongeïsoleerde flenzen komt, bij 10 bar stoomdruk, overeen met 1500 m³ aardgas als het onderdeel zich in de stookruimte bevindt en 4500 m³ als die in de buitenlucht zit.

De Stichting Commissie Isolatie Nederlandse Industrie CINI heeft het 'handboek isolatie voor de industrie samengesteld (20). In het handboek wordt ingegaan op materiaaleigenschappen, de toepassing en de afwerking van isolatie. Ook is een methodiek uitgewerkt voor het bepalen van de meest economische isolatiedikte. Een bedrijf kan bijvoorbeeld van een zekere terugverdientijd uit gaan en daarbij uitrekenen wat de daarbij passende isolatiedikte is. Het handboek is geen norm, maar een bedrijf kan wel gevraagd worden om te isoleren volgens het CINI handboek.

S5 Warmtewisselaar in het rookgaskanaal

Bij gasgestookte apparaten kan warmte worden teruggewonnen door de rookgassen over een warmtewisselaar te leiden. Voorwaarde is dat de warmte nuttig gebruikt kan worden en dat de behoefte aan warmte en het vrijkomen van de rookgassen met elkaar in overeenstemming zijn wat betreft temperatuur, moment en hoeveelheid. De restwarmte van rookgassen kan in twee stappen worden teruggewonnen; de eerste stap met een economiser of luchtvoorverwarmer (s5.1) koelt de rookgassen af tot ca. 100°C, in de tweede stap kan condensatiewarmte worden teruggewonnen in een rookgascondensator (s5.2).



Afbeelding 1: stoomketel met economiser

55.1 Economiser of luchtvoorverwarming

Stand der techniek

Een economiser is een warmtewisselaar in het rookgaskanaal waarmee warmte uit de rookgassen wordt gehaald en die bestaat uit een bundel pijpen waaromheen water stroomt. Het warme water kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld ruimteverwarming, procesverwarming of voorverwarming ketelvoedingswater. Ook hier moet het aanbod aan warmte zo veel mogelijk gelijktijdig met de vraag plaatsvinden. Bij voorverwarming van ketelvoedingswater is dat altijd het geval. Het schoorsteenverlies daalt van 8% naar 4%. Bij een gasverbruik van 1,5 miljoen m³ per jaar bedraagt de terugverdientijd minder dan 5 jaar. Een andere uitvoering is luchtvoorverwarming. Hierin wordt de warmte overgedragen van de rookgassen op lucht. Meestal is dit de aanzuiglucht voor de brander. Het rendement van deze installatie is vergelijkbaar met een economiser. Luchtvoorverwarming kan zorgen voor een verhoogde NO_x-productie van de brander. Door inzet van een aangepaste brander kan dit worden voorkomen, maar dit maakt de rentabiliteit ongunstiger dan van een economiser.

Een economiser of luchtvoorverwarming kan worden gecombineerd met een rookgascondensator (maatregel 55.2).

55.2 Rookgascondensator

Stand der techniek

Een rookgascondensator is een warmtewisselaar in het rookgaskanaal waarmee extra warmte uit de rookgassen wordt teruggewonnen, doordat waterdamp in de rookgassen tot condensatie gebracht wordt. De warmte die hierbij vrij komt kan worden overgedragen aan bijvoorbeeld voedingswater of warm water voor ruimteverwarming of procesverwarming. Een rookgascondensator is rendabel als veel behoefte is aan laagwaardige warmte; bijvoorbeeld in de vorm van warm water. Als indicatie kan worden aangehouden dat bij een gasverbruik van meer dan 1,5 miljoen m³ per jaar de terugverdientijd 5 jaar of minder bedraagt.

Als deze voorziening gebruikt wordt voor productie van warm water kan bijverwarming nodig zijn, bijvoorbeeld om aan hygiëne-eisen te voldoen (minimale temperatuur). In dat geval wordt de terugverdientijd langer.

56 Ontspanningsvat en warmtewisselaar spuiwaterleiding

Stand der techniek

De restwarmte in spuiwater kan via twee stappen grotendeels worden teruggewonnen. In de eerste plaats kan de stoom die ontstaat door het verlagen van de druk van het spuiwater in een ontspanningsvat, de ontspanningsstoom, worden gebruikt als verwarmingsbron voor de ontgasser. Het overgebleven spuiwater kan de warmte vervolgens via een nageschakelde warmtewisselaar afstaan aan bijvoorbeeld voedingswater. Het direct overdragen van warmte van spuiwater aan voedingswater kan tot technische problemen leiden. De terugverdientijd van warmteterugwinning uit spuiwater is afhankelijk van spuihoeveelheid en de temperatuur (aanbod) en de mogelijkheden om de warmte met die temperatuur, hoeveelheid en op dat tijdstip te gebruiken (vraag).

57 Hergebruik van condensaat

Stand der techniek

De warmte-inhoud van condensaat is groot. Bij open stoomtoepassingen wordt het condensaat niet geretourneerd. Daarmee gaat de restwarmte in het condensaat verloren en is meer voedingswater nodig. Bij gesloten stoomtoepassing kan condensaat vaak worden hergebruikt.

Als het condensaat niet vervuild raakt kan het in een condensaatvat worden opgevangen en van daaruit via de ontgasser naar de ketel worden teruggevoerd. Verkeerde dimensionering van leidingen condenspotten kan hierbij problemen geven. Als deze goed gedimensioneerd zijn is de terugverdientijd ca. één jaar. Als dit niet het geval is zal per geval moeten worden bekeken of het rendabel is hieraan wat te veranderen.

Condensaat van hoge druk stoom geeft een hoeveelheid reststoom als het in een ontspanningsvat ontspant naar atmosferische druk. Deze zogenaamde flashstoom kan worden hergebruikt, bijvoorbeeld als er elders lage-drukstoom nodig is, of door het terug te leiden naar de ketel of te mengen met het voedingswater.

Verontreinigd condensaat kan niet worden teruggevoerd, maar in sommige gevallen is warmteterugwinning hieruit nog mogelijk. Deze optie is meestal niet rendabel.

58 Automatische lekdichtheidstest

Stand der techniek

Aardgasgestookte stoomketels dienen op grond van veiligheidsvoorschriften rookgaszijdig te worden geventileerd (met lucht worden gespoeld) alvorens de brander wordt ontstoken. Hierbij dient een luchtvermaat te worden doorgevoerd die overeenkomt met 5 keer het vuurhaardvolume. Indien een installatie regelmatig regelstops maakt, niet volledig af koelt en daarna weer wordt ontstoken, gaat hiermee energie verloren omdat spoellucht opgewarmd de schoorsteen verlaat. De mate van verlies is afhankelijk van de werkdruk van de ketel en de ketelconstructie. Het spoelen na een regelstop kan echter achterwege blijven als de branders automatisch op lekkage worden gecontroleerd en de dichtheidstest voldoet aan de voorschriften.

Een modulerende brander (s3) hoeft niet gespoeld te worden. Daarom is deze maatregel daarop niet van toepassing.

Good Housekeeping

59 Minimaliseren stoomverbruik

Good housekeeping

Het is altijd zinvol om de toepassing van stoom regelmatig te heroverwegen. Er zijn vier aandachtspunten:

- *geen stoom meer gebruiken:* op het moment dat grootschalige investeringen aan de installatie op stapel staan, moet worden bekeken of het noodzakelijk is om de huidige toepassingen met stoom voort te zetten. Verwarming van procesbaden, droogkamers in de keramische industrie, reinigingswater in de vleesindustrie (InfoMil-publicatie E07) e.d. kan vaak ook met directe branders in plaats van indirect met stoom plaatsvinden. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat stoom nuttig is als krachtbron (wkk-installatie), als warmte en vocht tegelijkertijd nodig zijn (korrelperserij mengvoederindustrie, zie InfoMil publicatie E08 of bij blancheren in de voedingsmiddelenindustrie) of als in korte tijd een grote hoeveelheid energie moet worden overgedragen of hoge temperatuur vereist is (opwarmen van vezels in de textielindustrie of stoomschillers in de aardappelindustrie).
- *decentrale stoomopwekking:* Bij decentrale stoomopwekking wordt veel energie bespaard doordat een uitgebreid transportnet wordt vermeden, het aanbod (capaciteit, druk, temperatuur, debiet) is afgestemd op de plaatselijke behoefte en wordt vermeden dat een centrale stoomketel voortdurend op druk en temperatuur wordt gehouden. Voorbeelden zijn een afzonderlijke stoomluchtbevochtiger in een luchtbehandelingskast, een stoominjecteur als badverwarming of een plaatselijke stoomgenerator bij mengvoederbedrijven (InfoMil-publicatie E08).
- *verlagen van de stoomdruk:* als de afnamedruk lager is dan de stoomdruk bij de ketel, kan algehele verlaging van de stoomdruk worden overwogen. Dit geldt zowel bij centrale als bij decentrale opwekking. Als er toch een aftappunt is waar hoge druk nodig is, kan daar ook voor afzonderlijke (decentrale) stoomopwekking met hogere druk worden gekozen.

Bij plaatselijk verlagen van de stoomdruk kan energie worden teruggevoerd (zie hieronder).

- *koppelen van warmtestromen:* wordt binnen het bedrijf met verschillende stoomdrukken gewerkt, is het wellicht mogelijk om stromen onderling te koppelen. Bij het ontspannen (herverdampen) van hogedruk condensaat naar een lage druk is bovendien warmte terug te winnen.

510 Vermijden stilstand

Good housekeeping

Indien een bedrijf verscheidene ketels heeft, wordt vaak uit overwegingen van bedrijfszekerheid een ketel warm 'stand by' gehouden. Het stralingsverlies van de ketel is bij vollastgebruik is even groot als tijdens het op druk 'stand by' staan, namelijk ca. 1% van de capaciteit. Bij een installatie met een capaciteit van 10 ton stoom per uur, kost dit 80.000 m³ aardgas per jaar.

511 Optimale branderafstelling

Good housekeeping

Het schoorsteenverlies wordt geminimaliseerd door een optimale branderafstelling, oftewel een goede brandstof-lucht-verhouding. Het hoogste rendement wordt bereikt bij een zo gering mogelijke luchtvermaat. Meestal bedraagt deze 10% tot maximaal 25%, hetgeen in meetrapporten wordt aangegeven via aanduiding $n = 1,1$ resp. $n = 1,25$. Het zuurstofpercentage in de rookgassen bedraagt dan circa 4%.

512 Vermijden van stoompluimen

Good housekeeping

Stoompluimen op het dak zijn afkomstig van ontspannend stoom, gaan gepaard met onnodig energieverlies en moeten worden vermeden. Bij maatregel s7 wordt hierop ingegaan. Alleen bij de ontgasser is een stoompluimpje niet te vermijden (par. 2.2.2).

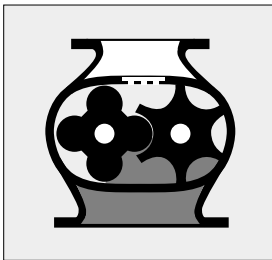
2.3 Perslucht

2.3.1 Inleiding

Een persluchtinstallatie comprimeert aangezogen lucht voor uiteenlopende toepassingen. Perslucht wordt in een heleboel bedrijfstakken toegepast. Voorbeelden van toepassingen zijn pneumatisch aangedreven gereedschap, spuit- en straalapparatuur, verpakkingsmachines en transport. Perslucht is energie-intensief. Gemiddeld maken de energiekosten meer dan 60% van de kosten voor perslucht per kubieke meter uit. Het energetisch rendement van de compressie is laag; circa 4% van de toegevoerde energie wordt omgezet in lucht onder druk, de rest wordt omgezet in warmte. Door lekkages en drukverlies bij filters en in de leidingen is het rendement van het totale systeem nog lager.

2.3.2 Waar moet je beginnen ?

Een persluchtstelsel bestaat uit de volgende onderdelen:



Figuur 3: doorsnede van een schroefcompressor

- 1 aandrijving;
- 2 compressor;
- 3 conditionering;
- 4 distributie;
- 5 verbruik.

Alle onderdelen hebben invloed op het energieverbruik van het totale systeem, en bij alle onderdelen zijn maatregelen mogelijk. Op grond van de algemene strategie bij energie-

besparing (zie 1.4) is het het beste om te beginnen aan de verbruikskant, en terug te werken tot aan de aandrijving. De strategie komt neer op minimaliseren van het gebruik, minimaliseren van verliezen en drukvallen in de leidingen, terugwinning van vrijkomende warmte en optimalisering van het opwekkingsrendement.

2.3.3 Wanneer welke maatregelen ?

In tabel 1 worden de maatregelen gegeven die bij elke persluchtcompressor kunnen worden voorgeschreven (als aan het specifieke toepassingscriterium wordt voldaan).

Als uit de analyse van het energieverbruik van een bedrijf blijkt dat de persluchtcompressor een belangrijke bijdrage aan het totale verbruik geeft, kan er naast tabel 1 ook gekeken worden naar de maatregelen uit tabel 2. In een uitgebreid onderzoek wordt gekeken naar alle maatregelen. Als er geen uitgebreid onderzoek komt, wordt volstaan met te kijken naar de haalbaarheid van de stand der techniek en good housekeeping maatregelen.

Als de persluchtcompressor een grote verbruiker is, en het persluchtstelsel wordt nieuw ontworpen of gereviseerd, dan kan er naast de maatregelen uit tabel 1 en 2 ook gekeken worden naar de maatregelen uit tabel 3. Bij het ontwerp van het nieuwe systeem wordt dan meteen gekeken naar de haalbaarheid van deze maatregelen.

Tabel 1 Maatregelen voor alle installaties

Onderdeel	Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium
Stand der techniek		
Persluchtverbruik	P1 Verouderd pneumatisch gereedschap vervangen	Gereedschap langer dan 10 jaar in gebruik
	P2 Persluchtzuinige blaaspistolen	Terugverdientijd 2-3 jaar
Good Housekeeping		
Persluchtverbruik	P6 Behandelen vloeroppervlak voor luchtkussentransport	Transport over beschadigde of poreuze vloeren
Persluchtdistributie	P7 Controle op juiste instelling werkdruk (minstens jaarlijks)	Altijd
	P8 Lekbestrijding (frequentie in overleg met bedrijf)	Altijd
Persluchtconditionering	P9 Controle en onderhoud aan filters	Altijd
Compressor en aandrijving	P10 Compressor uitschakelen buiten bedrijfstijden (evt. met tijdschakelaar)	Geen persluchtvrage buiten bedrijfstijden

Tabel 2 Maatregelen bij uitgebreide aandacht voor compressor

Onderdeel	Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium	tvf (jaar)
Stand der techniek			
Persluchtverbruik	P3 Specifieke toepassingen op eigen persluchtvoorziening	Toepassing met lage druk of hoge kwaliteitseisen	2-6
Compressor en aandrijving	P4 Warmteterugwinning	Warmtebehoefte aanwezig	2-5
Good housekeeping			
Persluchtverbruik	P11 Optimalisatie vervangingsstijd straalnozzle	Altijd	nvt
Aandachtspunten			
Persluchtverbruik	P12 Toepassingen zonder perslucht	Processpecifiek (zie tekst)	zie tekst
	P13 Elektrische aandrijving in plaats van persluchtmotor	Bij vervanging van gereedschap Bijvoorbeeld als nauwkeurigheid, ergonomie of explosieveiligheid minder belangrijk wordt, of explosie-vrije elektromotor afdoende is.	2-8
Compressor en aandrijving	P14 Aanzuigen koude lucht	Opwarming compressorruimte > 5°C	2-5

Tabel 3 Maatregelen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

Onderdeel		Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium	tvf (jr)
Stand der techniek				
Compressor en aandrijving	P5	Juiste regeling aandrijving	Bij één compressor: Aan/uit-regeling bij gering aantal schakelingen Frequentieregeling bij sterk wisselende afname Vollast/nullast/uit bij lange periodes in nullast	1-6
			Bij meerdere compressoren: Eén frequentie geregeld, de rest aan/uit geregeld	2-4
Aandachtspunten				
Persluchtdistributie	P15	Gescheiden netten voor hoge en lage druk of kwaliteit	Sterk variërende eisen bij afnamepunten	2-10
		Juiste dimensionering leiding	Altijd	1
Persluchtconditionering	P17	Juiste relatie drogen / filteren en kwaliteitseisen	Altijd	1
		Compressor en aandrijving	P18	Verminderen overdimensionering en nullastverbruik

2.3.4 Overige milieu-aspecten perslucht

Naast het energieverbruik heeft een persluchtcompressor nog een aantal andere milieu-aspecten waar in de milieuvergunning rekening mee gehouden moet worden. De belangrijkste daarvan zijn:

2.3.4a Preventie gevaarlijk afval

Als de compressor gesmeerd wordt met olie zijn de resten smeermiddel die vrijkomen bij het verversen en bij de nabehandeling van het condensaat gevaarlijk afval. Er zijn alternatieve systemen die water als smeermiddel gebruiken of die smeermiddelvrij zijn. Bij de keuze van een compressortype moet ook gekeken worden naar dergelijke alternatieve systemen, omdat daarmee het ontstaan van gevaarlijk afval, en verontreiniging van het condensaat wordt voorkomen (zie ook 2.3.4b).

2.3.4b Verontreiniging condensaat

Bij de persluchtconditionering komt condensaat vrij. In de leidingen kan ook condensaat ontstaan. Als de compressor gesmeerd wordt met olie, zal er olie in het condensaat terecht komen. Onbehandeld condensaat of condensaat dat door een gravitatie-afscheider is gevoerd mag niet geloosd worden op het riool als het meer dan 200 mg olie per liter bevat. Als de concentratie hoger is wordt het condensaat behandeld in een olie-afscheider. Het effluent hiervan mag niet worden geloosd als het meer dan 20 mg olie per liter bevat. Op de afscheider worden de gangbare voorschriften aan dergelijke voorzieningen toegepast. Deze voorschriften zijn te vinden in de nieuwe generatie 8.40 amvb's. Andere verontreinigingen kunnen ontstaan als er verontreinigde lucht wordt aangezogen. In eerste instantie moet dan gekeken worden of het aanzuigpunt kan worden verlegd. Als het condensaat desondanks andere verontreinigingen dan olie bevat zijn andere zuiveringsstappen nodig. De oliefractie uit de afscheider is gevaarlijk afval. Bij het ontwerp van een nieuw systeem of renovatie van

een bestaand systeem kan verontreiniging van het condensaat en het ontstaan van gevaarlijk afval voorkomen worden door te kiezen voor een ander smeermiddel (zie ook 2.3.4a).

2.3.4c Geluidproductie compressor

Een compressor is vaak een belangrijke geluidsbron. Het bedrijf zorgt ervoor dat hierdoor de geluidsnormen voor de inrichting niet worden overschreden. Maatregelen die het bedrijf daarvoor kan nemen zijn bijvoorbeeld regelmatig onderhoud aan de compressor, de compressor in een goed geïsoleerde omkasting of ruimte plaatsen of de compressor op trillingsisolatoren plaatsen.

Bij de aanschaf van een compressor kan gekozen worden voor een type met lagere geluidsbelasting.

2.3.4d Waterbesparing

Het waterverbruik van een watergekoelde compressor kan flink oplopen. Uitgangspunt is dat geprobeerd wordt het vrijkomende warme water nuttig te gebruiken (zie ook hieronder onder warmteterugwinning). Als dat niet mogelijk is, kun je bij de systeemkeuze kijken naar de mogelijkheid van een luchtgekoelde compressor. Als dat ook niet mogelijk is, zijn er nog mogelijkheden het waterverbruik van de compressor te beperken. Een voorbeeld hiervan is de koelwaterstroom te koppelen aan het draaien van de compressor door middel van een magneetventiel. Deze maatregel zorgt ervoor dat de koelwaterstroom onderbroken wordt als de compressor stil staat.

2.3.5 Literatuur bij dit hoofdstuk

Meer informatie over energiebesparing bij perslucht is te vinden in:

- Factsheets energie-efficiency Perslucht, Novem en EnergieNed, december 1997, DV.3.3.59
- Efficiënte persluchtsystemen in de industrie, Novem, 1996, DV3.4.33.96.03

2.3.6 Beschrijving maatregelen

Stand der techniek

P1 Verouderd pneumatisch gereedschap vervangen

Persluchtverbruik, stand der techniek
De laatste 10 jaar zijn de pneumatische aandrijvingen van gereedschappen aanzienlijk verbeterd, waardoor de efficiëncy 30 tot 50% is toegenomen. Voorbeelden van verbeteringen zijn gewichtsafname door lichtere materialen en verbeterde ontwerpen, grotere nauwkeurigheid door verbeterd afslagmechanisme, toepassing van het pulsysteem voor moeraanzetters en exacte toerentalregelingen. Daardoor geldt dat het in het algemeen rendabel is pneumatisch gereedschap dat ouder is dan 10 jaar te vervangen (met uitzondering van gereedschap dat nauwelijks gebruikt wordt).

P2 Persluchtzuinige blaaspistolen

Persluchtverbruik, stand der techniek
Bij schoonmaakwerkzaamheden wordt soms perslucht toegepast. Een conventioneel blaaspistool verbruikt tot 120 l/min. Gebruik van een goed blaaspistool met een aangepaste nozzle verbruikt tot 80% minder perslucht. Deze blaaspistolen kosten ca. f 30,- en verdienen zich binnen 2-3 jaar terug.

P3 Specifieke persluchttoepassingen aansluiten op aparte persluchtvoorziening

Persluchtverbruik, stand der techniek
Sommige persluchttoepassingen werken bij een lagere druk. Dat geldt bijvoorbeeld voor blaaspistolen (1 bar), agitatie van baden (0,5 bar) en luchtkussen-transport (ca. 2 bar). Voor dergelijke toepassingen kan het rendabel zijn een lagedrukblower, los van het persluchtnet toe te passen. Als lagedruktoepassingen die een hoge persluchtkwaliteit vragen zoals stofmaskers en ademhalingsapparatuur kunnen worden losgekoppeld, is het soms mogelijk een extra besparing te realiseren omdat er filterstappen achterwege kunnen blijven (zie onder).
Als er maar een beperkt aantal toepassingen is met een hoge druk kan het rendabel zijn deze aan te sluiten op een eigen compressor. Dit bespaart energie

omdat de werkdruk van het systeem kan worden verlaagd.

De besparing is afhankelijk van de huidige persluchtafname en het vermogen van de te plaatsen blower. Als de kosten van de perslucht niet bekend zijn kan aangenomen worden dat het ca. 2,5 ct/Nm³ kost (18).

P4 Warmteterugwinning

Compressor en aandrijving,
stand der techniek

Meer dan 95% van de toegevoerde energie wordt bij compressie omgezet in warmte. Daarvan is een zeer groot deel (in sommige gevallen tot 95%) beschikbaar voor terugwinning. Voorwaarde is dat er behoefte is aan warme lucht of aan warm (proces)water op de momenten dat de compressor draait.

De warmte komt vooral vrij bij de compressor zelf (of bij de oliekoeler als het om een olie-geïnjecteerde compressor gaat). Warmte die vrijkomt bij de elektromotor of de nakoeler kan ook bruikbaar zijn. De warmte komt vrij als warme lucht of eventueel warm water (compressorhuis met waterkoeling). De warmte wordt maximaal gebruikt als er een toepassing voor is die altijd warmte vraagt als de compressor in bedrijf is. Voor warme lucht zou dat bijvoorbeeld toepassing in een droogproces kunnen zijn. Voor warm water hoeft de vraag niet precies gelijktijdig te zijn met het aanbod van warmte, omdat warm water opgeslagen kan worden in een buffer. Warm water kan soms gebruikt worden in een proces. Er zijn ook andere toepassingen zoals wasserijwater of water voor schoonmaakwerkzaamheden. Daarbij kan bijverwarming noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld om aan hygiënische eisen (minimale temperatuur) te voldoen.
Warme lucht kan ook worden ingezet voor ruimteverwarming. Het is vaak eenvoudig een kwestie van de lucht naar verwarmde ruimtes leiden. Nadeel is wel dat de warmtevraag er niet het hele jaar is. In de zomer zal de warme lucht via een ander kanaal ongebruikt naar buiten geleid moeten worden. Voor inschatting van het besparingspotentieel kan worden aangenomen dat nuttig gebruik van warmte voor elke 10 kWh verbruik van de installatie 1 m³ aardgas bespaart.

P5 Juiste regeling aandrijving

Compressor en aandrijving,
stand der techniek

Energetisch gezien zou het optimaal zijn als de aandrijving uitgezet wordt als er geen vraag naar perslucht is. Deze aan/uit-regeling is meestal niet mogelijk, omdat de motor een maximaal aantal schakelingen per dag heeft (bij een te hoog aantal schakelingen slijt de motor te hard). Om die reden heeft de compressor een nullast-stand, waarin de aandrijving draait maar er geen perslucht geleverd wordt, bijvoorbeeld omdat de uitlaatstroom wordt teruggedleid naar de inlaat. In nullast verbruikt de compressor wel elektriciteit. Nullast moet daarom zoveel mogelijk worden beperkt.
De voorkeursvolgorde van de verschillende regelingen bij een installatie met één compressor is als volgt:

1 aan/uit-regeling

Toepasbaar als het maximaal aantal schakelingen van de motor niet overschreden wordt, bijvoorbeeld bij een constante persluchtvaart.

2 frequentieregeling

Als motor die de compressor aandrijft op frequentie geregeld wordt kan de capaciteit binnen bepaalde grenzen precies worden afgesteld op de persluchtvaart. Een frequentieregelaar geeft een meerinvestering van f 5.000,- tot f 50.000,- op de kosten van een nieuwe compressor. Frequentieregeling is alleen rendabel bij een sterk fluctuerende persluchtvaart.

3 Vollast/nullast/uit-regeling

De aandrijving van de compressor kan zo geregeld worden dat hij wordt uitgeschakeld als hij een vaste periode op nullast gedraaid heeft. De regeling kan een alternatief zijn als aan/uit-regeling en frequentieregeling niet haalbaar zijn en er wat langere periodes zijn waarin geen perslucht gevraagd wordt.

4 Vollast/nullast-regeling

Bij deze regeling draait de motor op vollast als er vraag is, en als er geen vraag is draait hij op nullast. Hij wordt toegepast als geen van de bovenstaande regelingen haalbaar zijn.

Bij meerdere compressoren is het mogelijk om één compressor van frequentieregeling te voorzien en de rest aan/uit te regelen. Door een cascadeschakeling van de compressoren wordt het dan mogelijk over het hele regelbereik op frequentie te regelen (zie ook hoofdstuk 2.8, voorbeeld en maatregel PA2).

P6 Behandelen vloerooppervlak voor luchtkussentransport

Persluchtverbruik,
good housekeeping

Perslucht kan worden ingezet voor het verplaatsen van zware lasten (bijvoorbeeld tribunes in sporthallen, kabelrollen, machines, landingsgestellen en papierrollen) volgens het luchtkussenprincipe. De kwaliteit van de vloer heeft hierbij grote invloed op het persluchtverbruik. De vloer moet daarom schoon, glad en vlak gehouden worden. Gat en scheuren moeten worden gerepareerd. Poreus materiaal (beton) moet worden geïmpregneerd of bedekt.

P7 Controle op juiste instelling werkdruk

Persluchtverbruik,
good housekeeping

De druk in het persluchtsysteem wordt ingesteld op de hoogste gevraagde druk van de persluchtverbruikers. Er moet regelmatig (tenminste eenmaal per jaar) worden gecontroleerd of deze werkdruk nog steeds overeenkomt met de hoogst gevraagde druk. Verlaging van de druk in het leidingnet verlaagt het energieverbruik en vermindert lekverliezen. Verlaging van de werkdruk van 7 naar 6 bar bijvoorbeeld geeft een besparing die op kan lopen tot 10%.

P8 Lekbestrijding

Persluchtverbruik,
good housekeeping

a Vaststellen van lekverliezen

Ieder leidingnet raakt perslucht kwijt als er geen lucht wordt gebruikt. Als de verliezen groter zijn dan 5% van het persluchtverbruik moeten lekken worden opgespoord en gerepareerd. Het is zinvol om regelmatig (bij een grote installatie tot eenmaal per maand) vast te stellen wat de omvang van de lekverliezen is. Als voor de vaststelling een extra werkonderbreking nodig is, is een lagere frequentie redelijk.

De omvang van de lekverliezen kan het eenvoudigst worden bepaald als alle persluchtverbruikers zijn afgesloten. Het persluchtverbruik is dan gelijk aan de lekverliezen. Dit verbruik kan op verschillende manieren worden bepaald. Als het leidingnet is voorzien van een flowmeter kan dit direct worden afgelezen. In onderstaand kader wordt een methode beschreven die breed toepasbaar is. Andere vaststellingsmethodes zijn natuurlijk ook toegestaan.

Voorbeeld van een methode om lekverliezen vast te stellen

Sluit alle persluchtverbruikers af (voor zover mogelijk, zie onder). In de periode dat geen perslucht wordt afgenomen zal de compressor een bepaalde tijd draaien. Als de compressor is voorzien van een urenteller is de draaitijd daarvan af te lezen, anders zal een stopwatch gebruikt moeten worden. De meettijd moet zolang zijn dat de compressor een keer of vijf gedraaid heeft. Het lekverlies (V_L) is te berekenen uit:

$$V_L = V_C \cdot t/T$$

waarin:

- V_C : capaciteit van de compressor in m^3/min ;
- t : tijd in seconden dat de compressor tijdens de meting gedraaid heeft;
- T : totale meettijd in seconden.

Als er gebruikers zijn die niet afgesloten kunnen worden, moet hun (geschatte) verbruik op het berekende verlies in mindering worden gebracht.

b Opsporen van lekken

Lekken in de persluchtleidingen maken een sissend geluid. Daarom zijn ze vrij makkelijk op te sporen. In een ruimte waar veel andere geluidsbronnen zijn, kan de precieze opsporing moeilijk zijn. In die gevallen kan gebruik worden gemaakt van een ultrasoon detectie apparaat (kosten ca. f 5.000,-). Lekka-ges gaan gepaard met een turbulente luchtstroom die een specifiek ultrasoon geluid voortbrengt, dat goed te detecteren is, ook als er andere geluidsbronnen zijn.

c Reparatie

Reparatie kan eenvoudig plaatsvinden door het lekkende onderdeel geheel of gedeeltelijk te vervangen. Voorbeelden van onderdelen waarin lekken relatief vaak voorkomen zijn slangen, koppelingen, kleppen, de afdichtingen in flensverbindingen, aansluiting van filters en drogers en de condensaatafvoer.

P9 Controle en onderhoud aan filters

Persluchtconditionering,
good housekeeping

Filters (of combinaties van filters) moeten voorzien zijn van een drukverschilmeter. Door vervuiling van het filter neemt het drukverschil over het filter toe. In het algemeen geldt dat het rendabel is het filter schoon te maken als het drukverschil groter wordt dan 0,3 bar.

Tijdig schoonmaken van filters voorkomt bovendien vervuiling van het leidingnet.

P10 Uitschakelen compressor buiten bedrijfstijd

Compressor en aandrijving,
good housekeeping

Als er geen vraag is naar perslucht zal de compressor zo nu en dan draaien omdat er altijd wat perslucht verloren gaat door lekken. Buiten bedrijfstijden of in het algemeen als er geen vraag is naar perslucht kan de compressor maar beter worden uitgeschakeld. Dit kan uiteraard handmatig. Als blijkt dat de compressor regelmatig buiten bedrijfstijd aan blijft staan, is het rendabel de compressor aan te sluiten op een tijdschakelaar. Een tijdschakelaar met weekprogrammering kost f 30,- tot f 75,-.

**P11 Optimalisatie vervangingstijd
straalnozzle**

Persluchtverbruik,
good housekeeping

De nozzle van een straalininstallatie krijgt door slijtage een steeds grotere diameter. Daardoor is per oppervlakte-eenheid steeds meer perslucht nodig. Straalnozzles moeten daarom tijdig vervangen worden. Eventueel kan daarbij gekeken worden naar slijtvastere materialen.

**P12 Toepassingen zonder perslucht –
werpstralen en airless spuiten**

Persluchtverbruik, aandachtspunten

Voor enkele specifieke persluchttoepassingen is een alternatief ontwikkeld dat geen perslucht verbruikt. Het besluit om deze alternatieven toe te passen wordt meestal om andere redenen genomen dan energiebesparing, bijvoorbeeld procestechnische eisen, of andere milieu-aspecten. Beperking van persluchtverbruik is een gunstig bij-effect.

Bij het gritstralen van regelmatige oppervlakken is het mogelijk het grit op het oppervlak te brengen door een schoepturbine. Omdat hiervoor geen perslucht nodig is, is het energieverbruik per oppervlakte-eenheid ongeveer de helft van pneumatisch stralen. Werpstralen is maar beperkt toepasbaar. Verfspuitsystemen die werken met lagere druk perslucht (high volume low pressure of HVLP) of zonder perslucht (airless) worden toegepast omdat ze verf efficiënter opbrengen, en daardoor minder afval en luchtmissies geven en arbeidsomstandigheden verbeteren. Daarbij verbruiken ze minder (HVLP) of geen (airless) perslucht, waardoor ze ook energie besparen.

**P13 Elektrische aandrijving in plaats van
persluchtmotor**

Persluchtverbruik, aandachtspunten

Perslucht wordt als aandrijving verbruikt in gevallen waar elektrische aandrijvingen explosiegevaar op kunnen leveren, of omdat persluchtaangedreven gereedschap om ergonomische redenen nodig (bijvoorbeeld vanwege het gewicht) of nauwkeuriger is (bijvoorbeeld bij moeraanzetters). Een elektrische aandrijving is altijd energiezuiniger dan een persluchtaandrijving. Het is dan ook verstandig om van tijd tot tijd te bezien of de keuze voor perslucht nog steeds terecht is. Bijvoorbeeld door de ontwikkeling van explosievrije elektromotoren kan soms toch een elektrische aandrijving mogelijk zijn. Deze afweging geldt bijvoorbeeld voor gereedschap, membraanpompen en pneumatische spuitapparatuur.

P14 Aanzuigen koude lucht

Compressor en aandrijving,
aandachtspunten

Het energieverbruik van de compressor is lager naarmate de temperatuur van de aangezogen lucht lager is. Omdat de temperatuur in de ruimte waar de compressor opgesteld staat meestal vrij hoog is, kan het in die gevallen aantrekkelijk zijn een aanzuigkanaal naar buiten aan te leggen. Als dat niet mogelijk is, is aanzuigen uit de bedrijfshal ook een verbetering als de temperatuur daar lager is dan in de compressorruimte.

In het algemeen hoort de compressor niet in een ruimte te staan met andere installaties die warmte afgeven, zoals een cv-ketel. Als dat wel het geval is moet verplaatsing overwogen worden. De besparing die door het aanzuigen van koude lucht bereikt kan worden is meestal bescheiden.

**P15 Gescheiden persluchtnetten voor
hoge en lage druk of hoge en lage
kwaliteit**

Persluchtdistributie, aandachtspunten

Bij P8 is de mogelijkheid besproken om individuele persluchttoepassingen die een lagere druk of een hogere kwaliteit vragen van het persluchtnet af te koppelen en aan te sluiten op een blower. Als er relatief veel van deze afwijkende toepassingen zijn, kan het met het oog op kosten en energieverbruik aantrekkelijker zijn twee persluchtnetten aan te leggen, met gescheiden compressie en/of conditionering. Deze optie is eigenlijk alleen bij ontwerp van een nieuw systeem of renovatie van een bestaand systeem uit te voeren.

**P16 Juiste dimensionering
persluchtleidingen**

Persluchtdistributie, aandachtspunten

Een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp is de optimale leidingdiameter. Een te kleine diameter leidt tot een onnodig hoge drukval in het leidingnet. In de literatuur (12 en 8) wordt een methode gegeven om de optimale diameter te bepalen. Bij het systeemontwerp moet de optimale diameter worden bepaald volgens de daar aangegeven of een gelijkwaardige methode.

P17 Juiste relatie tussen drogen/filteren en kwaliteitseisen

Persluchtconditionering,
aandachtspunten

De kwaliteitseisen die aan de perslucht worden gesteld zijn bepalend voor de toegepaste droog- en filterstappen. Drogen verbruikt energie of perslucht, en filters zorgen voor een extra drukval in de leidingen. Bij het systeemontwerp moeten de droog- en filterstappen goed op de gewenste kwaliteit worden afgestemd. Dit kan aan de hand van de literatuur in 2.3.5.

Bij een bestaande installaties moet erop gelet worden dat als de kwaliteitseisen veranderen (minder zwaar worden) het rendabel kan zijn een filter uit het systeem te halen of de droogtechniek te vervangen door een zuinigere alternatief.

Voorbeeld: als de eisen aan vochtigheid van perslucht versoepelen

Een belangrijke kwaliteitseis aan perslucht is het zogenaamde dauwpunt (opgegeven in °C). Hoe hoger het dauwpunt, hoe eerder condensvorming op zal treden.

Als de perslucht een dauwpunt van -40°C moet hebben is een adsorptiedroger nodig.

Deze heeft 15-20% van de inkomende luchtstroom nodig voor drogen en is dus verantwoordelijk voor 15-20% van het totale energieverbruik.

Een koeldroger, die niet verder komt dan een dauwpunt van +2°C, verbruikt elektriciteit (1-2% van de hoeveelheid die de compressor verbruikt) en geen perslucht. Als door veranderingen in de afname het dauwpunt +2°C mag zijn kan een adsorptiedroger door een koeldroger vervangen worden, wat ca. 15% van het elektriciteitsverbruik bespaart.

P18 Systeemkeuze – verminderen overdimensionering en nullastverbruik

Compressor en aandrijving,
aandachtspunten

Een nieuwe compressor wordt vaak gekozen met een groter vermogen dan nodig is. De motivatie daarvoor is meestal dat toekomstige stijgingen in de persluchtvrage kunnen worden opgevangen. Overdimensionering heeft tot gevolg dat de compressor vaak in nullast draait.

Overdimensionering van de compressor moet zoveel mogelijk worden beperkt. Als een bedrijf ervoor kiest een overgedimensioneerde compressor te plaatsen moet erop gelet worden dat de overdimensionering gemotiveerd wordt aan de hand van een realistische schatting van de mogelijke stijging van het persluchtverbruik.

Bij de aanschaf van een overgedimensioneerde compressor of meer in het algemeen van een compressor die regelmatig in nullast zal draaien is het van belang dat goed gekeken wordt naar het nullastverbruik. Dit kan bij verschillende compressortypen nogal uiteenlopen. In het algemeen heeft een schroefcompressor een hoger nullastverbruik dan een zuigercompressor. Uit voorbeelden blijkt dat bij een compressor vanaf 11 kW het nullastverbruik uiteen kan lopen van 10 tot 35% van het vollastverbruik. Bij een kleinere compressor kan het nullastverbruik zelfs oplopen tot 70% van het vollastverbruik.

2.4 Vacuümsystemen

2.4.1 Inleiding

Onder vacuümsystemen pompen lucht uit een installatie. De eenvoudigste vorm is een vacuümpomp die rechtstreeks op een apparaat of procesinstallatie is aangesloten. Als in een bedrijf op veel plekken vacuüm nodig is, kan ook een vacuümsysteem worden toegepast, dat bestaat uit een (of meer) centrale pomp(en), een buffervat en een leidingnet. Belangrijke toepassingen zijn verpakkingsmachines, transport van papier, karton, folie en dergelijke, ontgassen, (vries)drogen en vele andere. Vacuümsystemen worden toegepast in onder andere de chemische en farmaceutische industrie, de metaalektro, de papier- en kartonindustrie, de grafische industrie, de voedings- en genotmiddelenindustrie, de kunststofindustrie en in laboratoria.

Technisch is een vacuümpomp verwant aan een persluchtcompressor (zie hoofdstuk 2.3). Een belangrijk verschil is dat bij een vacuümpomp geen conditionering (ontwatering, filtering) nodig is. De elektriciteit die een vacuümpomp verbruikt wordt volledig omgezet in warmte. Deze komt vrij in de pomp zelf en in de uitgepompte lucht.

2.4.2 Waar moet je beginnen ?

Een vacuümsysteem bestaat uit de volgende onderdelen:

- 1 Een pomp (met aandrijving);
- 2 Leidingen;
- 3 Afname.

Alle onderdelen hebben invloed op het energieverbruik van het systeem. Op grond van de algemene strategie bij energiebesparing (zie 1.4) is het het beste om te beginnen bij de afname en terug te werken naar de pomp. De strategie komt neer op het optimaliseren van de afname, minimaliseren van verliezen in de leidingen, terugwinning van vrijkomende warmte en optimaliseren van het opwekkendement.

2.4.3 Wanneer welke maatregelen ?

In tabel 1 wordt aangegeven waaraan elk vacuümsysteem moet voldoen.

Als uit analyse van het energieverbruik blijkt dat het vacuümsysteem een belangrijke bijdrage aan het totale verbruik geeft, kan er naast tabel 1 ook gekeken worden naar tabel 2. Als er geen uitgebreid onderzoek komt, kan worden volstaan met de stand der techniek. Bij een uitgebreid onderzoek is het verstandig als aandachtspunt ook te kijken naar maatregel v4. Deze maatregel is rendabel bij renovatie, maar kan soms ook bij bestaande systemen relevant zijn.

Als het vacuümsysteem een belangrijke verbruiker is, en het systeem wordt nieuw ontworpen of gerenoveerd, of er vindt een renovatie plaats van de afnemers, dan kan er naast tabel 1 en 2 ook gekeken worden naar de maatregelen uit tabel 3. Bij het ontwerp wordt dan meteen gekeken naar de haalbaarheid van deze maatregelen.

Tabel 1 Maatregelen voor alle vacuümsystemen

Onderdeel		Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium
Good Housekeeping			
Leidingen	V5	Lekbestrijding (frequentie in overleg met bedrijf)	Altijd bij centrale vacuümvoorziening Decentraal afhankelijk van uitvoering
Pomp en aandrijving	V6	Pomp uitschakelen buiten bedrijfstijden	Geen vacuüm nodig buiten bedrijfstijden
Pomp en aandrijving	V7	Regelmatig onderhoud	Altijd

Tabel 2 Maatregelen bij uitgebreide aandacht voor vacuümsysteem

Onderdeel		Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium	tvf (jaar)
Stand der techniek				
Pomp en aandrijving	V1	Warmteterugwinning	Warmtebehoefte aanwezig (vooral bij centrale opwekking)	2-5
Aandachtspunten				
Leidingen	V8	Optimaliseren drukmeting	Altijd	zie tekst

Tabel 3 Maatregelen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

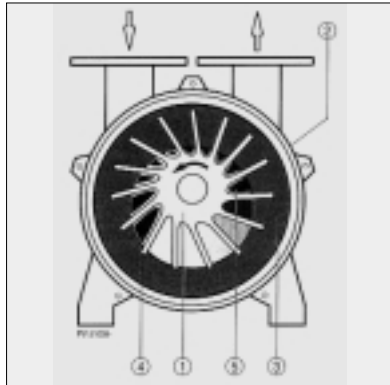
Onderdeel		Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium	tvf (jr)
Stand der techniek				
Totale systeem	V2	Centrale vacuümpomp	Bij meer vacuümafnamepunten	1-3
Leidingen	V3	Ringleiding	Bij centrale opwekking	2-4
Pomp en aandrijving	V4	Frequentieregeling	Bij wisselende vraag (vooral bij centrale opwekking)	2-4

2.4.4 Overige milieu-aspecten

De volgende milieu-aspecten van een vacuümsysteem zijn relevant:

2.4.4a Preventie gevaarlijk afval

Als de pomp gesmeerd wordt met olie levert dit een stroom gevaarlijk afval op. In sommige gevallen is ook



Figuur 4: prinseschema vloeistofringpomp

een smeermiddelvrij systeem toe te passen. Sommige typen vacuümpomp maken gebruik van een zogenaamde vloeistofring (zie figuur 4). Als de vacuümpomp condenserende gassen afzuigt,

komen deze na condensatie in contact met de vloeistof. Dit kan extra gevaarlijk afval opleveren. Een vloeistofvrije pomp zorgt ervoor dat het condens apart vrijkomt en zorgt ervoor dat de pomp minder vaak in storting gaat.

2.4.4b Geluidproductie

Een vacuümpomp is een geluidsbron. Maatregelen die leiden tot een beperking van het aantal draaiuren van de pomp verminderen ook de geluidbelasting. Overschakeling van decentrale naar centrale vacuümpompwerking leidt tot vervanging van een aantal decentrale geluidsbronnen door één centrale. Het geluidvermogen van de centrale bron is hoger. Deze is meestal beter te beheersen.

2.4.5 Beschrijving maatregelen Stand der techniek

V1 Warmteterugwinning

Pomp en aandrijving, stand der techniek

Een groot deel van de warmte die vrijkomt bij de pomp is beschikbaar voor terugwinning. Voorwaarde is dat er behoefte is aan warme lucht of warm water op de momenten dat de pomp draait. De warmte komt vrij bij de elektromotor en de pomp en in sommige gevallen bij de luchtuitlaat. De warmte komt meestal in de vorm van warme lucht vrij.

De warmte wordt optimaal gebruikt als er een toepassing voor is die altijd warmte vraagt als de pomp in bedrijf is. Voor warme lucht zou dat bijvoorbeeld toepassing in een droogproces kunnen zijn. Voor warm water hoeft de vraag niet precies gelijktijdig te zijn met het aanbod van warmte, omdat warm water opgeslagen kan worden in een buffer. Warm water kan soms gebruikt worden in een proces of bijvoorbeeld als wasserijwater of water voor schoonmaak. Soms kan bijverwarmen noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld om aan hygiënische eisen te voldoen (minimale temperatuur).

Warme lucht kan ook worden ingezet voor ruimteverwarming. Het is vaak eenvoudig een kwestie van de lucht

naar de te verwarmen ruimte leiden. Nadeel is wel dat de warmtevraag er niet het hele jaar is. In de zomer zal de warme lucht niet gebruikt kunnen worden.

V2 Centrale vacuümpompwerking

Totale systeem, stand der techniek

Centrale vacuümpompwerking met een beperkt aantal wat grotere pompen is al vrij snel aantrekkelijk als er meer vacuümvragers in het bedrijf zijn. Een nadeel is dat er extra leidingen nodig zijn, waardoor het leidingverlies toeneemt. Daar staat tegenover dat centrale vacuümpompwerking efficiënter kan zijn. Dat komt omdat:

- 1 een grotere vacuümpomp een hoger rendement heeft dan een kleine;
- 2 één of een beperkt aantal centrale pompen een efficiëntere regeling op druk mogelijk maakt (decentrale pompen draaien vaak continu, terwijl dit niet nodig is);
- 3 bij centrale opwekking vaak een lager opgesteld vermogen voldoende is (zie ook 1 en 2);
- 4 bij een beperkt aantal centrale pompen frequentieregeling eerder rendabel is (deze maatregel moet dan ook in samenhang met v8 bekeken worden).

Bijkomende bedrijfseconomische voordelen zijn besparing op de energierekening omdat het maximaal afgenomen

vermogen daalt, en vooral het feit dat bij een aantal centrale pompen storting aan één pomp verholpen kan worden zonder dat de apparatuur stilgelegd hoeft te worden. Deze maatregel kan invloed hebben op de geluidscontour van het bedrijf, en heeft een gunstig effect op arbeidsomstandigheden.



Afbeelding 3: centrale vacuümpompwerking in een drukkerij

V3 Ringleiding

Leidingen, stand der techniek

Een ringleiding geeft minder drukval in de leidingen en zorgt voor minder drukfluctuaties. De vacuümpomp kan hierdoor op een hogere druk worden geregeld. Als bij centrale vacuümpompwetting een leidingnet ontworpen wordt, is het verstandig te kijken of de leiding uitgebreid kan worden tot een ringleiding. Hier zijn extra leidingen voor nodig. De precieze investering is afhankelijk van de bedrijfslayout.

V4 Frequentieregeling

Pomp en aandrijving, stand der techniek

Bij vervanging van de vacuümpomp kan toepassing van een frequentieregelaar aandrijving rendabel zijn (zie ook hoofdstuk 2.8). Frequentieregeling is interessant als de vacuümvraag fluctueert. Bij centrale vacuümpompwetting met meerdere pompen is toepassing van frequentieregeling al snel rendabel. In dat geval hoeft meestal maar één van de opgestelde pompen frequentieregeld te zijn om ervoor te zorgen dat over een groot vermogensbereik optimaal geregeld kan worden.

De omvang van de lekstroom kan bijvoorbeeld worden gemeten door de afnamepunten en de pomp af te sluiten en te meten hoe snel de onderdruk van de leiding verdwijnt. Als t de tijd is waarin de druk met 0,1 bar is toegenomen en V het volume van de leiding(en) en een eventueel buffervat is de lekstroom ongeveer $V / (10 \cdot t)$ in m^3/s . Dit is een vrij ruwe methode.

Een nauwkeuriger methode is mogelijk als de vacuümpomp geregeld wordt op de druk in de leiding. In dat geval kan de lekstroom worden vastgesteld door de afnamepunten af te sluiten, en gedurende een bepaalde tijd te meten hoelang de pomp draait. De verhouding tussen de draaitijd van de pomp en de meettijd geeft de omvang van de lekstroom in verhouding tot het totale pompvermogen.

V5 Lekbestrijding

Leidingen, good housekeeping

Net als bij een persluchtsysteem is bestrijding van lekken bij een vacuümpomp belangrijk. Bij ieder leidingnet zal er een beetje lucht de leidingen binnendringen. Regelmatig zal moeten worden vastgesteld hoeveel dit is. De frequentie wordt in overleg met het bedrijf gekozen. Bij centrale vacuümpompwetting met een leidingnet is dit minstens jaarlijks. Bij decentrale opwekking en korte leidingen kan het meegenomen worden met normale onderhoud van de installatie waaraan de vacuümpomp gekoppeld is.

Voor een systeem met lage drukken (gemiddeld tot hoog vacuüm, < 10 mbar) geldt dat het voor de goede werking essentieel is dat het systeem lekvrij is. Over het algemeen zal het bedrijf hier zelf voor zorgen, en is verdere aandacht in het kader van de milieuvergunning niet nodig. Bij wat hogere druk (laag vacuüm, 10 mbar–1 bar) is een geringe lekstroom geen probleem voor de goede werking van het systeem. Als de lekstroom meer bedraagt dan 5% van het maximale vermogen van de pomp zal het lek moeten worden opgespoord en gerepareerd.

V6 Pomp uitschakelen buiten bedrijfstijden

Pomp en aandrijving, good housekeeping

Een vacuümpomp kan het beste uitgezet worden als er geen vraag naar vacuüm is. In ieder geval betekent dit dat de pomp buiten bedrijfstijden uitstaat. Dit kan handmatig. Als blijkt dat de pomp regelmatig buiten bedrijfstijden aan blijft staan, is het rendabel de pomp aan te sluiten op een tijdschakelaar. Een tijdschakelaar met weekprogramming kost f 30,- tot f 75,-.

V7 Regelmatig onderhoud

Pomp en aandrijving, good housekeeping

Een vacuümpomp kan storingsgevoelig zijn. Hij moet met enige regelmaat onderhouden worden. Dit is vooral belangrijk als er condenserende dampen afgezogen worden. Als er onvoldoende onderhoud gepleegd wordt gaat de werking van de pomp achteruit en neemt het energiegebruik toe.

V8 Optimaliseren drukmeting

Pomp en aandrijving en leidingen, aandachtspunt

Een vacuümpomp kan op verschillende manieren geregeld worden. Bij een decentrale opstelling kan de pomp gelijk geschakeld worden met de installatie waar hij aan gekoppeld is (d.w.z. gelijk gekoppeld aan de vacuümvraag). Als dit niet het geval is zal de pomp gekoppeld moeten worden aan een drukmeter. Dit geldt bijvoorbeeld bij centrale vacuümpompwetting en bij discontinue vacuümvraag. In die gevallen is schakelen op drukmeting energetisch gunstiger dan de pomp aan laten staan. Regeling op drukmeting zal in die gevallen standaard zijn. Bij meer geavanceerde vacuümsystemen (systemen die werken met onderdruk van 10 mbar of lager) kan het interessant zijn van tijd tot tijd te bezien of de drukmeter verbeterd kan worden.

2.5 Emissiebeperkende technieken lucht

2.5.1 Inleiding

Technieken die emissie naar de lucht tegen gaan kunnen erg energie-intensief zijn. Hieronder wordt ingegaan op de technieken met het grootste verbruik en/of het grootste besparingspotentieel. Dat betekent dat een aantal technieken buiten beschouwing gelaten wordt. Zo worden technieken voor de beperking van emissies van stof en anorganische componenten niet behandeld. Van de technieken voor bestrijding van emissies van vluchtige organische stoffen (vos) en geur wordt hier ingegaan op naverbranding, regeneratieve ad/absorptie en (cryo)condensatie. Biofilters, biotricklingfilters en biowassers zijn nauwelijks energie-intensief en worden hier niet behandeld. Ook wordt hier niet ingegaan op procesgeïntegreerde maatregelen. Technieken om een afgasstroom te concentreren zoals membraanfiltratie of een concentratorotor worden

hier niet behandeld, omdat de technieken nog in ontwikkeling zijn. De technieken zijn wel energie-intensief. Daar staat tegenover dat de eigenlijke zuivering vervolgens efficiënter kan verlopen. Het energiegebruik van het totale systeem kan daardoor lager uitvallen. Als een bedrijf overweegt een dergelijke techniek toe te passen is aandacht voor het energiegebruik ervan zeker op zijn plaats.

Dit hoofdstuk gaat niet in op de vraag wanneer een emissiebeperkende techniek geplaatst wordt of welke techniek het beste gekozen kan worden. Die afwegingen worden gebaseerd op andere beleidskaders, met name de Nederlandse Emissie Richtlijnen lucht. Voor deze tekst is het uitgangspunt dat er al een keuze gemaakt is voor een bepaalde techniek en dat daarbij gekeken wordt hoe deze keuze energetisch gezien zo goed mogelijk kan worden ingevuld. Rendement en restemissie van de techniek worden vastgesteld conform de stand der techniek en staan hier niet ter discussie.

2.5.2 Naverbranding

Bij de verbranding van vos en geurcomponenten komt warmte vrij. Of er daarnaast nog aardgas ingezet moet worden is afhankelijk van de volgende factoren:

- 1 De concentratie organische componenten
- 2 De verbrandingstemperatuur
- 3 De aanwezigheid van een warmtewisselaar voor luchtvoorverwarming en het rendement daarvan

In de onderstaande tabel wordt voor verschillende situaties een indicatie gegeven van de laagste vos-concentratie waarbij de verbranding zonder bijstook van aardgas kan verlopen.

	Verbrandingstemperatuur 750–1000 °C	Verbrandingstemperatuur 300–450 °C (katalytisch)
Zonder warmtewisselaar	20–24 g/m ³ *	10–14 g/m ³ *
Warmtewisselaar met rendement 50–70% (recuperatief)	8–12 g/m ³ *	4–7 g/m ³
Warmtewisselaar met rendement 90–95% (regeneratief)	1–3 g/m ³	0,5–1,5 g/m ³

* Let wel: de maximale VOS-concentratie wordt bepaald door de LEL (lower explosive limit). De LEL is stofafhankelijk. De afzuiging zal in het algemeen zo zijn ontworpen dat de concentratie maximaal 10% van de LEL is. Bij VOS-concentraties boven 8 g/m³ kan deze grens overschreden worden.

Aandachtspunten bij systeemkeuze

Bij de keuze voor naverbrander moet in overleg tussen bedrijf en bevoegd gezag gekeken worden welk systeem verantwoord is. Soms is het mogelijk dat een duurdere uitvoering (bijvoorbeeld een regeneratieve in plaats van een recuperatieve naverbrander) of een meer uitgebreid systeem (bijvoorbeeld uitbreiding met terugwinning van restwarmte) op grond van de resulterende energiebesparing rendabel is.

Bij de keuze voor een type naverbrander en de inpassing daarvan in de bedrijfsvoering geldt op grond van de algemene strategie ten aanzien van energiebesparing (zie hoofdstuk 1.4) de volgende voorkeursvolgorde.

1 Verbranding van afgassen in een bestaand verbrandingsproces

Als er in het bedrijf tegelijk met het vrijkomen van de afgassen een verbrandingsproces plaatsvindt met voldoende capaciteit kan de afgasstroom daarin worden gevoerd en verbrand. De warmte-inhoud van de organische componenten in de afgasstroom (zie kader) wordt zo gebruikt om het energiegebruik van het verbrandingsproces te verminderen. Een voorbeeld hiervan is het verbranden van pentaan dat vrijkomt bij het opschuimen van polystyreenschuim in een brander van de stoomketel.

Vuistregel: 1 kg VOS komt overeen met 1 m³ aardgas

De warmte-inhoud van VOS, op onderwaarde vergeleken met aardgas, loopt uiteen van 1,1–1,3 m³ aardgasequivalenten. Alkanen en toluen zitten op 1,3, alcoholen op 1,2 en ketonen en aldehyden op 1,1.



Afbeelding 4: regeneratieve naverbrander in aanbouw

2 Verbranding van afgassen in een naverbrander met nuttig gebruik van de vrijkomende warmte

De warmte die vrijkomt bij een naverbrander kan nuttig worden gebruikt als er tegelijkertijd een andere warmtevragende in het bedrijf aanwezig is. De warmte kan bijvoorbeeld nuttig worden ingezet voor een droogproces of voor de productie van warm water. Hierbij zijn extra investeringen nodig, vooral als de afstand tussen de naverbrander en de warmtebehoefte groot is, omdat dan een transportmedium (bv. water of thermische olie) en een buffervat nodig kunnen zijn (voor toelichting zie 2.9.4).

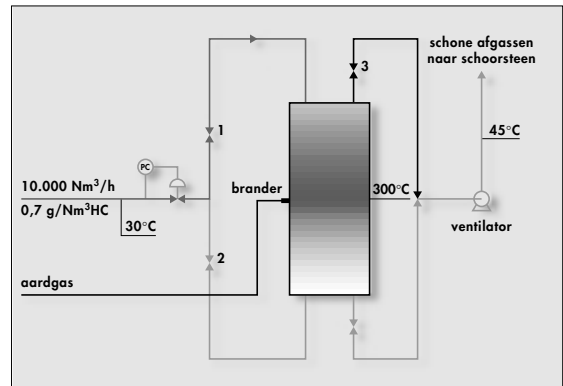
Een andere nuttige toepassing van de vrijkomende warmte kan een combinatie met een absorptiekoelmachine zijn. Op die manier kan de warmte worden ingezet voor koude-opwekking.

Let wel: bij de combinatie van warmteterugwinning met een naverbrander die bijgestookt moet worden is het van belang dat het nuttig gebruik van de warmte leidt tot een besparing op het primair energiegebruik. Met andere woorden, na plaatsing van het systeem moet het totale energiegebruik van de inrichting zijn teruggedrongen. Leidt dit tot een stijging, dan is het beter te kijken naar mogelijkheden om het verbrandingsproces zonder bijstook te laten verlopen (zie 3).

3 Verbranding van afgassen in een naverbrander met zo weinig mogelijk bijstook

Als het niet mogelijk is de verbrandingswarmte nuttig te gebruiken moet er naar gestreefd worden de bijstook zoveel mogelijk te beperken. Hiervoor zijn drie benaderingen mogelijk.

In de eerste plaats kan het systeem met een lagere verbrandingstemperatuur werken door toepassing van een katalysator. Omdat de afgassen minder ver hoeven te worden opgewarmd zijn de warmteverliezen kleiner. In de tweede plaats kan de warmte van de verbrandingsgassen gebruikt worden om de aangevoerde



Figuur 5: principe regeneratieve naverbrander

luchtstroom voor te verwarmen. Een zekere mate van voorverwarming is standaard. Het terugwinrendement hiervan is 50–70%. Bij deze rendementen spreekt men van recuperatieve naverbranding. Een hoger terugwinrendement is te halen door de verbranding plaats te laten vinden in een bed van keramisch materiaal. Door de stroomrichting van afgassen door het bed regelmatig om te keren fungeert het bed als warmtewisselaar. Hiermee zijn terugwinrendementen van 90–95% haalbaar. Dit systeem wordt regeneratieve naverbranding genoemd.

Een combinatie van deze twee benaderingen (regeneratief katalytisch) is ook mogelijk. Meestal wordt er echter gekeken naar een regeneratief systeem of een katalytisch recuperatief systeem als alternatief voor een recuperatief systeem. Hiervoor moet een afweging gemaakt worden tussen de specifieke eigenschappen. Belangrijke factoren zijn:

- De investering in een regeneratieve naverbrander is hoger.
- Een regeneratieve naverbrander is zuiniger dan een recuperatief-katalytische naverbrander, vooral bij lage concentraties (onder 3,6 g/m³).
- Bij katalytische verbranding wordt geen NO_x gevormd. Een regeneratieve naverbrander geeft een bescheiden NO_x-emissie (< 70 mg/m³).
- De katalysator van een katalytische naverbrander zal na enige tijd (3–5 jaar) worden afgevoerd en opgewerkt.

Een alternatieve methode om bijstook te verminderen is de afgasstroom voor te concentreren. Een gangbare methode is bijvoorbeeld behandeling met een adsorptiefilter, en de desorptielucht daarvan verbranden. Met technieken als membraanfiltratie of een concentrator is de afgasstroom zelf te concentreren. Omdat deze concentreertechnieken zelf ook weer energie vragen, moet er naar het effect op het totale energiegebruik gekeken worden.

De rentabiliteit van de verschillende opties is sterk afhankelijk van de karakteristieken van de afgasstroom (concentratie, debiet en bedrijfstijd). Daarnaast speelt een rol of er vraag is naar kou of warmte. Hiernaast wordt voor een beperkt aantal technieken aangegeven hoe de rentabiliteit afhangt van deze karakteristieken.

Het gaat dan om:

- wanneer is recuperatief-katalytische of regeneratieve naverbranding rendabel t.o.v. recuperatieve naverbranding?
- wanneer is het rendabel om katalytische of regeneratieve naverbranding te combineren met warmteterugwinning (dit gaat ervan uit dat er een gelijktijdige warmtevraag is)?

Dit wordt hiernaast in figuur 6 aangegeven voor verschillende bedrijfstijden.

2.5.3 (cryo)condensatie

Bij condensatie wordt de afgasstroom gekoeld om de vos te laten condenseren. Bij gewone condensatie (tot ca. -30°C) wordt hiervoor meestal compressorkoeling toegepast. Het rendement van deze techniek is sterk afhankelijk van de te verwijderen component en loopt uiteen van 50–90%. Cryocondensatie koelt de afgasstroom met behulp van vloeibare stikstof tot lagere temperaturen (-40 tot -130°C) en haalt rendementen tot 99%.

Mogelijkheden voor energiebesparing zijn vrij beperkt. Hieronder wordt kort ingegaan op de mogelijkheden om restkoude nuttig te gebruiken. Deze mogelijkheden kunnen vooral interessant zijn als er elders in het bedrijf koude nodig is.

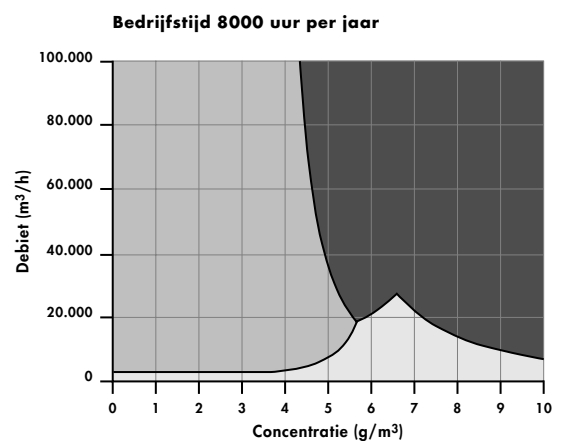
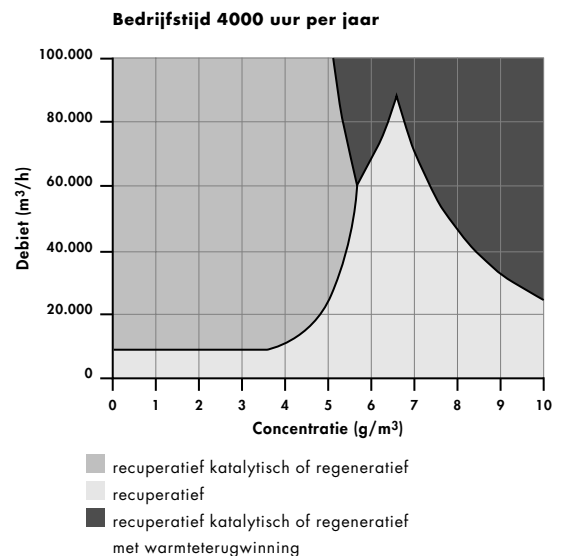
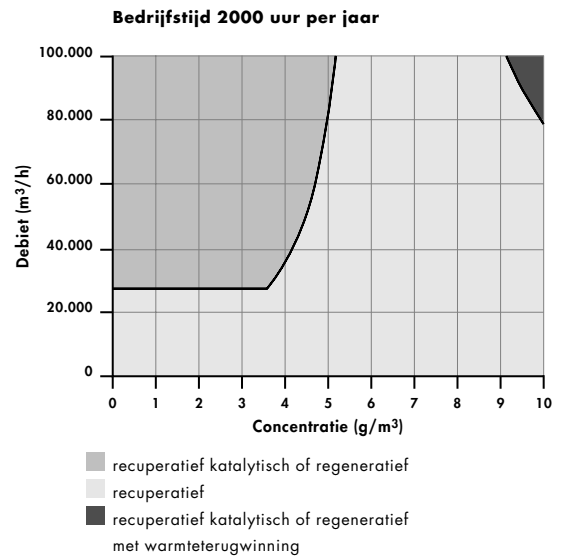
Condensatie

Condensatie met compressorkoeling wordt toegepast op afgastromen met een hoge concentratie vos ($> 100 \text{ g/m}^3$). De gecondenseerde vos kan worden hergebruikt. Aanwezige waterdamp condenseert mee, en moet soms voor hergebruik verwijderd worden. Als er geen water verwijderd hoeft te worden vraagt condensatie een energie-inzet van 0,5–1 MJ primaire energie per kg teruggewonnen vos.

De reststroom bevat nog relatief hoge concentraties vos ($1\text{--}10 \text{ g/m}^3$) en wordt vaak nabehandeld (bv. door naverbranding).

Bij condensatie zijn de maatregelen voor koelinstallaties van toepassing (zie hoofdstuk 2.1). Als aandachtspunt is nog te geven het nuttig gebruik van restkoude.

Als een afgasstroom met een hoge vos-concentratie $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$ wordt afgekoeld condenseert ca. 90% van de aanwezige vos. Dit kost ca. 10–20 kWh per 1000 m^3 behandelde afgasstroom. Hiervan is 8–12 kWh nodig voor het afkoelen en condenseren van vos, 0–4 kWh voor het afkoelen en condenseren van eventueel aanwezige waterdamp en ongeveer 4 kWh voor het afkoelen van de lucht.



Verantwoording:

- Investering en gasverbruik conform DHV/ Stafbureau NeR 1996;
- Thermisch rendement voorverwarming recuperatief 70%;
- Thermisch rendement warmteterugwinning 80%;
- Gasprijs 25 cent/ m^3 .

Figuur 6: Rentabiliteit van alternatieve uitvoeringen naverbranding

Intern hergebruik van de restkou is niet of nauwelijks uitvoerbaar, omdat een dergelijke afgasstroom bij een lichte afkoeling al condens vormt. In een warmtewisselaar is condensvorming niet wenselijk.

Hergebruik van restkoude voor gebruik elders is meestal niet rendabel, omdat dan extra investeringen nodig zijn voor opslag en transport van de koude. De restgassen na condensatie worden meestal nabehandeld, en kunnen daarom niet vervoerd worden naar een andere plaats. De restkoude kan bijvoorbeeld gebruikt worden om koud water te maken. Dit koud water kan worden gebufferd en afgevoerd naar de plek waar behoefte aan kou is (bv. proceskoeling of gebouwkoeling).

Per 1000 m³ afgas afgekoeld naar -25°C kan op deze manier bijvoorbeeld 750 liter water van 5°C gemaakt worden (een compressorkoelinstallatie zou hier 2,5 kWh voor nodig hebben). Vanwege de extra investeringen in leidingen en eventueel een buffervat is deze investering meestal niet rendabel. Bij een continue afgasstroom (1000 m³/uur, 8000 uur/jaar) en een continue gelijktijdige koudevraag kan dit systeem soms rendabel zijn. Als de restgasstroom naar een naverbrander wordt vervoerd verbetert de rentabiliteit (de restkou die hergebruikt wordt hoeft niet bijverwarmd te worden).

Cryocondensatie

Het energiegebruik van cryocondensatie kan het beste worden uitgedrukt in de hoeveelheid koudemiddel die gebruikt wordt. Cryocondensatie gebruikt naar schatting 0,3 kg vloeibaar stikstof per 100 m³ behandeld afgas (5). Als de cryocondensatie gebruik maakt van een bestaande stikstofverdamer (bijvoorbeeld ten behoeve van een inert-gasnetwerk) is er geen sprake van een extra verbruik voor deze techniek. Als het vloeibaar stikstof alleen voor de cryocondensatie wordt verdampt, moet het gezien worden als een energiedrager.

Ook hier geldt als aandachtspunt verder het nuttig gebruik van restkoude.

Bij cryocondensatie wordt een afgasstroom 70°C of meer afgekoeld. Omdat de ingangconcentratie vos veel lager is dan bij gewone condensatie zal pas bij lage temperaturen condensatie van vos optreden. Of een zekere mate van voorcooling haalbaar is, is afhankelijk van het watergehalte. Tenzij speciaal gedroogde lucht gebruikt wordt, zal er al bij geringe afkoeling waterdamp condenseren.

Hergebruik van restwarmte voor voorcooling van de afgasstroom is dus alleen haalbaar bij gedroogde lucht (constant < 30% relatieve luchtvochtigheid).

Als de cryocondensatie na een condensatiestap plaatsvindt, is een andere vorm van voorcooling mogelijk. De koude restgassen kunnen gebruikt worden als koudebron voor de condensatie. Dit is niet voldoende om volledig in de koudebehoefte te voorzien, zodat bijkoeling nodig zal zijn.

Hergebruik van restkoude voor gebruik elders kan bij cryocondensatie interessant zijn. Er zijn extra voorzieningen nodig voor opslag en transport van koude, bijvoorbeeld een warmtewisselaar, een buffervat en een leidingnet. Dit kan gebruikt worden om koud water te maken voor proces- of gebouwkoeling.

Per 1000 m³ afgas van -50°C kan 1500 liter water van 5°C gemaakt worden. Een compressorkoeling zou hier 5 kWh voor nodig hebben. Voor iedere 10°C die het afgas verder afgekoeld wordt kan ca. 270 liter extra gemaakt worden (iedere 300 liter geeft 1 kWh extra besparing).

De restgassen zijn niet alleen koud, maar ook droog. Na een eventuele terugwinning van restkoude kan de luchtstroom soms ingezet worden als alternatief voor kunstmatig gedroogde lucht. Hier is nog geen ervaring mee. Toch zou dit interessant kunnen zijn, bijvoorbeeld voor bereiding van perslucht. Als lucht die is afgekoeld tot -70°C tot 6–7 bar gecompriëerd wordt, is dit even droog als lucht die behandeld is met een absorptie- of membraandroger (zie hoofdstuk 2.3). Aangezien dit type droger voor 10–20% van het energieverbruik van de persluchtvoorziening verantwoordelijk zijn, kan dit heel aantrekkelijk zijn.

2.5.4 Adsorptie en absorptie met regeneratie

Luchtzuivering door middel van adsorptie aan actieve kool of zeolieten of door absorptie is op zich niet bijzonder energie-intensief. Als het filter of de vloeistof regelmatig geregenereerd wordt, is de techniek wel energie-intensief. Voor regeneratieve adsorptie aan actief kool zijn de energiekosten voor regeneratie met stoom bijvoorbeeld ongeveer 0,4 m³ aardgas (13 MJ) per kg vos. Ter vergelijking: condensatie vraagt 0,5–1 MJ per kg teruggewonnen vos.

Er zijn weinig mogelijkheden om het energieverbruik van deze techniek te verminderen.

2.6 Waterzuiveringstechnieken

2.6.1 Inleiding

De meeste waterzuiveringstechnieken zijn niet bijzonder energie-intensief. Bij enkele technieken is er sprake van een behoorlijk energieverbruik en/of een –besparingspotentieel. Deze technieken worden hieronder behandeld. In paragraaf 2.7 wordt ingegaan op ontwateringstechnieken.

2.6.2 Biologische zuivering

De beginselen en werking van biologische zuivering worden toegelicht in het Informatieblad Rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Hieronder wordt ingegaan op de maatregelen die voor een particuliere waterzuivering van belang zijn.

Uit de algemene strategie voor energiebesparing (zie hoofdstuk 1.4) volgt dat het van belang is er eerst voor te zorgen dat er zo min mogelijk verontreinigd water ontstaat. Dit wordt hier niet behandeld. Vervolgens worden die maatregelen getroffen die ervoor zorgen dat de zuivering zo min mogelijk energie verbruikt, en tenslotte wordt er gekeken naar maatregelen die zorgen voor winning van biogas.

2.6.2.1 Wanneer welke maatregelen?

Als uit de analyse van het energieverbruik van een bedrijf blijkt dat de biologische zuivering een belangrijke bijdrage aan het totale verbruik geeft, wordt er gekeken naar de maatregelen uit tabel 1.

Als de biologische zuivering een belangrijke verbruiker is, en het systeem wordt nieuw ontworpen of gerenoveerd, dan kan er naast de maatregelen uit tabel 1 ook gekeken worden naar de maatregelen uit tabel 2.

Tabel 1 Maatregelen bij uitgebreide aandacht voor biologische zuivering

Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium	Tvt	
Stand der techniek			
WB1	Intermitterend beluchten	Onderbelasting	< 1
WB2	Koppeling beluchting aan meting van zuurstofgehalte	Altijd	Zie tekst
WB3	Volledige benutting biogas door:	Bij slibstabilisatie of anaërobe zuivering	1–8
	1 benutting warmtecapaciteit van de gistingstank		
	2 (grotere) biogasvoorraadtank		
	3 bijmengen van aardgas		
	4 levering van elektriciteit aan het net		
Good housekeeping			
WB6	Verlagen slibgehalte tot ontwerpbelasting	Bij onderbelasting	nvt
WB7	Regelmatig onderhoud aan beluchting	Altijd	nvt
WB8	Regelmatig onderhoud aan pompen en gemalen	Altijd	nvt

Tabel 2 Maatregelen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

Omschrijving maatregel	Toepassingscriterium	Tvt	
Stand der techniek			
WB4	Anaërobe (voor- of na)zuivering	Bij ontwerp	2–5
WB5	Mechanische slibontwatering	Slibafvoer voor thermische droging, compostering of verbranding	1–8

2.6.2.2 Overige milieu-aspecten biologische zuivering

Naast het energieverbruik en het zuiveren van het afvalwater heeft een biologische zuivering nog een aantal andere milieu-aspecten waar in de milieuvergunning rekening mee gehouden moet worden. De belangrijkste daarvan zijn:

4a Waterzuivering

Het hoofddoel van een biologische waterzuivering is verwijderen van organische componenten (BZV) uit het afvalwater. Het bereiken van dit doel is een randvoorwaarde voor alle maatregelen.

4b Geluidproductie

Een aërobe waterzuivering met puntbeluchting produceert geluid. Maatregelen die erop gericht zijn de beluchting optimaal af te stemmen op de zuurstofbehoefte van het zuiveringsproces zullen over het algemeen een vermindering van de geluidsproductie geven, omdat de beluchting zo nu en dan uit staat of omlaag geregeld wordt.

4c Geur

Een waterzuivering kan een geuremissie geven. De hier gegeven maatregelen hebben hier over het algemeen geen invloed op.

4d Afval

Waterzuivering geeft een afvalstroom in de vorm van slib. Maatregelen aan de beluchting en eventuele biogasbenutting hebben geen invloed op het zuiverings-slib. Anaërobe zuivering geeft minder slib en meer biogas dan aërobe zuivering (zie WB7).

Zelf slib ontwateren in een zeefbandpers of centrifuge zorgt voor een efficiëntere slibverwerking (op voorwaarde dat slib afgevoerd wordt naar een verwerker die nat slib eerst mechanisch ontwaterd). Zelf ontwateren reduceert het slibvolume met ongeveer 75%. Dit geeft zowel een reductie van de verwerkingskosten als een beperking van het transportvolume.

2.6.2.3 Beschrijving maatregelen

WB1 Intermitterend beluchten

Stand der techniek

In een onderbelaste zuivering kan de beluchting af en toe uitgezet worden, zonder dat het rendement van de installatie achteruit gaat. Als er puntbeluchters gebruikt worden, hebben die vaak als tweede functie het slib in beweging te houden zodat het niet bezinkt. Als dit zo is mag de inbreng niet lager zijn dan 60–70% van het opgesteld vermogen. De mogelijkheid en uitvoering is sterk installatiespecifiek.

Bij een keramische bellenbeluchter kan deze maatregel tot problemen leiden, omdat deze als hij uitgezet wordt verstopt kan raken door slibafzettingen op het oppervlak. Puntbeluchters en membraan(bellen)beluchters hebben dit probleem niet.

Intermitterend beluchten kan gekoppeld worden aan meting van het zuurstofgehalte (zie onder).

WB2 Koppeling beluchting aan meting van het zuurstofgehalte

Stand der techniek

Het is mogelijk de zuurstofinbreng nauwkeurig te regelen. Bij puntbeluchters kan dit door regeling van het toerental of de indompeldiepte. Bij een bellenbeluchter kan dit door toerenregeling van de compressor.

Optimalisatie betekent dat de zuurstofinbreng wordt geregeld op de zuurstofbehoefte. Aan de hand van metingen is het mogelijk de zuurstofbehoefte in het proces nauwkeuriger vast te stellen.

Voor aërobe afbraak moet het zuurstofgehalte in de beluchting een bepaalde waarde hebben. Door het zuurstofgehalte te meten is het mogelijk in te grijpen als het zuurstofgehalte hoger wordt dan nodig is. Dat kan door de beluchting uit te zetten (intermitterend beluchten), maar het is ook mogelijk de beluchting te verminderen door toerenregeling.

Een zuurstofmeter kost f 5.000–f 10.000,-.

Het is belangrijk te benadrukken dat een meetsysteem er primair op gericht moet zijn de afbraak te optimaliseren. Als secundair effect kan het ervoor zorgen dat het optimale zuiverings-

rendement bereikt wordt met een zo laag mogelijk energieverbruik. Het kan voorkomen dat door een meetsysteem het energieverbruik voor de beluchting stijgt (namelijk als het zuiveringsrendement te laag was).

WB3 Volledige benutting biogas

Stand der techniek

Het komt nog steeds voor dat biogas niet volledig wordt gebruikt. Een reden hiervoor is dat het aanbod van biogas fluctueert. In de praktijk wordt het biogas vaak voor een deel gebruikt in een gasmotor, de rest wordt dan afgefakkeld of verbrand in een ketel met warmtevernieuwing.

Er zijn verschillende mogelijkheden om het aandeel nuttig gebruikt biogas te vergroten:

1 Benutting warmtebuffercapaciteit van de slibgistingstank

Buffering van warmte in de slibgistingstank is soms een interessante optie waarmee de jaargemiddelde biogasbenutting aanzienlijk kan verbeteren. In veel gistingstanks wordt de slibtemperatuur op circa 32°C gehouden, wat algemeen als een ideale gistingstemperatuur wordt beschouwd. Verschillende praktijkervaringen wijzen echter uit dat een temperatuur van 36°C de slibgisting nog niet (aantoonbaar) nadelig beïnvloedt. Door de enorme slibhoeveelheid in de gistingstank ontstaat hiermee een grote warmtebuffercapaciteit. Door, bij een in (in verhouding tot de warmtevraag) groot aanbod van biogas, de 'overtollige' warmte van de generatoren te bufferen in de slibgistingstank, kan de jaargemiddelde biogasbenutting worden verbeterd.

2 Het plaatsen van een (grotere) biogas-voorraadtank

Het plaatsen van een (grotere) biogas-voorraadtank zorgt voor (extra) buffervermogen, waardoor de jaargemiddelde biogasbenutting verbetert.

3 Bijmengen van aardgas

Indien de capaciteit van een (mogelijk te plannen) gasmotor niet altijd volledig wordt benut als gevolg van momenten met een laag aanbod van biogas, kan worden overwogen om aardgas bij te mengen. Dit vereist

extra regeling, omdat het verschil in calorische waarde tussen aardgas en biogas moet worden gecompenseerd door de druk van het aardgas te verlagen, of een inert gas bij te mengen.

4 Levering van overschotten in geproduceerde elektriciteit aan het net

Deze optie kan interessant zijn voor inrichtingen met slibgisting en generatoren, met een aanzienlijk overschot aan biogas en daaruit te winnen elektriciteit in vergelijking met de eigen behoefte.

Ondanks deze mogelijkheden zal in de praktijk vaak een zekere hoeveelheid restwarmte blijven ontstaan. Soms zijn er mogelijkheden om deze restwarmte te benutten voor ruimteverwarming (bv. van kantoorruimtes). Bij inrichtingen waar ook slib wordt ontwaterd, kan restwarmte soms worden toegepast voor verhoging van het ontwateringsrendement (warm slib kan bv. makkelijker worden ontwaterd dan koud slib).

WB4 Anaërobe (voor- of na)zuivering

Stand der techniek, bij ontwerp

Soms is een keuze mogelijk tussen anaërobe en aërobe zuivering. De keuzemogelijkheid wordt bepaald door de effluent-eisen; deze moeten gehaald kunnen worden met anaërobe zuivering, en de karakteristieken van het afvalwater moeten zich hiervoor lenen. Voordelen van anaërobe boven aërobe zuivering zijn:

- geen beluchting nodig;
- productie van biogas;
- weinig slibproductie.

Nadelen zijn dat anaërobe zuivering een nauwkeuriger procesbeheersing nodig heeft en geen organische stikstofverbindingen af kan breken. Het eerste nadeel kan ondervangen worden door speciale reactoren en voorzieningen zoals buffer-vaten of temperatuur- en pH-bewaking toe te passen. Het tweede nadeel is zwaarwegend en leidt er vaak toe dat uitsluitend anaërobe zuivering geen optie is.

Het is vaak wel mogelijk een anaërobe stap in het proces op te nemen.

Bij afvalwater met een hoog BZV kan het aantrekkelijk zijn anaëroob voor te zuiveren, gevolgd door aërobe zuivering om aan effluent-eisen te voldoen. Deze maatregel wordt toegepast om energie te besparen en de hoeveelheid

zuiveringsslib terug te dringen.

Als stikstofverwijdering nodig is, kan het nuttig zijn om anaëroob na te zuiveren. Naast vorming van biogas vindt dan denitrificatie plaats. Het is soms mogelijk een deel van de afvalwaterstroom rechtstreeks naar de anaërobe zuivering te leiden, waar het als koolstofbron voor de denitrificatie kan dienen.

Deze maatregel is in het algemeen alleen kosten-effectief bij vervanging of nieuwbouw, omdat dan alleen gekeken hoeft te worden naar de meerkosten ten opzichte van een centrapssysteem, zodat de terugverdientijd korter is. Anaërobe nazuivering zorgt voor een stijging van de investeringskosten voor de installatie van 20 tot 40%. Anaërobe voorzuivering is duurder.

WB5 Mechanische slibontwatering

Stand der techniek

Het slib uit de gravitatie-indikker heeft een droge-stofgehalte van ca. 3–5%.

Door het mechanisch te ontwateren in een zeefbandpers (of een slibcentrifuge) kan het droge-stofgehalte worden opgevoerd naar 17–25%. Het volume neemt hierdoor flink af; bijvoorbeeld bij verhoging van het droge-stofgehalte van 5 naar 20% neemt het slibvolume met 75% af.

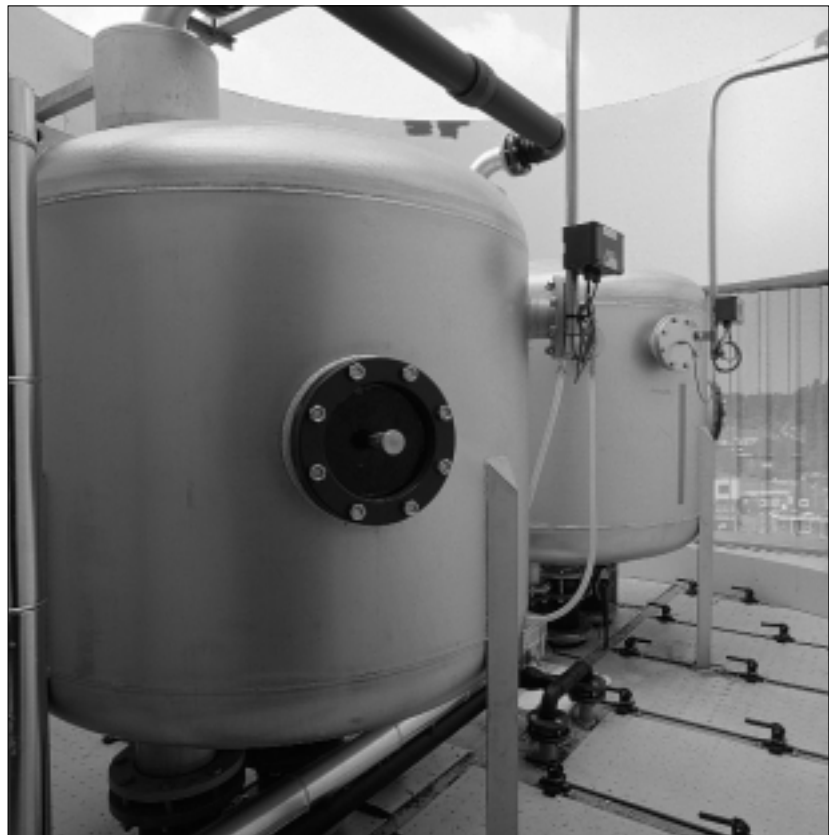
Slibverwerkingsinstallaties die zuiveringsslib thermisch drogen, verbranden of composteren beginnen het proces door slib mechanisch te ontwateren tot een droge-stofgehalte van 20–25%. Als deze ontwateringsstap wordt uitgevoerd bij de waterzuivering zelf heeft dat als gevolg:

- dat het energieverbruik bij de waterzuivering stijgt;
- dat het energieverbruik bij de slibverwerking evenveel daalt;
- dat er 75% minder slib getransporteerd hoeft te worden, wat leidt tot een besparing van kosten en energie;
- dat het energieverbruik in de slibverwerkingsketen als geheel dus afneemt.

Deze effecten treden niet op als het slib wordt afgevoerd naar een installatie waar het slib verwerkt wordt met natte oxidatie.

De terugverdientijd is mede afhankelijk van transport- en verwerkingskosten.

Deze zijn zeer installatie specifiek.



Afbeelding 5: een anaërobe waterzuivering in aanbouw

De terugverdientijd moet dan ook altijd individueel bekeken worden.

De milieu-effecten van de maatregel moeten tegen elkaar worden afgewogen. De relevante factoren zijn dat een belangrijke afvalstroom wordt geconcentreerd, dat het energieverbruik van de inrichting stijgt (het energieverbruik in de keten neemt af), dat het aantal verkeersbewegingen om de inrichting afneemt, en dat een extra geluidsbron wordt toegevoegd. Als de slibontwatering in een gebouw plaats vindt, is de bijdrage aan de totale geluidsbelasting gering.

WB6 Verlagen slibgehalte (hoeveelheid slib per m³)

Good housekeeping

Het energieverbruik van een installatie is optimaal als gewerkt wordt op de ontwerp-slibbelasting (in biochemisch zuurstofverbruik of BZV per kg slib). Om bij onderbelasting (dus bij een laag BZV-aanbod) de ontwerp-slibbelasting toch te bereiken kan het slibgehalte van de installatie (in kg slib per m³) verlaagd worden. Het slibgehalte mag niet lager worden dan 2 kg droge stof per m³ omdat het proces dan instabiel wordt.

WB7 Onderhoud aan beluchtingssystemen

Good housekeeping

Door periodiek onderhoud wordt voorkomen dat het energieverbruik van beluchtingssystemen te veel toeneemt. Dit is vooral van belang voor bellenbeluchting. Door afzetting van slib op het oppervlak van het beluchtingselement raken de openingen gedeeltelijk verstopt, waardoor de compressor op hogere druk moet gaan werken om dezelfde hoeveelheid lucht in te brengen.

WB8 Onderhoud aan gemalen en pompen

Good housekeeping

Voor het energieverbruik relevante factoren zijn:

- het voorkomen van slijtage;
- het voorkomen van vervuiling van de pompen;
- het schoonhouden van persleidingen.

2.6.3 Membraanfiltratie

Membraanfiltratie is een techniek die de laatste jaren een snelle ontwikkeling heeft doorgemaakt. Bij membraanfiltratie wordt een waterige stroom door een selectief membraan geleid. Bij de messt gebruikte vorm is een drukverschil de drijvende kracht. Het membraan laat specifieke verontreinigingen niet door. Deze verontreinigingen blijven in geconcentreerde vorm achter. De selectiviteit van het membraan wordt vooral bepaald door de poriegrootte. Bij afnemende poriegrootte (en toenemende selectiviteit) spreekt men van microfiltratie en ultrafiltratie (werkdruk 1 bar), nanofiltratie (5–8 bar) en hyperfiltratie (8–15 bar). Membraanfiltratie vraagt relatief veel energie per m³ vergeleken met andere waterzuiveringstechnieken die een vergelijkbare functie hebben. De energie is nodig om het te behandelen water op druk te brengen. In het algemeen geldt hierbij dat bij afnemende poriegrootte de benodigde druk en dus het energiegebruik zal toenemen.

Aandachtspunten

1 Aandacht voor energie bij systeemkeuze

Bij de keuze voor een zuiveringstelsel zal bij de keuze voor membraanfiltratie het energiegebruik moeten worden meegewogen naast de andere relevante milieuaspecten van de techniek en haar alternatieven. Bij de drinwaterbereiding krijgt membraanfiltratie meestal de voorkeur als het alternatief een meertrapsreiniging is. Voor een uitgebreide toelichting op deze afweging wordt hier verwezen naar het CIW-rapport Handreiking lozing membraanconcentraat (CIW/CUWVO, Den Haag, november 1999).

2 Levensduur membraan

Membraanfiltratie is in ontwikkeling. De afgelopen jaren zijn de eigenschappen van de membranen steeds verbeterd, en deze ontwikkeling is nog steeds bezig. Een belangrijke verbetering die bereikt wordt is dat dezelfde selectiviteit van de membranen bij steeds kleinere drukverschillen bereikt kan worden. Met andere woorden, met een nieuw membraan kan hetzelfde rendement bij een kleiner drukverschil, en dus een lager energiegebruik worden bereikt. De ontwikkeling is op het moment zodanig dat het rendabel kan zijn een membraan te vervangen voor het versleten is. Zeker bij grote behandelde debieten is het aan te bevelen regelmatig te kijken of vervanging rendabel is.

3 Regelmatig onderhoud aan het membraan

Bij gebruik kan het membraan verontreinigd raken door neerslag van zouten of aangroei. Als dit gebeurt raken de poriën verstopt en zal een hogere druk nodig zijn om de filtratie gaande te houden. Dit kan voorkomen worden door regelmatig onderhoud. Vaak worden toeslagstoffen (zuren, speciale anti-scalants, reinigings- en desinfectiemiddelen inclusief biociden) aan de waterstroom toegevoegd om vervuiling van het membraan te voorkomen. Aangezien deze stoffen in het membraanconcentraat terecht komen, moet gebruik hiervan op zijn totale milieueffect beoordeeld worden. Zie hiervoor het CIW-rapport Handreiking lozing membraanconcentraat.

2.7 Drogen en ontwateren

2.7.1 Inleiding

Het is niet mogelijk om voor drogen en ontwateren op dezelfde manier energiebesparende maatregelen aan te geven als voor andere installaties. In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de manier waarop energiebesparing bij drogen en ontwateren kan worden ingevuld. Doel van dit hoofdstuk is vooral om het bevoegd gezag een indruk te geven wanneer er bij drogen of ontwateren een besparingspotentieel zou kunnen zijn, en om informatie te geven die kan helpen bij het opzetten en beoordelen van een gericht onderzoek hiernaar.

Drogen is energie-intensief en komt in veel bedrijfstakken voor. Voorbeelden zijn de voedings- en genotmiddelenindustrie, de textielindustrie, de papierindustrie, de chemische industrie en de bouwmaterialenindustrie. Het totale verbruik van primaire energie door droogprocessen in de industrie wordt geschat op 60 PJ (14). Drogen houdt in dat het vochtgehalte van een product of grondstof wordt verlaagd. In de meeste bedrijven zal drogen eerder als processtap dan als faciliteit moeten worden gezien. Vanwege het feit dat de aanbevelingen die hier gegeven worden algemeen gelden voor droogtechnieken is er voor gekozen ze toch in dit informatieblad op te nemen.

Ontwateren is een bijzondere vorm van drogen. Onder ontwateren wordt verstaan het verwijderen van vloeibaar water uit een natte product-, grondstof- of afvalstroom. Meestal wordt dit uitgedrukt in verhoging van het droge-stofgehalte. Bij ontwateren wordt ook ingegaan op indampen. Drogen of ontwateren is bedoeld om het watergehalte terug te dringen tot een vereiste restvochtgehalte. Mechanische technieken (ontwateren) hebben een relatief laag energiegebruik, maar halen het vereiste restvochtgehalte niet altijd. Thermische technieken (drogen en indampen) halen dit wel, maar hebben een relatief hoog energiegebruik. Het is niet de bedoeling van dit hoofdstuk een compleet overzicht te geven van de mogelijkheden die er zijn voor optimalisatie van het energieverbruik voor drogen en ontwateren. Daarvoor zou te zeer in detail getreden moeten worden over droogeigenschappen van verschillende producten. De bedoeling van dit hoofdstuk is voor de vergunningverlener inzichtelijk te maken wanneer een droogproces een besparingspotentieel heeft en in welke richting de besparing gezocht moet worden. Dit kan vervolgens in een nader onderzoek worden uitgewerkt. Belangrijke ingangen voor een dergelijke uitwerking zijn bijvoorbeeld de gids 'Vochtigheidssensoren voor droogprocessen' (14) en het rapport 'Energie-efficiënt drogen en verwerken van slib en mest' (16) van Novem.

2.7.2 Droogtechnieken

De belangrijkste droogtechnieken zijn:

1 Convectie- of directe drogers

Drogen vindt plaats door toevoer van warmte. Het warmtemedium komt direct in contact met het te drogen product. Het meest toegepaste medium is warme lucht, maar voor sommige producten wordt oververhitte stoom gebruikt. Hiervan zijn verschillende uitvoeringsvormen, zoals een baandroger, een banddroger, een kamerdroger, een trommeldroger, een tunneldroger, een sproeidroger en een werfelbeddroger. Bij gebruik voor ontwatering van slib of mest loopt het energiegebruik per kg onttrokken water uiteen van 4000 tot 6000 kJ. Dit geeft voor andere toepassingen alleen de orde van grootte aan; bij andere toepassingen is ook belangrijk hoeveel warmte in het product achterblijft.



Afbeelding 6: een droogtunnel voor spaanplaat

2 Conductie- of indirecte drogers

Drogen vindt plaats door toevoer van warmte. De warmte wordt toegevoerd via oppervlakken zoals platen, trommels of speciale peddels. Veel voorkomende drogers zijn de peddeldroger, andere zijn de schijvendroger, de walsdroger, de cilinderdroger en de schijvendroger.

Bij gebruik voor ontwatering van slib en mest loopt het energiegebruik per kg onttrokken water uiteen van 4000 tot 6000 kJ. Voor andere toepassingen kunnen andere waarden voorkomen.

3 Convectiedroger met mechanische damp recompressie

Als de damp die vrijkomt bij een directe droger verzadigd is met waterdamp is het soms rendabel de damp door een compressor te leiden. Daardoor worden temperatuur en druk verhoogd, zodat de waterdamp bij een hoge temperatuur gaat condenseren. Dit maakt nuttig gebruik van de condensatiewarmte van de waterdamp mogelijk. Het gaat hier om een relatief nieuwe techniek, waar al enkele praktijkervaringen in

het drogen van slib en mest mee zijn opgedaan. Hierbij is het gelukt het energiegebruik per kg onttrokken water te beperken tot 1200 kJ. De extra compressor en warmtewisselaar met condensor zorgt voor een hogere investering, maar als er veel water onttrokken moet worden (bijvoorbeeld bij slibdroging of bij indampen) kan deze techniek rendabel zijn.

4 Stralingsdrogers

Drogen vindt plaats door verwarmen van het te drogen product met straling. Infrarooddrogers worden toegepast voor het drogen van oppervlakken. Magnetronstraling kan worden toegepast voor het homogeen drogen van producten (bijvoorbeeld biscuit). Het gaat hierbij meestal om gespecialiseerde toepassingen. Vooral magnetronstraling kan de toegevoerde energie met hoge efficiëntie toevoeren aan het te verdampen water.

Stralingsdrogers kunnen gecombineerd worden met convectie- of conductiedrogers. Door de eerste fase van het droogproces met convectie of conductie uit te voeren (voor de bulk van het te verwijderen vocht) en de laatste fase met een microgolfdroger (voor restanten moeilijker te verwijderen vocht) zijn forse verbeteringen mogelijk in productkwaliteit, droogsnelheid en energiegebruik.

2.7.3 Technieken voor ontwateren en indampen

De belangrijkste invloed op het energiegebruik van ontwateren is de keuze voor het systeem. Vaak is een combinatie van systemen aantrekkelijk. De belangrijkste technieken zijn:

1 Indikken

Voor sommige waterige stromen zoals slib of mest is het mogelijk water te verwijderen door het te laten staan en de vaste stof te laten uitzakken. Voor waterige stromen is hiermee een vaste-stofgehalte tot 5% haalbaar. Deze manier van indikken kost geen energie. Het kost alleen tijd en vraagt ruimte voor een bezinktank. Om die redenen is het niet op alle stromen toepasbaar.

2a Mechanisch ontwateren: pers of centrifuge

Water kan mechanisch verwijderd worden door het uit de stroom te persen in bijvoorbeeld een zeefbandpers of een centrifuge. Met deze techniek is een droge-stofgehalte van 20–25% haalbaar. Deze techniek kost ongeveer 1–2 kWh/m³ verwerkte slib of mest. Het primair energiegebruik voor wateronttrekking voor deze techniek is 15–30 kJ/kg water.

Een centrifuge gebruikt net iets meer energie dan een zeefbandpers. Bij grote stromen kan het daarom aantrekkelijk zijn naar het verschil tussen de twee te kijken (bijvoorbeeld bij ontwatering vanaf 1–2% droge stof). Bij de afweging moeten de volgende factoren worden betrokken:

- een zeefbandpers vraagt vaak om toeslagstoffen (vlokmiddel);

- een zeefbandpers is een open constructie, en geeft daardoor meer vervuiling (spatten) en stank in de ruimte waar hij staat opgesteld;
- een zeefbandpers vraagt om meer toezicht dan een centrifuge;
- een centrifuge produceert meer geluid dan een zeefbandpers;
- een centrifuge is gevoeliger voor slijtage.

2b Mechanisch ontwateren: luchtmes

Speciaal voor het verwijderen van vloeistoffen (en andere vervuilingen) van het oppervlak van producten kan een luchtmes worden gebruikt. Een luchtmes is een smalle luchtstraal die met een hoge uitstroomsnelheid uit een blaasmond stroomt. Een luchtmesstelsel bestaat uit een centrifugaalventilator of blower, en een drukkamer met blaasmond. Het luchtmes stuwt vloeistof op en vernevelt het. Het energiegebruik is 0,1–0,2 kWh (900–1800 kJ) per kg verwijderd water. De kosten zijn afhankelijk van het type blower en variëren van f 3000,- per kW voor een blower die tot 100 bar kan gaan tot f 350,- per kW voor een blower voor ca. 2 bar.

3 Membranaanfiltratie (zie ook hoofdstuk 2.6.3)

Membranaanfiltratie kan gebruikt worden voor ontwatering. Het gaat dan om technieken die gebaseerd zijn op omgekeerde osmose (bv. micro- of ultrafiltratie). Deze techniek is vooral geschikt voor concentreren; voor slib ontwateren is meestal een hogere druk nodig, waardoor de techniek minder aantrekkelijk kan worden. Er kan een vaste-stofgehalte tot 35% mee bereikt worden (als het om een geschikte stroom gaat, bv. baggerspecie). Het energiegebruik is ongeveer 10 kWh per m³ verwijderd water. Per kg water is dat ongeveer 90 kJ.

2.7.4 Energiebesparing bij drogen, ontwateren en indampen

De benadering voor energiebesparing is anders voor enerzijds drogen, en anderzijds ontwateren en indampen.

Drogen

Uit de algemene strategie voor energiebesparing volgt dat het van belang is eerst het energiegebruik van het droogproces zelf te minimaliseren en vervolgens te kijken naar mogelijkheden de restwarmte nuttig te gebruiken. Tenslotte kan gekeken worden naar optimalisering van het opwekkendement van de gebruikte warmte. Op dit laatste aspect wordt hier niet ingegaan. De warmte die voor het drogen direct of indirect wordt aangevoerd, wordt afgevoerd met het product en met de (warme en vochtige) drooglucht.

De warmte die met het product wordt afgevoerd is een vaste hoeveelheid waar meestal weinig aan te optimaliseren valt. De beste droogtemperatuur is een procesgegeven en kan niet worden beïnvloed. Als het droogproces niet volledig beheerst wordt, kan het voorkomen dat producten oververhit raken. Er wordt dan meer

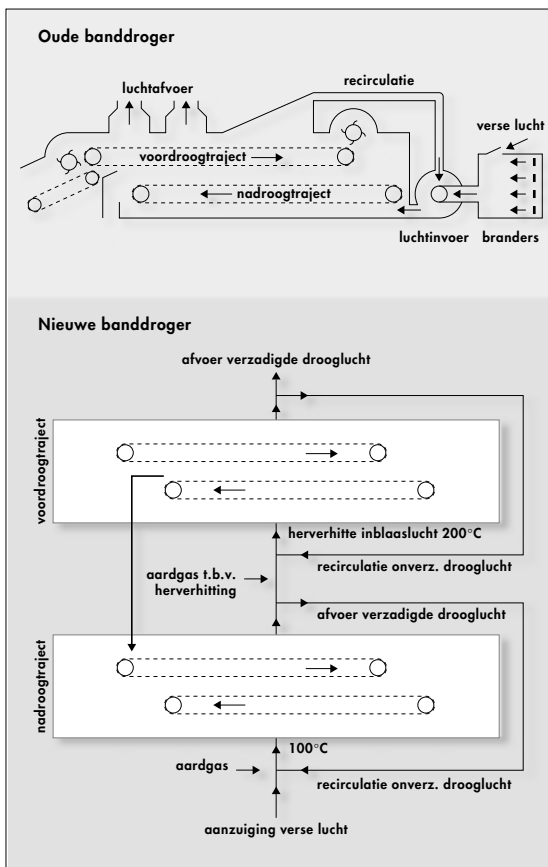
warmte toegevoerd dan nodig is voor het drogen. De drooglucht voert het overtollige vocht als damp af. Bij een optimale droging is de afgevoerde lucht verzadigd met waterdamp. Let wel: in sommige gevallen zal de afvoerlucht een lager vochtgehalte moeten hebben, bijvoorbeeld vanwege vochtgevoeligheid van materialen.

Maatregelen om het energiegebruik van drogen te optimaliseren zijn:

1 Recirculatie van drooglucht

Als de drooglucht nog water op kan nemen is het soms mogelijk de afgevoerde lucht terug te voeren en geheel of gedeeltelijk opnieuw te gebruiken. Op die manier kan de verzadigingsgraad van de drooglucht worden verhoogd. Voor deze maatregel zijn extra leidingen en dergelijke nodig.

Bij ontwerp van het systeem kan de verzadigingsgraad van drooglucht het meest effectief worden geoptimaliseerd. Als de ruimte dit toelaat kan soms het aantal droogstappen worden vergroot. Bij drogen in twee stappen waarbij de afvoerlucht van stap twee gebruikt wordt als drooglucht voor stap één kan met minder lucht gedroogd worden dan bij een eentrapssysteem.



figuur 7: een voorbeeld van optimalisatie van een droogproces bij een groenvoerdrogerij

2 Hulpmiddelen: regeling en sensoren

Als een droogproces op een vast droogluchtdebiet geregeld is, of met de hand bediend wordt, kan het voorkomen dat er structureel teveel warmte gebruikt wordt voor het drogen. Dit leidt tot grotere verliezen door een te hoog droogluchtdebiet en kan leiden tot oververhitting van het te drogen product. Het proces kan beter beheerst worden door PLC-geregelde apparatuur toe te passen, en goede vochtsensoren te gebruiken. Bij gecompliceerde droogprocessen kan zelfs aan computerbesturing gedacht worden. Een bedrijf kan aan de hand van de gids Vochtigheidssensoren voor droogprocessen van Novem (14) bekijken of dit interessant is.

3 Terugwinning van warmte uit drooglucht

Als het droogproces geoptimaliseerd is, kan er gekeken worden naar de mogelijkheid om de warmte die met de drooglucht wordt afgevoerd nuttig te gebruiken. Het grootste deel van de toegevoerde warmte is nodig om water te verdampen, en is alleen terug te winnen door de waterdamp in de afvoerlucht te laten condenseren. Hiervoor moet de afvoerlucht tot ca. 50°C worden afgekoeld. Dit is alleen nuttig als er laagwaardige warmte nodig is in het bedrijf, bijvoorbeeld voor laagtemperatuurverwarming. Als deze warmte nuttig gebruikt kan worden is terugwinning bij de meeste droogprocessen rendabel.

Ontwateren en indampen

Het energiegebruik van ontwateren en indampen van natte stromen kan worden beperkt met twee maatregelen. Vanwege het ingrijpende karakter van deze maatregelen moeten ze worden gezien als aandachtspunten bij het systeemontwerp.

1 Zoveel mogelijk water vloeibaar afvoeren

Het energiegebruik per kg verwijderd water voor ontwateringstechnieken die water verdampen is 10 tot 100 keer hoger dan voor technieken die water vloeibaar afvoeren (indikken, mechanisch ontwateren en membraanfiltratie). Met deze laatste groep technieken haal je een veel minder hoog droge-stofgehalte. Het optimale energiegebruik voor ontwateren en indampen bereik je als je een zo groot mogelijk deel van het water vloeibaar kunt verwijderen. Een meertraps-ontwatering kan daarvoor de beste oplossing zijn.

2 Mechanische damp recompressie

Bij technieken die water verdampen is door toepassing van een compressor hergebruik van de condensatiewarmte van de afgevoerde waterdamp mogelijk. Het totale energiegebruik van het proces kan hiermee met 75% worden verminderd. Bij grootschalige ontwaterings- of indampprocessen kan deze techniek rendabel zijn. Meer informatie hierover is te vinden in het Novem-rapport Energie-efficiënt drogen van slib en mest (16).

3.7.5 Literatuur bij dit hoofdstuk

Nadere informatie over energiebesparing bij drogen, ontwateren en indampen is te vinden in:

- 1 *Vochtigheidssensoren voor droogprocessen* (tweede geheel herziene uitgave), Novem 1996, DV3.4.36.96.10
- 2 *Efficiënte regeling van droogprocessen*, verslag workshop 22 november 1994, Novem DV3.4.21.95.02
- 3 *Energie-efficiënt drogen van slib en mest*, Novem mei 1998, DV3.4.63
- 4 *Industrial Drying Equipment*, C.M. van 't Land, ISBN 0-8247-8316-6



Afbeelding 7: een pomp met elektromotor

2.8 Pompen en aandrijvingen

2.8.1 Omschrijving installatie

Motoren zijn belangrijke energieverbruikers. De meest toegepaste motoren zijn elektromotoren. Daarnaast worden diesel- en gasmotoren toegepast. Belangrijke toepassingen zijn pompen, gemalen, ventilatoren, aggregaten en compressoren.

Het rendement van de verschillende typen motoren kan nogal uiteen lopen. Vooral het rendement van gas- en elektromotoren is de afgelopen jaren verbeterd. Bij vervanging van motoren is het rendement een belangrijk aandachtspunt. Verder wordt het motorvermogen gekozen op de hoogste gevraagde afname. Vaak wordt het vermogen voor de zekerheid zelfs nog hoger gekozen.

Regeling

Motoren drijven een apparaat aan. De regeling van dit apparaat is belangrijk voor het energiegebruik van motoren. Het apparaat kan bijvoorbeeld geregeld worden door de motor terug te regelen, of door ervoor te zorgen dat het apparaat minder arbeid levert. Van deze twee is terugregelen van de motor over het algemeen het meest energiezuinig.

Het terugregelen van een motor is mogelijk bij diesel- en gasmotoren, bij frequentieregelden elektromotoren en (beperkt) bij tweetoerenelektromotoren. Ervoor zorgen dat het apparaat minder arbeid levert kan op verschillende manieren. Voorbeelden voor pompen en ventilatoren zijn:

- een *bypassregeling*: bij pompen en ventilatoren wordt een deel van de uitgaande (water- of lucht)stroom teruggevoerd naar de ingaande stroom. Het debiet wordt daardoor verlaagd, terwijl de motor op hetzelfde toerental blijft werken.
- een *smoorregeling*: door een smoorklep wordt de afvoerleiding kleiner gemaakt, waardoor het moeilijker wordt daar water of lucht doorheen te persen. Bij gelijk vermogen wordt het debiet kleiner. De motor kan hierdoor meer geluid gaan produceren.

2.8.2 Waar moet je beginnen?

Uit de algemene strategie voor energiebesparing (zie 1.4) volgt dat er eerst voor gezorgd moet worden dat er zo min mogelijk werk hoeft te worden verricht.

Bijvoorbeeld bij een koelwaterpomp is het van belang dat eerst de behoefte aan koelwater geminimaliseerd wordt voordat er gekeken wordt naar opties om de pomp zelf energiezuiniger te laten werken. De mogelijkheden hiervoor zijn sterk situatie-afhankelijk.

Aanbevolen wordt om in het algemeen te kijken of er veranderingen verwacht worden in het beroep dat op de pomp gedaan wordt. Als dit het geval is, is het beter deze af te wachten of hierop te anticiperen.

Als duidelijk is wat op de lange termijn het afgenomen vermogen is, moet er gekeken worden hoe dit zo efficiënt mogelijk opgewekt kan worden. Dit betekent dat motortype, rendement en regeling optimaal gekozen

moeten worden. Het natuurlijke moment hiervoor is bij vervanging of als er een nieuwe motor geplaatst wordt. Bij oudere motoren kan het soms voorkomen dat vervroegd uit gebruik nemen rendabel is.

Bij bepaling van het optimale rendement van een nieuw te plaatsen motor moet er soms breder gekeken worden. Vaak zijn er mogelijkheden om aandrijvingen te combineren of te schakelen. Het wordt dan bijvoorbeeld mogelijk een frequentiegeregelde aandrijving te combineren met een niet-geregelde, zodat tegen een lagere investering een even grote besparing bereikt kan worden. Zie hiervoor ook het kader.

Als de motor veel geregeld wordt, moet er vervolgens gekeken worden of de motor op het juiste signaal geregeld wordt. Over het algemeen is dit al het geval. Als er overgeschakeld wordt op een frequentiegeregelde aandrijving kan het interessant zijn om nog eens goed naar de sensor te kijken. Omdat frequentieregeling nauwkeuriger regeling mogelijk maakt kan een gevoeliger sensor de moeite waard zijn.

Tenslotte moet er gekeken worden of de warmte die bij de motor vrijkomt nuttig gebruikt kan worden. Warmteterugwinning is van belang bij gas- en dieselmotoren, omdat daar een groot deel van de toegevoerde energie in de vorm van warmte vrijkomt.

Tabel 1 Overzicht maatregelen

	Omschrijving	Toepasbaarheid	Tvt
	Stand der techniek		
PA1	Frequentieregeling op elektromotoren	Bij vervanging Bij wisselende gevraagde vermogens; vooral bij combinaties van meerdere apparaten	2-5
PA2	Warmteterugwinning verbrandingsmotoren Aandachtspunten	Gelijktijdige warmtevraag	3-6
PA3	Optimalisering motorrendement	Bij veel draaiuren	Sit. afh.
PA4	Sensoren	Specifiek stuursignaal aanwezig	Sit. afh.

Voorbeeld toerenregeling in waterpompstation van brouwerij
Een bierbrouwerij regelde zijn wateraanvoer via een pompstation met 6 (elektrische) centrifugaalpompen. De pompen konden, afhankelijk van de watervraag, stuk voor stuk aan of uit gezet worden. Het teveel verpompte water werd via een overstort afgevoerd. Uit een analyse van het gebruik van het station bleek dat het gevraagde volume sterk fluctueerde, dat de overstort constant in bedrijf was, en dat er maximaal 4 pompen tegelijk in bedrijf waren.

Uit een verdere analyse bleek dat toepassing van frequentieregeling op een van de pompen leidde tot een optimale besparing, zowel direct (aan de pomp) als door het elimineren van de overstort. De terugverdientijd hiervan was 1,8 jaar. Door een goede combinatie van de inzet van de pompen kon met één frequentiegeregelde pomp al het optimum bereikt worden: frequentieregeling op de andere pompen leidt niet tot een hogere besparing.

2.8.3 Overige milieu-aspecten pompen en aandrijvingen

Naast het energieverbruik heeft een aandrijving nog andere milieu-aspecten waar in de milieuvergunning rekening mee gehouden moet worden. De belangrijkste daarvan zijn:

2.8.4a Geluid

Motoren dragen bij aan de geluidsbelasting van de inrichting. Door aandacht voor plaatsing, geluidsisolatie en opstelling op isolatoren is dit vaak te beperken. In dit kader is vooral van belang dat in een aantal gevallen energiebesparing en vermindering van de geluidsbelasting gelijk op gaan. Dat geldt bijvoorbeeld voor het voorkomen van overdimensionering van aandrijvingen en het minimaliseren van het beroep dat erop wordt gedaan. Ook het vervangen van een smoorregeling door een frequentieregeling kan een vermindering van de geluidsbelasting tot gevolg hebben.

2.8.4b Veiligheid

Voor gas- en dieselmotoren gelden veiligheids- en keuringseisen, die bijvoorbeeld te vinden zijn in het Besluit tuinbouwbedrijven met bedekte teelt. Voor elektromotoren gelden speciale veiligheidseisen als ze in ruimtes staan opgesteld waar gevaar voor gas- of stofexplosies bestaat.

2.8.3d Smeermiddelen

Smeermiddelen op basis van minerale olie (niet biologisch afbreekbaar) mogen niet in het milieu terecht komen.

2.8.4 Literatuur bij dit hoofdstuk

Meer informatie over frequentiegeregelde elektromotoren is te vinden in:

Efficiënte elektrische aandrijvingen in de industrie, Novem, Uneto, EnergieNed, 1994, DV3.4.15.94.06

2.8.5 Beschrijving maatregelen

PA1 Frequentieregeling op elektromotoren

Stand der techniek

Als een apparaat wisselende vermogens moet leveren of regelmatig op een vermogen onder zijn maximum draait is bij vervanging van de motor frequentieregeling vaak rendabel. Frequentieregeling wordt toegepast op een specifiek type draaistroommotor (de draaistroomkortsluitankermotor). Het kan daarom niet in alle gevallen op een bestaande motor worden toegepast. Bij vervanging van de motor kan een ander type motor worden gekozen, zodat frequentieregeling mogelijk is.

De meerkosten bij vervanging van de motor zijn gelijk aan de meerinvestering voor de frequentieregelaar. De kosten van een frequentieregelaar zijn afhankelijk van de complexiteit van de regeling en het regelbereik. De prijs is de afgelopen jaren afgenomen. Bij een bereik onder 10 kW kost een frequentieregeling ca. f 5.000–f 10.000,-. Bij vermogens rond 50 kW kost de frequentieregeling ongeveer f 40.000–50.000,-. Bij een vermogen boven 100 kW kan de prijs tot boven f 100.000,- oplopen.

De meest rendabele toepassingen van frequentieregeling komen voor bij projecten waar een aantal apparaten naast elkaar gebruikt wordt. Door één apparaat op frequentie te regelen uit te rusten kan over het volledige vermogensbereik op toeren geregeld worden.

PA2 Warmteterugwinning

Stand der techniek

Een verbrandingsmotor zet maar een deel van de energie-inhoud van de brandstof in arbeid om (een gasmotor 30–37%, een dieselmotor 40 tot 47%; de hogere rendementen komen voor bij nieuwe motoren). De rest van de energie komt als warmte vrij bij de motor-koeling en in de rookgassen. Een deel van deze warmte is terug te winnen voor nuttig gebruik. Dit komt neer op het toepassen van een aantal principes van een warmtekrachtinstallatie.

Als de terugwininstallatie gebruikt wordt om warm water en/of stoom te maken zijn de volgende stromen beschikbaar:

- Rookgaskoeling (tweetraps) levert stoom (max 160°C) en stoom of heet water (110°C);
- Mantelwaterkoeling levert stoom of heet water (max 110°C);
- Overige motorkoeling levert warm water (60–80°C);
- Rookgascondensator levert warm water (50°C, niet toepasbaar bij dieselmotoren).

Het is afhankelijk van de warmtevraag welke stromen kunnen worden gebruikt. Als er bijvoorbeeld water voor centrale verwarming mee wordt verwarmd kan het water vanaf 80°C worden gebruikt.

De rentabiliteit van warmteterugwinning bij een verbrandingsmotor is afhankelijk van de voorzieningen die nodig zijn (warmtewisselaar, leidingen, eventueel een buffervat) en de hoeveelheid warmte die nuttig gebruikt kan worden. Als er een continu warmte van 80°C geleverd kan worden is de terugverdientijd drie jaar of minder.

PA3 Minimalisering motorrendement

Aandachtspunt

Bij aanschaf van een nieuwe elektromotor is het verstandig ook op het rendement van verschillende types te letten. Het rendement van elektromotoren loopt niet ver uiteen, het verschil ligt in de orde van procenten. Bij een motor die veel uren maakt kan de meerinvestering voor een motor met hoger rendement de moeite waard zijn.

PA4 Sensoren

Aandachtspunt

Als niet altijd het volledige (of een vaste) capaciteit van het apparaat gevraagd wordt, is het van belang dat er op het juiste signaal geregeld wordt. Als dit signaal niet precies bekend is, wordt er vaak een marge gekozen. Het apparaat draait dan net iets harder dan nodig zou zijn. In die gevallen kan het rendabel zijn om een sensor of een simpel signaal te nemen en daarop te regelen.

Voor ventilatoren bij droogprocessen wordt dit toegelicht in 2.7.4. Een ander voorbeeld is de schakeling van de afzuiging van een verfspuitscabine te koppelen aan het verfspuitspistool.

Een voorwaarde voor de maatregel is dat de motor voorzien is van een regelmogelijkheid (bijvoorbeeld PLC- of computerbesturing). Bij een frequentieregeling is deze maatregel extra aantrekkelijk vanwege het grotere regelbereik hiervan.

2.9 Restwarmtebenutting en integratie van warmte- en koudestromen

2.9.1 Inleiding

De voorgaande hoofdstukken behandelen energiebesparing aan aparte voorzieningen en apparaten. Een belangrijk besparingspotentieel ligt echter bij het koppelen van apparaten of procesonderdelen onderling. Wanneer de energie-efficiëntie van een apparaat geoptimaliseerd is kan er bijvoorbeeld nog steeds restwarmte of restkoude overblijven die bij een ander apparaat nuttig gebruikt zou kunnen worden. Dit is een optie die vaak blijft liggen.

Nuttig gebruik van restwarmte biedt een groot potentieel voor energiebesparing. Daarnaast bespaart het extra als het toegepast kan worden op warmte die anders geforceerd weggekoeld moet worden, bijvoorbeeld via koelwater of een luchtkoeltoren. In die gevallen heeft restwarmtebenutting een extra milieurendement door minder thermische belasting van het oppervlaktewater of minder geluidproductie.

Restwarmtebenutting is niet eenvoudig te vertalen naar een set van maatregelen, omdat het maatwerk is. De precieze mogelijkheden zijn afhankelijk van de combinatie van voorzieningen die aanwezig is, logistiek, infrastructuur en andere factoren. In eenvoudige gevallen – bijvoorbeeld als het om maar twee apparaten gaat – kan gericht naar de haalbaarheid van restwarmtebenutting gekeken worden. In gecompliceerde gevallen kan nader onderzoek nodig zijn.

Doel van dit hoofdstuk is te helpen bij de inschatting wanneer nader onderzoek naar gebruik van restwarmte en restkoude en naar integratie van warmte- of koudestromen nuttig is. Eerst gaat dit hoofdstuk in op de

inventarisatie van bronnen van restwarmte en restkoude en bepaling van een eventueel besparingspotentieel. Vervolgens wordt ingegaan op de algemene benadering voor een besparingsonderzoek. Tenslotte wordt kort ingegaan op de belangrijkste technieken voor restwarmtebenutting.

Dit hoofdstuk beperkt zich tot restwarmtebenutting binnen de inrichting. Er wordt steeds vaker gekeken naar warmte-uitwisseling tussen bedrijven. In dat kader kan een inventarisatie zoals hier geschetst eveneens nuttig zijn.

2.9.2 Inventarisatie van bronnen en bepalen besparingspotentieel

Opmerkingen vooraf

Voordat besloten wordt of een inventarisatie nuttig is, zijn er twee belangrijke punten.

Ten eerste moet het bevoegd gezag in algemene zin inschatten of er voldoende bronnen van restwarmte zijn om een inventarisatie te rechtvaardigen. Hier is geen algemene richtlijn voor te geven. In ieder geval zou het moeten gaan om een situatie waar diverse installaties bij betrokken zijn. De bijzondere aandachtspunten in dit hoofdstuk kunnen ook extra aanleiding zijn voor inventarisatie.

Ten tweede moet het bevoegd gezag inschatten wat het juiste moment is voor een dergelijke inventarisatie. Indien mogelijk is het verstandig de inventarisatie te koppelen aan een renovatie of andere aanpassing. Verder is het van belang eerst het energiegebruik van de individuele installaties te optimaliseren voordat er naar koppeling gekeken wordt.

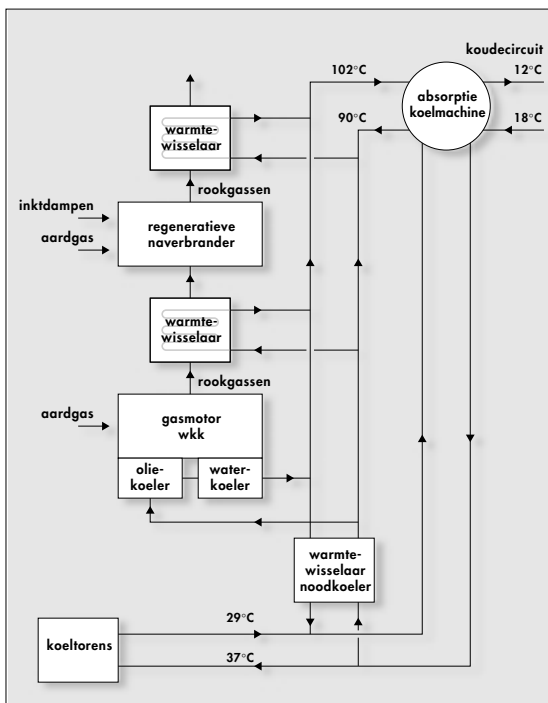
Inventarisatie

De inventarisatie wordt door (of in overleg met) het bedrijf uitgevoerd. Een gedetailleerd voorbeeld (de zogenaamde pinch-analyse) wordt gegeven in 3.7. Afhankelijk van de aanwezige installaties wordt het volgende geïnventariseerd:

- Wat is het aanbod van restwarmte (o.a. hoeveelheid warmte, temperatuur, plaats en tijdstip);
- Welke warmtevragers zijn er (hoeveelheid warmte, temperatuur, plaats en tijdstip);
- Wat is het aanbod van restkoude (o.a. hoeveelheid koude, temperatuur, plaats en tijdstip);
- Welke koudevragers zijn er (hoeveelheid koude, temperatuur, plaats en tijdstip)

Bepalen besparingspotentieel

Uit deze inventarisatie blijkt of er een besparingspotentieel is. Voor een besparingspotentieel is een basisvoorwaarde dat er zowel vraag naar als aanbod van warmte (en/of koude) is. Is dit niet het geval dan heeft verdere aandacht voor dit onderwerp geen zin. De overlap tussen vraag en aanbod geeft een eerste indicatie van het besparingspotentieel. Om te bepalen of een nader onderzoek zin heeft zijn de volgende aandachtspunten van belang:



figuur 8: een voorbeeld van restwarmtebenutting

1 *Temperatuurniveau van vraag en aanbod*

Naast de hoeveelheid is het temperatuurniveau van de warmte van belang (zie kader). Als het temperatuurniveau van het aanbod hoger is dan van de vraag is de restwarmte met een hoog rendement over te dragen, bijvoorbeeld via een warmtewisselaar (zie 2.9.4). Als het temperatuurniveau van het aanbod lager is dan van de vraag, is warmte-overdracht moeilijk. Soms kan de restwarmte dan nog als voorverwarming ingezet worden. Bij grote hoeveelheden kan het interessant zijn om met behulp van een warmtepomp (zie 2.9.4) het temperatuurniveau te verhogen.

'hoogwaardig' en 'laagwaardig'

De hoeveelheid restwarmte die op een plek vrijkomt kan worden gegeven in Joule. Of deze warmte nuttig gebruikt kan worden wordt vooral bepaald door de temperatuur waarbij de warmte vrijkomt. Hierbij geldt meestal dat een afnemer minstens een bepaalde temperatuur nodig heeft. Dus hoe hoger de temperatuur waarbij de restwarmte vrijkomt, hoe meer toepassingen. Warmte die bij een hoge temperatuur vrijkomt (> 120°C) wordt daarom hoogwaardig genoemd. Warmte met een lage temperatuur (< 70°C) wordt laagwaardig genoemd.

2 *Gelijktijdigheid van vraag en aanbod*

Naast het temperatuurniveau is het van belang dat vraag en aanbod min of meer gelijktijdig zijn, of in ieder geval voldoende overlappen. Een buffervat kan problemen rond gelijktijdigheid verminderen (zie 2.9.4). Als vraag en aanbod seizoensafhankelijk zijn (bv. 's zomers koudevraag en 's winters warmtevraag) kan het bij grote hoeveelheden interessant zijn naar de mogelijkheid van lange-termijnopslag in de bodem te kijken (zie 2.9.4 en bijlage 2).

3 *Afstand tussen vraag en aanbod*

De derde belangrijke factor is de afstand tussen warmtevraag en -aanbod. Als die te groot is, zal warmte getransporteerd moeten worden voor nuttig gebruik. Hiervoor is een leiding nodig en een transportmedium. Warme lucht kan over korte afstanden vervoerd worden. Voor langere afstanden zal een klein warmtewisselnet nodig zijn (zie 2.9.4).

4 *Speciale aandacht voor hoogwaardige restwarmte (> 120°C)*

Als de temperatuur van restwarmte boven de 120°C uitkomt zijn er meer toepassingen voor. Het wordt dan mogelijk de warmte over te dragen aan (lagedruk) stoom of water dat aan de kook gebracht moet worden. Door het temperatuurniveau zijn er meer potentiële afnemers (zie 1). Belangrijk is dat hoogwaardige restwarmte in een absorptiekoelmachine kan worden gebruikt voor het opwekken van koude (zie 2.9.4), zodat het ook kan worden ingezet voor een koudevraag.

Grote hoeveelheden hoogwaardige restwarmte tenslotte kunnen worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking via een Organic Rankin Cycle of ORC. Op deze techniek wordt in dit informatieblad niet ingegaan. Voor verdere informatie wordt doorverwezen naar de literatuur (met name 15).

5 *Speciale aandacht voor laagwaardige warmtevraag (temperatuur < 70°C)*

Voor een installatie die warmte vraagt met een temperatuur onder 70°C zijn meer mogelijkheden voor warmtebenutting. Door de relatief lage temperatuur zijn er meer mogelijke aanbieders (zie 1). Belangrijker is echter dat bij het afkoelen van warme luchtstromen die waterdamp bevatten tot lage temperaturen gebruik kan worden gemaakt van de condensatiewarmte van de waterdamp. Dit levert extra warmte op die nuttig gebruikt kan worden.

6 *Speciale aandacht voor inzet van grondwater voor koeling*

Als in een deel van de koelvraag wordt voorzien met grondwater of als een warmte-overschot wordt weggekoeld met grondwater is speciale aandacht op zijn plaats voor benutting van restkoude van een andere installatie of voor nuttig gebruik van het warmte-overschot via een warmtewisselaar of warmtepomp (zie 2.9.4). Dat kan leiden tot een verlaging van het grondwaterverbruik en daarmee een bijdrage leveren aan bestrijding van verdroging. Door het gecombineerde milieueffect kan het bevoegd gezag een minder rendabele maatregel toch redelijk vinden.

7 *Speciale aandacht voor lozing van koelwater*

Als er een warmte-overschot wordt weggekoeld met koelwater dat vervolgens wordt geloosd op het oppervlaktewater is speciale aandacht op zijn plaats voor nuttig gebruik van het warmte-overschot via een warmtewisselaar of warmtepomp (zie 2.9.4). Naast energiebesparing wordt daarmee immers de thermische belasting van het oppervlaktewater verminderd. Vooral bij oppervlaktewater waar thermische belasting een probleem is kan het bevoegd gezag een minder rendabele maatregel toch redelijk vinden vanwege het gecombineerde milieueffect. Overleg hierover met het Wvo-bevoegd gezag.

8 *Speciale aandacht voor koeltoren*

Als restwarmte van een koelwatersysteem wordt afgegeven aan de omgeving via een koeltoren geeft dit een extra geluidsbelasting. Als dit het geval is is speciale aandacht op zijn plaats voor nuttig gebruik van het warmte-overschot via een warmtewisselaar of warmtepomp (zie 2.9.4), als dat het beroep op de koeltoren zodanig vermindert dat het aantal gebruiksuren ervan afneemt. Ook bij kleinere voorzieningen om warmte af te geven aan de omgeving (bv. bij gebouwverwarming) kan dit zich voordoen.

2.9.3 Vervolg

Afhankelijk van de resultaten van inventarisatie en inschatting van het besparingspotentieel moet een vervolgactie worden gekozen. Als het besparingspotentieel klein of afwezig is, is geen vervolg nodig. Als er een eenvoudig besparingspotentieel is, waar maar enkele installaties bij betrokken zijn, kan er een gericht haalbaarheidsonderzoek naar warmteuitwisseling gedaan worden. Blijkt uit de inventarisatie dat er een groot besparingspotentieel is, dan kan er een nader onderzoek overwogen worden.

Een nader onderzoek kan worden opgezet conform de benadering geschetst in de Circulaire Energie in de milieuvergunning. Het onderzoek spitst zich toe op de warmtehuishouding. Dat houdt in dat naast de standardeisen uit de circulaire in de rapportage moet worden opgenomen:

- 1 Een inventarisatie van de warmtehuishouding conform het model in 2.9.2;
- 2 Mogelijkheden voor restwarmtebenutting, vertaald naar maatregelen en technieken;
- 3 Speciale aandacht voor de aandachtspunten en relatie met andere milieu-aspecten (m.n. grondwater en lozing van koelwater);
- 4 Indien van toepassing: aandacht voor de haalbaarheid van specifieke ondersteunende voorzieningen zoals een warmtepomp of lange-termijnopslag in de bodem.

2.9.4 Enkele gegevens van ondersteunende voorzieningen

De volgende voorzieningen kunnen behulpzaam zijn bij nuttig gebruik van restwarmte of -koude.

1 Warmtenet

Een warmtenet wordt gebruikt voor transport van warmte door de inrichting, en bestaat uit leidingen en een pomp. De belangrijkste media die worden gebruikt voor warmtetransport zijn:

- Water: voor temperaturen tot 100°C;
- Stoom: voor temperaturen van 120–200°C;
- Thermische olie: voor temperaturen van 180°C en hoger.

Op een centraal punt wordt warmte aan het net geleverd door een brander of een ketel.

Belang voor restwarmtebenutting: Een warmtenet kan nodig zijn om restwarmte te transporteren naar potentiële afnemers. Als er in een bedrijf al een warmtenet aanwezig is, is soms levering van restwarmte hieraan mogelijk. Het kan voorkomen dat een warmtenet een belemmering vormt voor nuttig gebruik van restwarmte, bijvoorbeeld omdat de transporttemperatuur te hoog is voor levering van warmte aan het net. Verlaging van de transporttemperatuur of zelfs overschakeling van stoom op warm water kan hiervoor soms de oplossing zijn.

2 Warmtewisselaar

Een warmtewisselaar wordt toegepast voor het overdragen van (rest)warmte. Er zijn verschillende uitvoeringsvormen, die afhankelijk zijn van de media waartussen warmte wordt uitgewisseld. Bekendste voorbeelden zijn de platenwarmtewisselaar die warmte van water naar water overdraagt, en de economiser die warmte van lucht naar water overdraagt.

Bij warmteuitwisseling daalt de kwaliteit van de warmte. Als vuistregel moet bij normaal gebruik moet rekening gehouden worden met een temperatuurverlies van tenminste 5°C (uit koelwater van 60°C kan warm water van ten hoogste 55°C gemaakt worden).

Belang voor restwarmtebenutting: Een warmtewisselaar is betrouwbaar en bewezen.

3 Buffervat

Bij ongelijktijdigheid tussen vraag en aanbod van warmte kan dit deels worden opgevangen door toepassing van een buffervat. Een buffer kan bijvoorbeeld verschil in warmtevraag tussen dag en nacht opvangen. Voor fluctuaties langer dan 24 uur is een warmtebuffer minder geschikt.

Belang voor restwarmtebenutting: een warmtebuffer kan problemen rond onvoldoende gelijktijdigheid van warmtevraag en -aanbod deels opvangen. Voorwaarde is wel dat er voldoende ruimte voor het opslagvat aanwezig is.

4 Warmtepomp

Een warmtepomp verhoogt het temperatuurniveau van een medium. Het meest toegepaste type is de *compressiewarmtepomp*. Deze heeft dezelfde elementen als een koelinstallatie (zie ook hoofdstuk 2.1.2). De verdamper neemt warmte van een bepaald medium op, de condensor staat die warmte bij een hoger niveau weer af. De compressor van de warmtepomp wordt aangedreven door een elektromotor. De gebruikte elektriciteit is meestal circa 20% van de aan de condensor af te geven energiestroom. Een compressiewarmtepomp kan warmte leveren met een temperatuur van 55°C tot maximaal 110°C, en zorgt meestal voor een temperatuurlift van 20–45°C. Hij komt voor in de vermogensrange van 10 kW tot 10 MW (thermisch vermogen). De verhouding tussen afgegeven warmte en elektriciteitsverbruik (coefficient of performance of COP) van dit type is ca. 5.

Een verwant type is een *damprecompressie-unit*. Deze werkt volgens hetzelfde principe, maar wordt rechtstreeks op een warme afgasstroom (bijvoorbeeld procesdamp) toegepast met als doel om de aanwezige waterdamp te laten condenseren. Mechanische damprecompressie heeft een COP van 3 tot 20. De vermogensrange is 1 tot 20 MW. Het is daarom bijvoorbeeld een belangrijke techniek voor het ontwateren van slib en mest (zie hoofdstuk 2.7). Bij ontwateringsprocessen of als grote hoeveelheden condensatiewarmte voor terugwinning beschikbaar komen is deze techniek rendabel.

Andere typen zoals de absorptiewarmtepomp en de warmtetransformator, worden minder vaak toegepast. *Belang voor restwarmtebenutting:* Een warmtepomp kan worden ingezet om restwarmte met een (te) laag temperatuurniveau voor hergebruik geschikt te maken. Een gesloten compressiewarmtepomp heeft in industriële toepassingen een terugverdientijd van meer dan 5 jaar. Bij grote warmtestromen kan toepassing rendabel zijn. Het is vooral van belang naar deze techniek te kijken als de restwarmte die nuttig gebruikt wordt kan leiden tot minder thermische belasting van het oppervlaktewater, minder koelwaterverbruik en/of minder grondwaterverbruik. In dat geval kan vanwege het gecombineerde milieueffect de investering ondanks de wat langere terugverdientijd toch redelijk gevonden worden.

5 Absorptiekoeling

Hoogwaardige restwarmte kan met een absorptiekoelmachine gebruikt worden voor productie van koude. Een absorptiekoelmachine gebruikt warmte om een cyclisch absorptie/desorptieproces gaande te houden. Een absorptiekoelmachine levert koude op een zelfde temperatuur als een compressorkoeling (zie 2.1), d.w.z. 4–10°C. Uitgaande van het gevraagde koelvermogen is een absorptiekoelmachine duurder dan een compressorkoeling. Als zij gevoed wordt met restwarmte is haar gebruik van primaire energie aanzienlijk lager.

Belang voor restwarmtebenutting: Een absorptiekoelmachine kan ingezet worden om met restwarmte in een koelbehoefte te voorzien. Deze techniek kan rendabel zijn als de absorptiekoelmachine een (al dan niet bestaande) compressorkoelmachine kan vervangen, aangezien dan alleen naar de meerkosten gekeken kan worden.

6 Lange-termijnopslag

Seizoensgebonden vraag naar en aanbod van warmte en/of koude kan opgevangen worden door opslag van warmte of koude in de bodem. Opslag van seizoenskoude of -warmte in waterhoudende lagen in de bodem is een betrouwbare techniek die netto geen grondwater verbruikt. Een toelichting wordt gegeven in bijlage 2. Deze techniek is alleen rendabel bij grote seizoensgebonden kou- of warmtevraag.

Belang voor restwarmtebenutting: deze techniek kan worden ingezet om restwarmte of restkou die in een ander seizoen nuttig gebruikt kan worden op te slaan.



Afbeelding 8: uitlaat scrubber, inlaat droogkap in de papierindustrie

3 Vragenlijsten

3.1 Vragenlijst koelinstallatie

Elektriciteitsverbruik (kWh):	Type regeling: handmatig / condensordrukregeling / PLC-regeling anders, nl:
Totaal aandrijfvermogen (kW):	Waar staat de condensor?
Totaal koelvermogen (kW):	Alleen bij handmatige regeling
Koudefactor:	Condensortemperatuur:
Aantal compressoren:	Verdampertemperatuur:
Type expansieventiel: thermostatisch / elektronisch	

NB: Een aantal vragen zijn specifiek voor koel- en vriescellen. Dit wordt bij de vragen aangegeven. Bij andere toepassingen van koelinstallaties hoeven deze vragen niet beantwoord te worden.

Toepassing stand der techniek en good housekeeping

De maatregelen waarnaar verwezen wordt (K1–25) zijn te vinden op pagina 9–12.

Voor koel- en vriescellen

Staan er losse elektriciteit verbruikende apparaten in de te koelen ruimte? Blijft verlichting en dergelijke regelmatig te lang aan staan in de te koelen ruimte?

- Ja: zie K1
 Nee

Geeft de condensor zijn warmte af aan buitenlucht (of andere lucht met wisselende temperatuur) en staat de condensortemperatuur op een vaste waarde ingesteld?

- Ja: zie K14 (en K9)
 Nee

Wordt bekeken of de verdampertemperatuur verhoogd kan worden?

- Ja
 Nee: zie K15

Wordt de condensor regelmatig schoongemaakt?

- Ja
 Nee: zie K16

Wordt de ontdooicyclus geoptimaliseerd

(alleen beantwoorden als de koelbelasting gelijkmatig is)

- Ja
 Nee: zie K17

Voor koel- en vriescellen

Zijn de rubbers van de deur nog in goede staat?

- Ja
 Nee: zie K18

Staat de condensor vrij?

(dus niet in een afgesloten ruimte en vrij van obstakels)

- Ja
 Nee: zie K19

Extra vragen bij uitgebreide aandacht voor de koelinstallatie*Bij koel- en vriescellen*

Is er regelmatig transport tussen de gekoelde en niet-gekoelde ruimtes?

- Ja: zie K2
 Nee

Bij koel- en vriescellen

Wordt de te koelen ruimte regelmatig slechts voor een deel gebruikt?

- Ja: zie K3
 Nee

Bij koel- en vriescellen

Is de isolatie nog in orde?

- Ja
 Nee: zie K4

Bij vriescellen

Staat de verdamperventilator continu aan en heeft het opgeslagen product enige tolerantie voor temperatuurfuctuaties?

- Ja: zie K5
 Nee

Heeft de installatie meerdere compressoren die regelmatig worden afgeschakeld?

- Ja: zie K6
 Nee

Is de verdampersdruk lager dan 1 bar?

- Ja: zie K7
 Nee

Extra vragen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

Is er behoefte aan warm water (50–60°C) als de installatie in bedrijf is?

- Ja: zie K8
 Nee

Geeft de condensor zijn warmte af aan buitenlucht?

- Ja: zie K9
 Nee

Bij vriescellen

Draaien de compressoren minder dan 15 minuten als gevolg van het openen van de celdeur en is het opgeslagen product temperatuurtolerant?

- Ja: zie K10
 Nee

Draait de compressor regelmatig op deellast of zijn er meerdere compressoren?

- Ja: zie K11
 Nee

Draait de ventilator regelmatig in deellast en/of draait de ventilator continu?

- Ja: zie K12
 Nee

Is er een structurele koelbehoefte van tenminste 500 kW en bij een temperatuur die niet lager is dan 10°C en minstens 1000 gebruiksuren?

- Ja: zie K13
 Nee

Bij koel- en vriescellen

Zijn er naast elkaar meerdere cellen op verschillende temperaturen?

- Ja: zie K20
 Nee

Bij vriescellen

Wordt de deur regelmatig gebruikt en is er voldoende vrije ruimte bij de deur?

- Ja: zie K21
 Nee

Bij koel- en vriescellen

Wordt een thermostatisch expansieventiel toegepast? (vooral in combinatie met verdampingsgevoelige producten)?

- Ja: zie K22
 Nee

Is er gekeken naar de mogelijkheid van heetgasontdooiing?

- Ja: zie K23
 Nee

Als de condensor continu gebruikt wordt, is er voldoende ruimte voor een windgekoelde condensor?

- Ja: zie K24
 Nee

Is er elders in het bedrijf een overschot aan warmte bij een temperatuur van meer dan 100°C?

- Ja, zie K25
 Nee

3.2 Vragenlijst stoom

Type brandstof: aardgas / huisbrandolie anders nl:	Stoomdruk:
Brandstofverbruik (m³ of liter):	Stoomtemperatuur:
Totaal vermogen (kW):	Is er retourcondensaat?

Toepassing stand der techniek en good housekeeping

De maatregelen waarnaar verwezen wordt (S1–12) zijn te vinden op pagina 15–17.

Is het temperatuurverschil in het ketelhuis 15°C of meer?

- Ja: zie S1
 Nee

Varieert de temperatuur van de aanvoerlucht voor de brander (bijvoorbeeld buitenlucht of voorverwarmde lucht)?

- Ja: zie S2.1
 Nee

Varieert de warmte-inhoud van de brandstof (bijvoorbeeld biogas)?

- Ja: zie S2.2
 Nee

Wordt de brander vervangen en maakt de brander regelmatig regelstops?

- Ja: zie S3
 Nee

Wordt de ketel vervangen?

Zijn leidingen, appendages kranen niet geïsoleerd?

- Ja: zie S4
 Nee

Verbruikt de ketel meer dan 1,5 miljoen m³ aardgas (of 1,3 miljoen liter olie) en is er elders warmte met een temperatuur van 90–100°C nodig?

- Ja: zie S5.1
 Nee

Verbruikt de ketel meer dan 1,5 miljoen m³ aardgas en is er elders warmte nodig met een temperatuur van 50–70°C?

- Ja: zie S5.2
 Nee

Wordt restwarmte van het spuiwater nuttig gebruikt?

- Ja
 Nee: zie S6

Als er schoon condensaat of flashstoom ontstaat, wordt dit dan nuttig gebruikt?

- Ja
 Nee: zie S7

Maakt de brander meer dan 5 regelstops per dag?

- Ja: zie S8 (en S3)
 Nee

Is er voldoende aandacht voor minimaliseren van het stoomverbruik, vermijden van stilstand, branderafstelling en het vermijden van stoompluimen?

- Ja
 Nee: zie S9–12

3.3 Vragenlijst perslucht

Benodigde hoeveelheid perslucht (Nm³/j):	Aanzuigplaats:
Elektriciteitsverbruik (kWh):	Smering compressor: olie / water / smeermiddelvrij anders, nl:
Soort compressor:	Waar wordt de perslucht gebruikt?
Aantal compressoren:	Afnamepunt Benodigde pers- lucht (Nm³/j) Minimale druk Minimale kwaliteit
Capaciteit aandrijfmotoren compressor (kW):
Regeling compressor: aan-uit / frequentieregeling / vollast-nullast-uit / vollast-nullast
Werkdruk compressor (bar):

Toepassing stand der techniek

De maatregelen waarnaar verwezen wordt (P1–18) zijn te vinden op pagina 20–23.

Is pneumatisch gereedschap ouder dan 10 jaar?

- Ja: zie P1
 Nee

Worden blaaspistolen regelmatig gebruikt (alleen beantwoorden als blaaspistolen niet persluchtzuinig zijn)?

- Ja: zie P2
 Nee

Als luchtkussentransport wordt toegepast: is de vloer intact en niet poreus?

- Ja
 Nee: zie P6

Wordt de instelling van de werkdruk regelmatig (minstens jaarlijks) gecontroleerd?

- Ja
 Nee: zie P7

Wordt er regelmatig gecontroleerd op lekken?

- Ja
 Nee: zie P8

Worden de filters schoongemaakt als het drukverschil over het filter is opgelopen boven 0,3 bar?

- Ja
 Nee: zie P9

Staat de compressor uit buiten bedrijfstijden (alleen beantwoorden als er buiten bedrijfstijden geen persluchtvrage is)?

- Ja
 Nee: zie P10

Extra vragen bij uitgebreide aandacht voor de compressor

Zijn er persluchttoepassingen die een lagere druk of hogere kwaliteit vragen dan de meeste?

- Ja: zie P3
 Nee

Is er in het bedrijf behoefte aan warme lucht of warm water (met een temperatuur van 50–60°C) op momenten dat de compressor in bedrijf is?

- Ja: zie P4
 Nee

Wordt de straalnozzle regelmatig vervangen?

- Ja
 Nee: zie P11

Is er voor alle toepassingen gekeken naar de noodzaak van perslucht?

- Ja
 Nee: zie P12

Als een persluchtmotor wordt gebruikt, is bij vervanging bekeken of een elektromotor ook mogelijk zou zijn?

- Ja
 Nee: zie P13

Zuigt de compressor warme lucht aan (bijvoorbeeld bij aanzuigen uit compressorruimte die meer dan 5°C opgewarmd is)?

- Ja: zie P14
 Nee

Extra vragen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

Is het aantal motorschakelingen gering?

- Ja: zie P5.1
 Nee

Is het afnamepatroon sterk wisselend (en het aantal motorschakelingen niet gering)?

- Ja: zie P5.2
 Nee

Draait de compressor lange tijd achter elkaar in nullast (en het aantal schakelingen is niet gering en het afnamepatroon is niet sterk wisselend)?

- Ja: zie P5.3
 Nee

Zijn er meerdere compressoren?

- Ja: zie P5.4
 Nee

Variëren de kwaliteits- en/of drukeisen bij de afnamepunten sterk?

- Ja: zie P15
 Nee

Is er voldoende aandacht voor de leidingdimensionering, de relatie tussen droog- en filterstappen en de kwaliteitseisen en het voorkomen van overdimensionering en nullastverbruik?

- Ja
 Nee: zie P16-18

3.4 Vragenlijst vacuüm

Elektriciteitsverbruik (kWh):	Type vacuümpomp:
Totaal aandrijfvermogen (kW):	Centrale opstelling vacuümpompen: ja / nee
Aantal pompen:	

Vragenlijst voor alle vacuümsystemen

De maatregelen waarnaar verwezen wordt (V1-8) zijn te vinden op pagina 26.

Wordt er bij centrale opstelling van vacuümpompen regelmatig gecontroleerd op lekken in de leidingen?

- Ja
 Nee: zie V5

Is bekend of de drukmeter verbeterd kan worden?

- Ja
 Nee: zie V8

Als buiten bedrijfstijden geen vacuüm nodig is, wordt de pomp dan ook uitgeschakeld?

- Ja
 Nee: zie V6

Extra vragen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

Wordt op meerdere punten vacuüm opgewekt?

- Ja: zie V2
 Nee

Worden vacuüm pomp en leidingen regelmatig onderhouden?

- Ja
 Nee: zie V7

Wordt bij centrale vacuümpomp een ringleiding toegepast?

- Ja
 Nee: zie V3

Extra vragen bij uitgebreide aandacht voor het vacuümsysteem

Is er behoefte aan warm water met een temperatuur van 50-60°C tijdens bedrijfstijden van de vacuümpomp?

- Ja: zie V1
 Nee

Is er een wisselende vraag naar vacuüm (vooral bij centrale opwekking met meerdere vacuümpompen)?

- Ja: zie V4
 Nee

3.5 Vragenlijst biologische waterzuivering

Elektriciteitsverbruik (kWh):	Welk deel (in %) van het biogas wordt nuttig gebruikt?
Biogasopwekking (m³):	Hoe wordt het zuiveringsslib ontwaterd? niet / alleen indikken / indikken en zeefbandpers / indikken en centrifuge anders nl:
Type zuivering: aëroob / anaëroob anders nl:	Wat is het droge-stofgehalte van het afgevoerde slib?
Ontwerpcapaciteit in kg BZV (biologisch zuurstofverbruik) per dag:	Wat is de eindbestemming van het slib? uitrijden / composteren / verbranden / drogen / natte oxidatie anders nl:
Type beluchting (bij aërobe zuivering): puntbeluchter / bellenbeluchter anders nl:	
Als biogas gevormd wordt: Hoe wordt het biogas gebruikt? brander / gasmotor anders nl:	

Vragen bij uitgebreide aandacht voor de biologische waterzuivering

De maatregelen waarnaar verwezen wordt (WB1–8) zijn te vinden op pagina 32–33.

Draait de beluchting continu terwijl de installatie onderbelast is (d.w.z. minder afvalwater verwerkt dan maximaal mogelijk)?

- Ja: zie WB1
 Nee

Is de beluchting gekoppeld aan meting van het zuurstofgehalte?

- Ja
 Nee: zie WB2

Wordt biogas volledig benut?

- Ja
 Nee: zie WB3

Is de installatie onderbelast en is de hoeveelheid verontreiniging (BZV) per kg actief slib lager de ontwerpbelasting?

- Ja: zie WB6
 Nee

Worden beluchters, pompen en gemalen regelmatig onderhouden?

- Ja
 Nee: zie WB7–8

Extra vragen bij ontwerp nieuw systeem of renovatie

Is anaërobe (voor- of na)zuivering mogelijk?

- Ja: zie WB4
 Nee

Wordt nat slib afgevoerd voor thermisch drogen, composteren of verbranden?

- Ja: zie WB5
 Nee

3.6 Vragenlijst pompen en aandrijvingen

<p>Type motor: elektromotor / verbrandingsmotor</p> <hr/> <p>Brandstof: elektriciteit / aardgas / diesel anders nl:</p> <hr/> <p>Brandstofverbruik (kWh, m³ of liter):</p>	<p>Wat drijft de motor aan:</p> <hr/> <p>Welke regeling wordt daarbij toegepast:</p> <hr/> <p>Op welk signaal wordt geregeld:</p>
--	--

Toepassing stand der techniek en aandachtspunten

De maatregelen waarnaar verwezen wordt (PA1-4) zijn te vinden op pagina 40.

Bij vervanging of nieuwbouw van elektromotoren: wisselt het gevraagde vermogen en/of is er een combinatie van meerdere apparaten of aandrijvingen?

- Ja: zie PA1
 Nee

Bij verbrandingsmotoren: is er vraag naar warmte (bv. met een temperatuur van 90°C of meer) als de motor in bedrijf is?

- Ja: zie PA2
 Nee

Bij vervanging van motoren die continu draaien danwel veel uren maken, is er gekeken naar de mogelijkheid van een motor met hoger rendement?

- Ja
 Nee: zie PA3

Wordt het aangedreven apparaat geregeld op het juiste stuursignaal en is bekend of een gevoeliger sensor mogelijk is?

- Ja
 Nee: zie PA4

3.7 Inventarisatie potentieel voor restwarmtebenutting

Hieronder wordt een methode geschetst, de zogenaamde pinch-analyse, om in een bedrijf het potentieel voor restwarmtebenutting in te schatten. Deze methode is vrij uitgebreid. Het is dan ook niet de bedoeling deze analyse standaard van bedrijven te vragen. De vergunningverlener zal eerst in overleg met het bedrijf moeten inschatten of een dergelijke analyse zinvol zou kunnen zijn.

Op grond van bedrijfsspecifieke omstandigheden kunnen delen van de analyse weggelaten worden. Als een bedrijf bijvoorbeeld geen restkoude heeft (en dat geldt voor de meeste bedrijven) kan het onderdeel 'aanbod van restkoude' buiten beschouwing blijven. Het is verstandig van tevoren te overleggen welke bronnen worden meegenomen en welke buiten beschouwing blijven.

De inventarisatie heeft vier onderdelen:

1 Aanbod van restwarmte

Maak een lijst van installaties die warmte aanbieden. Geef per installatie aan:

- 1 Wat de warmtedrager is (bv. lucht, water, stoom);
- 2 Bij welke temperatuur de warmte vrijkomt;
- 3 Waar (in de inrichting) de installatie is opgesteld;
- 4 Op welke tijdstippen de warmte vrijkomt;
- 5 Hoe de warmte op dit moment wordt afgevoerd (bv. koelwater, schoorsteen);
- 6 (Een schatting van) de hoeveelheid warmte die vrijkomt (in $TJ = 10^{12}$ Joule).

Geadviseerd wordt om bronnen van minder dan 0,1 TJ per jaar buiten beschouwing te laten.

Voorbeelden in dit informatieblad van installaties die vaak een significant warmte-overschot hebben zijn (de condensator van) een koelinstallatie, een persluchtcompressor, een vacuümpomp, een naverbrander, een droogkamer en een verbrandingsmotor. Stoom- en verwarmingsketels hebben meestal een hoog rendement en daardoor weinig restwarmte. Bij procesapparatuur ontstaat ook restwarmte.

2 Warmtevraag

Maak een lijst van installaties die warmte vragen. Geef per installatie aan:

- 1 Aan welk medium de warmte moet worden overgedragen;
- 2 Welke temperatuur de warmte moet hebben;
- 3 Waar (in de inrichting) de installatie is opgesteld;
- 4 Op welke tijdstippen de warmte nodig is;
- 5 De manier waarop de warmte op dit moment geleverd wordt en het energiegebruik daarvan;
- 6 (Een schatting van) de hoeveelheid warmte die nodig is (in $TJ = 10^{12}$ Joule);

Geadviseerd wordt om warmtevragers van minder dan 0,1 TJ per jaar buiten beschouwing te laten.

Voorbeelden in dit informatieblad van installaties die vaak een significante warmtevraag hebben zijn een stoomketel en een droogkamer. Ruimteverwarming vraagt ook warmte. Procesapparatuur kan een belangrijke warmtevraag hebben.

Let wel: het kan voorkomen dat installaties op beide lijsten voorkomen. Een droogkamer bijvoorbeeld kan warme lucht vragen van 90°C en warme lucht van 50°C afvoeren.

3 Aanbod van restkoude

Deze categorie is vrij zeldzaam.

Maak een lijst van installaties die kou over hebben. Geef per installatie aan:

- 1 Wat het medium is (bv. lucht, water);
- 2 Bij welke temperatuur de kou vrijkomt;
- 3 Waar (in de inrichting) de installatie is opgesteld;
- 4 Op welke tijdstippen de kou vrijkomt;
- 5 Hoe de kou op dit moment wordt afgevoerd (bv. verdamper, schoorsteen);
- 6 (Een schatting van) de hoeveelheid kou die vrijkomt (in $TJ = 10^{12}$ Joule);

Geadviseerd wordt om bronnen van minder dan 0,1 TJ per jaar buiten beschouwing te laten.

Voorbeelden in dit informatieblad van installaties die vaak een significant koude-overschot hebben zijn een (cryo)condensatie-unit en een verdamper voor vloeibare stikstof of zuurstof. Bij procesapparatuur kan incidenteel ook een koude-overschot ontstaan.

4 Koudevraag

Maak een lijst van installaties die koude vragen. Geef per installatie aan:

- 1 Aan welk medium de koude moet worden overgedragen;
- 2 Welke temperatuur de koude moet hebben;
- 3 Waar (in de inrichting) de installatie is opgesteld;
- 4 Op welke tijdstippen de koude nodig is;
- 5 De manier waarop de koude op dit moment geleverd wordt en het energiegebruik daarvan;
- 6 (Een schatting van) de hoeveelheid koude die nodig is (in $TJ = 10^{12}$ Joule).

Geadviseerd wordt om koudevragers van minder dan 0,1 TJ per jaar buiten beschouwing te laten.

Voorbeelden in dit informatieblad van installaties die vaak een significante koudevraag hebben zijn een koelcel, persluchtconditionering, een (cryo)condensatie-unit en een regenererend absorptiefilter (afkoeling na regeneratie). Gebouwkoeling kan ook koude vragen. Procesapparatuur kan een belangrijke koudevraag hebben. Een geforceerd weggekoeld warmte-overschot is ook te beschouwen als een koudevrager.

Op grond van deze inventarisatie moet het vervolg worden vastgesteld (zie 2.9.3).

Bijlage 1

Literatuurreferenties

- 1 Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen, *CPR 13-2 Ammoniak, Toepassing als koude-middel voor koelinstallaties en warmtepompen*, 1999
- 2 Duinkerken, N., *Condenspotten en condensatiesystemen. Feiten, cijfers en situaties uit de praktijk*, Stenfert Kroese, Houten, 1992
- 3 InfoMil, *Nederlandse Emissie Richtlijnen Lucht (NeR)*
- 4 InfoMil, *Ero Informatieblad Rioolwaterzuiverings-inrichtingen en andere vormen van biologische afvalwaterzuivering*, 1997
- 5 InfoMil, DHV, *Beschrijving emissiebeperkende technieken* (intern rapport)
- 6 Ministerie van vrom en Ministerie van EZ, *Circulaire energie in de milieuvergunning*, november 1999
- 7 Nekovri, Novem, *Handboek energie-efficiency voor koel- en vrieshuizen*
- 8 Novem, Sven, Veen, *Efficiënt gebruik van elektriciteit in de industrie, 80 besparingsideeën* EBR 0346-89.10
- 9 Novem, *Verzamelband projectbladen TIEB (Tenders Industriële Energie Besparing)*, AO3.012A 94.01
- 10 Novem, *Lange termijn koude-opslag in de industrie*, DVI.1.028
- 11 Novem, *Efficiënte elektrische aandrijvingen in de industrie*, DV3.4.15.94.06
- 12 Novem, *Efficiënte persluchtsystemen in de industrie*, DV3.4.33.96.03
- 13 Novem, *Efficiënte regeling van droogprocessen* (verslag workshop 22 november 1994), DV3.4.21 95.02
- 14 Novem, *Vochtigheidssensoren voor droogprocessen*, tweede uitgave, DV3.4.36.96.10
- 15 Novem, *Technieken voor restwarmtebenutting in de procesindustrie*, DV3.4.62 04.98
- 16 Novem, *Energie-efficiënt drogen van slib en mest*, DV3.4.63 05.98
- 17 Novem, *Energiezorg – Systematische en voortdurende verbetering van de energie-efficiency in de industrie en utiliteitsbouw*, DVI.3.154
- 18 Novem, EnergieNed, *Factsheets energie-efficiency perslucht*, DV3.3.59
- 19 Novem, EnergieNed, *Factsheets energie-efficiency vleesverwerkende industrie*, DV3.3.60
- 20 Stichting Commissie Isolatie Nederlandse Industrie (CINI), *Isolatie voor de industrie*, Secretariaat CINI, Bussum, www.cini.nl

Bijlage 2

Lange-termijnopslag in de bodem

Principe

Opslag in de bodem is een systeem dat 's winters koude opslaat om de koelbehoefte in de zomer mee te dekken. In de zomer wordt warmte opgeslagen, die 's winters weer gebruikt kan worden. De opslag vindt plaats in watervoerende zandlagen of aquifers. Het systeem verbruikt netto geen grondwater en voert netto geen warmte toe of af aan de bodem.

Voorwaarde voor het systeem is dat een geschikte aquifer aanwezig is. Dit is in bijna heel Nederland het geval (zie figuur 9).



Figuur 9: In vrijwel heel Nederland zijn watervoerende zandlagen aanwezig die geschikt zijn voor energieopslag.

- Eén of meer aquifers tot maximaal 100 m diepte aanwezig
- Geen aquifers tussen 0 en 100 m diepte

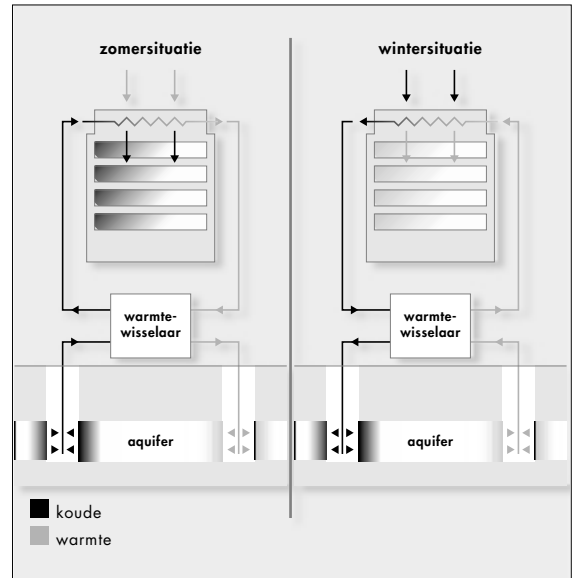
Bij aanleg van het systeem worden twee bronnen geslagen in een geschikte aquifer op een onderlinge afstand van 100–200 meter. Grondwater uit de ene bron wordt opgepompt, door een warmtewisselaar geleid en gaat vervolgens naar de andere bron. Het grondwater zit in een gesloten systeem en wordt niet belucht. Als het systeem in werking is, heeft het water in de ene bron een temperatuur van 7–10°C, en in de andere bron 14–20°C. In de zomer wordt water uit de koude bron gebruikt om via de warmtewisselaar warmte te onttrekken aan koelwater voor gebouwkoeling. Het opgewarmde grondwater gaat

naar de warme bron. In de winter wordt water uit de warme bron opgepompt en kan het warmte afgeven aan bijvoorbeeld ventilatielucht, waarna het naar de koude bron gaat.

Het principe wordt toegelicht in het diagram.



Afbeelding 8: het bovengrondse deel van een lange-termijnopslagsysteem is vaak niet erg indrukwekkend



Figuur 10: Werkingsprincipe van energieopslag. In de zomer gebruikt het gebouw de opgeslagen koude voor koeling. 's Winters kan het warme water uit de warme bron worden gebruikt, bijvoorbeeld voor verwarming van de ventilatielucht. Daarbij wordt ook de koude geladen die in de zomer nodig is. Het grondwater wordt niet zelf door het gebouw gepompt maar staat zijn warmte of koude af aan een apart circuit in het gebouw.

Meestal omvat een opslag één koude en één warme bron (ook aangeduid als doublet). Voor grotere projecten kunnen meerdere doubletten nodig zijn. Het systeem kan koude leveren tot temperaturen van 10°C, en is geschikt voor gebouw- en proceskoeling, maar niet voor lagere temperaturen (bijvoorbeeld vriescellen). De installatie wordt meestal zo ontworpen dat in de volledige koelvraag kan worden voorzien, met een reserve voor warme zomers. De warmte wordt niet altijd nuttig gebruikt. De door het systeem geleverde warmte kan gebruikt worden als basisverwarming, maar bijverwarming zal altijd nodig zijn.

Rentabiliteit

Het aanleggen van een lange-termijnopslag is alleen rendabel bij nieuwbouw of renovatie van een gebouw of proces. In dat geval moet het systeem vergeleken worden met het alternatief.

Vergeleken met compressorkoeling kan lange-termijnopslag rendabel zijn bij een koelvermogen vanaf 500 kW en minimaal 1000 gebruiksuren. Voor (utiliteits)gebouwen wordt uitgegaan van een vloeroppervlak van minimaal 7500 m². De precieze rentabiliteit is echter zeer sterk afhankelijk van lokale factoren, en kan alleen aan de hand van een haalbaarheidsonderzoek beoordeeld worden.

Bijlage 3

Definities

Aardgasequivalent

De hoeveelheid aardgas (in m³) die bij verbranding evenveel warmte oplevert als een gegeven hoeveelheid van een andere brandstof. De vergelijking wordt gemaakt op onderwaarde, dus exclusief de condensatiewarmte van waterdamp die bij verbranding ontstaat. Bijvoorbeeld: 1 liter huisbrandolie = 1,14 m³ aardgasequivalent.

Energiebesparing

Het verbeteren van de energie-efficiency door het treffen van maatregelen binnen de inrichting.

Faciliteiten

De installaties binnen een inrichting waar niet een eind- of tussenproduct wordt bewerkt of vervaardigd en die geen onderdeel zijn van het gebouw. Let wel: deze definitie is ook van toepassing op installaties of activiteiten die niet gekoppeld zijn aan een industrieel of ambachtelijk productieproces (en geen onderdeel uitmaken van een gebouw). Voorbeelden hiervan zijn terreinverlichting, grootkeukenapparatuur, een auto-wasstraat, een gemaal of een rioolwaterzuiveringsinrichting.

Gebouwen

Een gebouw in de zin van de Woningwet inclusief de gebouwinstallatie zoals bedoeld in 2.1.9 van NEN 2580: 1991 inclusief de warmtapwatervoorziening.

Processen

Het samenstel van installaties binnen een inrichting die deel uitmaken van een industrieel of ambachtelijk productieproces en waar een eind- of tussenproduct wordt bewerkt of vervaardigd.

Stand der techniek

Die energiebesparende maatregelen die in een gangbare en financieel gezonde inrichting binnen een branche met succes kunnen worden toegepast. Dit betreft maatregelen die ofwel reeds worden toegepast bij genoemde inrichtingen in binnen- of buitenland ofwel overeenkomstig de regels van de techniek vanuit andere processen of op basis van succesvolle, op industriële schaal uitgevoerde demonstratieprojecten kunnen worden toegepast. Het betreft maatregelen met een terugverdientijd van vijf jaar voor gebouwen, faciliteiten en processen.

Terugverdientijd

De verhouding tussen de investering voor de maatregel na aftrek van eventuele subsidies en de jaarlijkse opbrengsten van de maatregel tengevolge van de met de maatregel samenhangende energiebesparing en andere besparingen. Hierbij dient gerekend te worden met de op het moment van de vergunningaanvraag voor de betrokken inrichting geldende energieprijzen. Deze definitie van de terugverdientijd houdt dus geen rekening met eventuele kosten van het (vervroegd) uit bedrijf nemen van een installatie en de rentekosten.

Een uitgave van het Informatiecentrum
Milieuvergunningen (InfoMil),
november 1999.

InfoMil

Grote Marktstraat 43
2511 BH Den Haag
Postbus 30732
2500 GS Den Haag
Telefoon (070) 361 05 75
Fax (070) 363 33 33
E-mail mail@infomil.nl
Website www.infomil.nl

Paragraaf 2.1 Koel- en vriesinstallaties is
mede opgesteld door Meijer Energie- en
Milieumanagement, Den Haag

Vormgeving

Conefrey | Koedam BNO, Almere

Fotografie

W.J. Dijkma, Haarlem

Druk

PlantijnCasparie, Den Haag

Ondanks het feit dat bij de samenstelling van
deze publicatie grote zorgvuldigheid in acht
is genomen, kunnen er geen rechten aan
worden ontleend.

© InfoMil, Den Haag 1999