

*TNO-rapport*

**Verkenning van mogelijkheden tot innovatie  
van koelwatersystemen, ter vermindering van  
milieu-effecten**

OST

Referentienummer 93-166  
Dossiernummer 112322-23935  
Datum mei 1993  
NP

Auteurs  
Ir. J.W. Assink  
Ir. H.C. van Deventer

Trefwoorden  
– industriële koelsystemen  
– koelwatersystemen  
– waterbehandeling  
– milieu-effecten  
– innovatie

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Bestemd voor  
Senter  
Postbus 30732  
2500 GS 's Gravenhage

## **Samenvatting**

### **Achtergrond**

Koelsystemen worden op zeer veel plaatsen in de industrie gebruikt voor het afvoeren van restwarmte uit processen of het koelen van apparatuur. De meeste koelsystemen maken gebruik van koelwater, omdat dit medium relatief compacte koelsystemen toelaat en vrijwel overal in voldoende mate en tegen lage kosten beschikbaar is. Het koelwatergebruik maakt een zeer groot deel uit van het totale watergebruik door de Nederlandse industrie, te weten ca. 90%. Van de in totaal 3902 miljoen m<sup>3</sup> industrieel koelwater per jaar is 37% zoet water, waaronder 127 miljoen m<sup>3</sup>/jaar zoet grondwater.

Aan koelsystemen kleven meerdere milieuhygiënische bezwaren, waarvan de thermische belasting en de lozing van conditioneringsmiddelen (inhibitoren, stabilisatoren, dispergentia, biociden) het meest in het oog springen. Daarnaast is in recente jaren de verdrogingsproblematiek aanleiding geweest tot een steeds restrictiever vergunningbeleid inzake het grondwatergebruik, vooral voor koeldoeleinden.

Gezien het algemene gebruik van koelsystemen in de industrie, de daarbij optredende milieubelasting én de uitgezette beleidslijnen in onder meer het NMP en de derde Nota Waterhuishouding, lijkt het wenselijk de mogelijkheden voor innovatieve verbeteringen aan koelsystemen, dan wel alternatieven hiervoor, te onderzoeken.

### **Doel en inkadering studie**

De studie is uitgevoerd met het doel aan te geven welk onderzoek op het gebied van koelsystemen gewenst is om op termijn via technologische vernieuwingen tot een vermindering van de (integrale) milieubelasting door de betreffende systemen te komen. De mogelijke oplossingsrichtingen zijn beoordeeld op relevantie voor het IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie.

Daarnaast is een beeld geschetst van de state-of-the-art van industriële koelsystemen. Er is in dit rapport met name aandacht gegeven aan de industriële koelwatersystemen, inclusief de belangrijkste alternatieven daarvoor.

### **Koelwatersystemen en hun toepassingsmogelijkheden**

Er zijn in de praktijk vele uitvoeringsvormen van koelsystemen c.q. koelwatersystemen. De meest veelvuldig toegepaste zijn doorstroomkoelsystemen (veelal met oppervlaktewater) en open circulatiesystemen (vaak met leidingwater als suppletiewater). Ook bronwater wordt in beide typen frequent gebruikt. Behandeling c.q. conditionering van het koelwater, teneinde afzettingen, corrosie en biologische groei te voorkomen, wordt het meest intensief toegepast in open circulatiesystemen.

Niet elk koelsysteem is geschikt voor een gegeven koelbehoefte in een zekere situatie. Dit is het gevolg van onder meer verschillen in de te bereiken eindtemperatuur, ruimtebeslag, verenigbaarheid met andere materialen, intrinsieke veiligheid, hygiënische aspecten, investeringen en het al dan niet beschikbaar zijn van bepaalde waterbronnen. Zo is bijvoorbeeld met bronwater een temperatuur van 12 °C bereikbaar, de open circulatiesystemen zijn vanaf ca. 26 °C inzetbaar, terwijl luchtkoeling 's zomers niet lager komt dan ca. 40 °C.



$$\Delta t_{\text{typisch}} = \frac{1000 \text{ kg}}{5 \cdot 4,186 \text{ kJ/kg} \cdot \frac{164 \times 1000}{3600} \text{ s}} = \frac{1000}{1,16 \times 164} = 5^{\circ}\text{C}$$

116

### Milieu-aspecten koelwatersystemen

De belangrijkste milieuaspecten van verschillende koelsystemen zijn samengevat in het onderstaande schema en worden in de tekst kort toegelicht.

| Type koelwatersysteem | Emissies per MW koelcapaciteit <sup>1)</sup> (ordegrootten) |                                                                        |                                                                                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Waterdebiet of spui (m <sup>3</sup> /uur)                   | Als gevolg van toevoegingen (g/uur)                                    | Overige aspecten                                                               |
| Doorstroomkoeling     | ca. 170                                                     | actief Cl: 2 <sup>2)</sup><br>AOX/EOX: 0,1<br>koper: 0,2 <sup>3)</sup> | Eventueel watertoebereiding (slibben); thermische belasting                    |
| Circulatiekoeling     |                                                             |                                                                        |                                                                                |
| – open (koeltoren)    | ca. 0,9                                                     | biociden <sup>4)</sup> : 13<br>act.Cl/Br: <1<br>cond.midd.: 65         | Eventueel watertoebereiding; opzouting; spatwater (10-20 kg/uur); pluimhinder. |
| – gesloten            | nihil                                                       | nihil                                                                  | Geluidsoverlast en hoog energieverbruik                                        |

<sup>1)</sup> Landelijke en tijdsgewogen gemiddelden. Voor doorstroomsystemen is uitgegaan van een temperatuurstijging van gemiddeld 5 °C. Voor circulatiesystemen wordt uitgegaan van een gemiddelde indikkingsfactor van 2,5 (per MW verdampt ca. 1,3 m<sup>3</sup>/uur).

<sup>2)</sup> Lozingen tot ruim 100 g/h (per MW) komen tijdelijk voor.

<sup>3)</sup> Alleen bij gebruik van koperhoudende legeringen in condensorsystemen.

<sup>4)</sup> Niet-oxyderende biociden.

#### a. Doorstroomsystemen

Kenmerkend voor doorstroomsystemen is het grote *koelwaterdebiet*: per MW af te voeren warmte is circa 100 tot 300 m<sup>3</sup> water per uur nodig (gemiddeld ca. 164 m<sup>3</sup>/uur). Daartegenover staat dat relatief geringe hoeveelheden additieven worden gebruikt, voornamelijk chloor (natriumhypochloriet) voor bestrijding van mosselgroei en dergelijke.

In doorstroomsystemen wordt het meest gebruik gemaakt van oppervlaktewater (in de industrie ca. 93% van het totaal volume; bij elektriciteitscentrales > 99%), gevolgd door grondwater.

De *thermische belasting* van oppervlaktewater is door vergunningen gelimiteerd. De totale hoeveelheid weggekoelde energie via industriële doorstroomsystemen is in Nederland ca. 2700 MW. Er zijn geen belangrijke effecten van doorstroomkoelsystemen op de huidige ecosystemen in Nederland bekend; wel wordt de terugkeer van de zalm in de grote rivieren belemmerd door de thermische lozingen.

Door chloring van koelwater kunnen er geringe concentraties trihalomethanen en andere *gechloreerde verbindingen* ontstaan. Een typische AOX-concentratie is 10 µg/l, hoewel bij onjuist gebruik ook veel hogere concentraties kunnen vrijkomen.



Het totale chloorverbruik in Nederland voor koelwatersystemen is niet precies bekend, maar ligt waarschijnlijk tussen 1000 en 1500 ton actief chloor per jaar voor bulkgebruik.

#### **b. Open circulatiesystemen**

De omvang van de spui uit circulatiesystemen met een open koeltoren is primair afhankelijk van de indikkingsgraad. De indikkingsgraad wordt op haar beurt bepaald door de kwaliteit van het ingenomen water (suppletiewater) en de maximaal toelaatbare concentratie van (hardheids)zouten in het systeem of in de spuiroom. Bij veel voorkomende indikkingsfactoren tussen 1,5 en 4 varieert de *spuihoeveelheid* tussen circa 3 en 0,5 m<sup>3</sup> per uur per MW koelcapaciteit (circulatiedebiet: ca. 150 m<sup>3</sup>/uur).

In toenemende mate wordt bij de conditionering gebruik gemaakt van *polymere materialen*, zoals acrylaten, poly-elektrolyten en polyfosfaten. Ook worden steeds meer niet-oxyderende *biociden* gebruikt, waaronder quaternaire ammoniumverbindingen, isothiazolines en organische broom- en chloorverbindingen (bijvoorbeeld isocyanuraten, DBNPA). Het gebruik van anorganische stoffen (nitriet, molybdeen- en zinkverbindingen) neemt verder af; chromaat wordt praktisch niet meer toegepast. Alleen het gebruik van bromide neemt toe (ter gedeeltelijke vervanging van bleekloog). Volgens opgave van Aqua Nederland worden door haar leden in Nederland circa 1500 ton conditioneringsmiddelen plus ca. 300 ton biociden (exclusief chloor) per jaar geleverd; het betreft geformuleerde producten en naar schatting 80% van de markt. De conditioneringsmiddelen wordt praktisch volledig geloosd, deels op het oppervlaktewater en deels op het riool.

Open koeltorens kennen in de praktijk soms het probleem van *pluimvorming* (lokale mistvorming) en het risico van verspreiding van *ziektekiemen*, met name bij onvoldoende conditionering.

#### **c. Overige koelsystemen**

In volledig *gesloten circulatiesystemen* hoeft in het algemeen geen waterbehandeling plaats te vinden en zijn er nagenoeg geen afval(water)stromen. Wel wordt vaak sulfiet ingezet voor het verwijderen van zuurstof. Het *energieverbruik* is ongeveer het dubbele van een open circulatiesysteem. Voor het opwekken van de benodigde elektriciteit is weer koelwater (oppervlaktewater voor doorstroomsysteem) nodig, zodat het netto koelwatergebruik toch nog substantieel is. De totale emissie aan conditioneringsmiddelen is daarentegen veel kleiner dan in open circulatiesystemen.

De vrij hoge investering (50-100% extra), het grotere ruimtebeslag (het dubbele of meer), de geluidsoverlast en het hogere koeltemperatuurniveau zijn in de praktijk veel voorkomende redenen om af te zien van gesloten circulatiesystemen en te kiezen voor open systemen.

Er worden in de praktijk diverse mengvormen van de voornoemde koelsystemen toegepast, zoals *hybride of nat/droog systemen*. De emissies nemen een tussenpositie in.

#### **d. Overige milieuaspecten**

- *Watertoebereiding*; afhankelijk van de gestelde eisen en de waterkwaliteit kunnen onder meer slibben (bijvoorbeeld ontijzering, zwevend-stofverwijdering) en concentraten van ionenwisselaars (ontharding) ontstaan.



---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*


---

*Wat is te zeggen  
voor drinkwater?*

- *Geluidsoverlast*; (koeltorens en luchtkoeling); door afscherpende maatregelen en de selectie van een geschikt type koeltoren of warmtewisselaar/ventilator hoeft dit geen probleem te zijn.
- *Verdroging*; speelt op regionaal niveau en bij belangrijke grondwateronttrekkingen.
- *Lekkages*; tengevolge van geringe lekkages komen olieconcentraties tot circa 10 mg/l in het effluent veelvuldig voor. Bij calamiteiten (bijvoorbeeld pijpbreuk in een warmtewisselaar) treden soms grote emissies op.
- *Reiniging* (incidenteel); diverse zuren en andere middelen, die in het algemeen gecontroleerd worden afgevoerd.

### Trends

Enkele algemene trends, die de milieubelasting geleidelijk zullen reduceren, zijn de volgende:

- Grondwater wordt steeds minder gebruikt door de beperkingen die hieraan door de overheid worden gesteld.
- Door toeleveranciers wordt getracht minder milieubelastende conditioneringsmiddelen te ontwikkelen en in te zetten.
- Opslag van koude in de bodem.
- De kosten voor watergebruik nemen toe.

### Probleemvelden

De volgende probleemvelden, die de toepassing of ontwikkeling van minder milieubelastende koel(water)systemen bemoeilijken, zijn als belangrijk naar voren gekomen:

- *Relatief weinig aandacht voor koelwatersystemen*  
Hoewel koelwater als een belangrijke processtroom valt te kenschetsen, is er in het algemeen weinig aandacht voor ontwerp, onderhoud en bedrijfsvoering van koelwatersystemen. Liever kiest men voor de veilige weg van ruim doseren van conditioneringsmiddelen, dan het risico van calamiteiten en procesverstoring, dat eventueel ontstaat bij het kritisch doseren van conditioneringsmiddelen, te accepteren. De nog steeds relatief geringe kosten van koelwater, conditioneringsmiddelen en koelwaterlozingen, houden deze attitude in stand.
- *Beperkte integratie energiestromen*  
Integratie van energiestromen zal leiden tot een geringere koelbehoefte, doordat meer warmte wordt teruggewonnen die anders weggekoeld zou moeten worden. In het midden- en kleinbedrijf heeft integratie van energiestromen slechts beperkt aandacht.
- *Onzekerheid over werking en effecten van conditioneringsmiddelen*  
Er zijn veel conditioneringsmiddelen en -systemen beschikbaar, maar de werking ervan in de praktijk is slecht voorspelbaar. Dit geldt in versterkte mate voor nieuw ontwikkelde conditioneringsmiddelen, waarvan de werking, alsmede de milieueffecten, nog onvoldoende bekend zijn. Een vergelijkende effectbepaling van conditioneringsmiddelen in de praktijk is niet beschikbaar.



---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

— *Beperkte ontwikkelingen aan conditioneringsmiddelen*

Aan conditioneringsmiddelen vindt slechts beperkte ontwikkeling plaats, waarbij de toch al weinige fundamentele kennis van de achterliggende fysische en chemische processen van koelwaterconditionering niet wordt ingezet.

— *Onduidelijkheden in het overheidsbeleid*

Bij de keuze van een type koelsysteem alsmede van de bedrijfswijze daarvan, spelen diverse milieu-implicaties: grond- of oppervlaktewateronttrekking, de milieu-effecten van (nieuw ontwikkelde) conditioneringsmiddelen, een sterker vervuilde spui bij verder indikken bij open circulatiesystemen, veranderende energieverbruiken, geluidsoverlast, enz. Hierbij ontbreken vergelijkingscriteria. Bovendien formuleert de overheid in beleidsnota's en regelgeving ten dele onvoldoende duidelijke en strijdige eisen/voorwaarden.

### **Mogelijke oplossingsrichtingen**

Voor het genereren en beoordelen van gewenste oplossingsrichtingen is een workshop georganiseerd met onder meer vertegenwoordigers van industrieën en branches waarin de koelwaterproblematiek speelt, onderzoekinstellingen (universiteiten, GTT's), leveranciers van conditioneringsmiddelen.

Dit heeft geleid tot een scala van mogelijke oplossingsrichtingen, waarvan sommigen breed toepasbaar en anderen op bepaalde typen koelwatersystemen gericht zijn.

Binnen de veelheid van 'mogelijke oplossingsrichtingen' kan de volgende indeling worden gemaakt:

- A. direct implementeerbare oplossingsrichtingen, waarbij de daadwerkelijke uitvoering afhankelijk is van economische en praktische overwegingen; deze categorie vormt de huidige stand der techniek en is niet of nauwelijks interessant voor fundamenteel onderzoek;
- B. oplossingsrichtingen die verder dienen te worden ontwikkeld, met name middels toegepast onderzoek;
- C. oplossingsrichtingen die verder dienen te worden ontwikkeld, met name middels fundamenteel onderzoek; een deel hiervan is geschikt voor het IOP-Milieutechnologie (onderdeel Preventie).

Binnen deze indeling, die feitelijk niet erg rigide is, is een prioritering aangebracht, gebaseerd op de te verwachten milieu-voordelen:

1. een lagere koelwaterbehoefte;
2. minder, of minder schadelijke, lozingen van conditioneringsmiddelen.

De volgorde van de hieronder genoemde oplossingsrichtingen, binnen de subgroepen B en C, representeert de uit deze criteria afgeleide prioritering (van hoog naar laag).



**Oplossingsrichtingen die verder ontwikkeld kunnen worden door middel van toegepast onderzoek (groep B)***— Voorbehandelen koelwater*

Door in te nemen koelwater beter te behandelen, kan dit langer in circulatie worden gehouden waardoor er uiteindelijk minder suppletiewater en conditioneringsmiddelen nodig zijn. Onderzoek is gewenst naar behandelingsmethoden van in te nemen koelwater, de af te scheiden (of toe te voegen stoffen) en het effect daarvan op de vervuilingssnelheid en de suppletiebehoefte van koelwater en conditioneringsmiddelen.

*— Beoordelingssystematiek koelsystemen ('meetlat')*

Ontwikkeling van een 'meetlat', waarmee koelsystemen en koelwater-conditioneringsmiddelen vergeleken kunnen worden, rekening houdend met milieubelasting naar water en lucht, energieverbruik, investerings- en andere kosten. Een meetlat in de vorm van één gewogen getal is naar verwachting niet mogelijk. Wel lijkt het haalbaar om de criteria die bij de onderlinge vergelijking een rol spelen te definiëren en hiervoor weegfactoren te formuleren, eventueel afhankelijk van de toepassing.

*— Reïnfiltratie van grondwater*

Door grondwateronttrekking voor koeldoeleinden te combineren met reïnfiltratie van opgewarmd maar schoon koelwater, wordt verdroging en infiltratie van vervuild oppervlaktewater naar het grondwater vermeden. Het zelfde geldt voor koude-opslag in de bodem. Onderzoek moet plaatsvinden naar de voorwaarden waaronder reïnfiltratie van grondwater mogelijk is, en naar de beveiligingsmaatregelen die hierbij noodzakelijk zijn.

*— Materiaalontwikkeling, coatings*

De ontwikkeling van hoogwaardige, gladde en corrosie-ongevoelige materialen en coatings, leidt tot vermindering van de behoefte aan conditioneringsmiddelen, omdat vervuiling en corrosie nauwelijks zullen optreden. In combinatie met hydraulische maatregelen kan eventuele vervuiling 'mechanisch' worden bestreden.

*— Lekkagevrije warmtewisselaars*

Een grote probleem bij veel koelwatersystemen vormt de lekkage van warmtewisselaars, waardoor procesvloeistoffen in het koelwater terecht kunnen komen. De ontwikkeling van bijvoorbeeld dubbelwandige warmtewisselaars, waarbij aandacht besteed moet worden aan de warmteoverdracht en een acceptabele kostprijs, kan hierin verbetering brengen.

*— Beslismodel onderhoud koelwatersystemen*

Door beschikbare kennis omtrent de milieubelasting van en door onderhoud aan koelsystemen, zowel preventief als curatief, te bundelen, kan een beslismodel voor onderhoud aan koelsystemen worden opgesteld.

*— Werking (nieuwe) conditioneringsmiddelen*

Van (nieuw ontwikkelde) conditioneringsmiddelen is het moeilijk om vooraf de werking en de milieu-effecten vast te stellen. Onafhankelijk onderzoek hiernaar biedt de mogelijkheid van vergelijking en keuze, en kan sturend werken op toekomstige ontwikkelingen.



**Oplossingsrichtingen die verder ontwikkeld kunnen worden door middel van fundamenteel onderzoek, waaronder het IOP-Milieutechnologie (groep C)**

- *Koelwaterzuivering (met hergebruik)*  
Door reiniging van circulerend water in open circulatiesystemen of van de spui, kunnen lozing en suppletie verminderd worden. Hiertoe moeten scheidingstechnieken ontwikkeld worden die bijvoorbeeld door conditioneringsmiddelen in oplossing gehouden hardheidsafzettingen of andere vervuilende stoffen afscheiden. Ook kan een gerichte ontwikkeling van conditioneringsmiddelen worden nagestreefd, die eenvoudig af te scheiden of terug te winnen zijn. Gedacht kan worden aan middelen die zouten in het koelwater preferent binden, tot colloïdale deeltjes, en die vervolgens fysisch-mechanisch afscheiden.
- *Alternatieve productieprocessen*  
Door de ontwikkeling van niet-thermische processen, of processen bij lagere temperaturen, kan op termijn de koelbehoefte verminderen. Te denken valt aan bijvoorbeeld membraan- en kristallisatieprocessen, in plaats van indampen en distillatie. Ook door verdergaande ontwikkeling van katalysatoren en enzymen kan bereikt worden dat processen bij veel lagere temperaturen en drukken kunnen verlopen.
- *Betere conditioneringsmiddelen*  
Het ontwikkelen van betere en/of 'anders geaarde' conditioneringsmiddelen of -methoden, zoals (biologisch) afbreekbare conditioneringsmiddelen en middelen op basis van 'template-vorming'.
- *Fysische methoden (FAK)*  
Hoewel in milieu-opzicht zeer aantrekkelijk, blijft er onduidelijkheid bestaan over de werkingsprincipes en de toepassingsgrenzen van fysische methoden ter bestrijding van hardheidsafzettingen (FAK). Onderzoek naar de achterliggende mechanismen en daarmee naar de toepassingsgebieden, is gewenst.
- *Niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen*  
Nader onderzoek naar werking en economische aspecten van ozon, waterstofperoxyde of andere niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen als biocide, al dan niet in combinatie met andere conditioneringsmiddelen, is gewenst. Een belangrijke vraag lijkt hierbij te zijn hoe deze middelen op de meest doelmatige wijze in het water kunnen worden gebracht en gehouden, eventueel via andere generatiewijzen. Ook dient aandacht te worden besteed aan de interactie met bromide (vorming van actief broom c.q. bromaat en trihalomethanen) en de combinatie met andere conditioneringsmiddelen.
- *Monitoring koelwaterconditie*  
Door monitoring van de koelwaterconditie, i.e. monitoring van de conditioneringsmiddelen-concentratie of van een afgeleide grootheid die maatgevend is voor de werkzaamheid, kan de dosering van conditioneringsmiddelen worden geoptimaliseerd. Daartoe moeten sensoren worden ontwikkeld, eventueel in combinatie met de ontwikkeling van eenvoudig te monitoren conditioneringsmiddelen. Daarnaast is er een duidelijke behoefte gesignaleerd aan het vaststellen van de samenstelling van effluentstromen, waarbij veelal lage concentraties gedetecteerd

moeten worden. Meting van de volgende componenten/indices is wenselijk: biociden, AOX, TOC, gechloreerde koolwaterstoffen, desinfectiemiddelen, toxiciteit, enz.

– *Monitoring vervuiling*

Door de ontwikkeling van monitoringsystemen van de koelwaterzijdig optredende vervuiling kan de dosering van conditioneringsmiddelen worden geoptimaliseerd c.q. geminimaliseerd.

### **Conclusies ten aanzien van IOP-Milieutechnologie**

Gezien de aandachtspunten in het IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie, lijken slechts enkele onderwerpen geschikt voor onderzoek in dit kader. Dit zijn met name:

- |                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>– Koelwaterzuivering (met hergebruik van water en/of conditioneringsmiddelen)</li><li>– Fysische methoden (FAK)</li></ul> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Andere onderwerpen zijn weliswaar interessant voor reductie van de milieubelasting, maar lijken minder goed te passen binnen de huidige kaders van het IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie; in dit verband kunnen worden genoemd:

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>– Alternatieve productieprocessen (niet of laag thermisch)</li><li>– Betere conditioneringsmiddelen (ook niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen) en hun werking/effekten</li><li>– Monitoringsystemen (vervuiling)</li><li>– Voorbehandelen koelwater</li><li>– Beoordelingssystematiek koelsystemen ('meetlat')</li></ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## Inhoudsopgave

|           |                                                                       |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
|           | <b>Samenvatting .....</b>                                             | <b>2</b>  |
|           | <b>Voorwoord.....</b>                                                 | <b>11</b> |
| <b>1</b>  | <b>Inleiding .....</b>                                                | <b>12</b> |
| <b>2</b>  | <b>Werkwijze.....</b>                                                 | <b>13</b> |
| <b>3</b>  | <b>Koelsystemen .....</b>                                             | <b>14</b> |
| 3.1       | Doel en realisatie van koeling.....                                   | 14        |
| 3.2       | Uitvoeringsvormen van koelsystemen .....                              | 15        |
| 3.3       | Toepassingsgebieden koelsystemen en bronnen van warmte.....           | 21        |
| 3.4       | Hergebruik van warmte .....                                           | 22        |
| 3.5       | Selectie van een koelsysteem.....                                     | 22        |
| 3.6       | Praktische inzetbaarheid koelsystemen .....                           | 23        |
| 3.7       | Bronnen van koelwater.....                                            | 25        |
| 3.8       | Waterbehandeling en systeemreiniging .....                            | 27        |
| 3.9       | Relatie waterbehandeling met spui, systeem-<br>en materiaalkeuze..... | 29        |
| 3.10      | Reiniging van koelsystemen .....                                      | 33        |
| 3.11      | Kosten.....                                                           | 33        |
| <b>4</b>  | <b>Milieubelasting.....</b>                                           | <b>35</b> |
| 4.1       | Koelwatergebruik.....                                                 | 35        |
| 4.2       | Emissies naar het water .....                                         | 37        |
| 4.3       | Overige aspecten .....                                                | 41        |
| <b>5</b>  | <b>Recente ontwikkelingen .....</b>                                   | <b>43</b> |
| 5.1       | Technologische ontwikkelingen .....                                   | 43        |
| 5.2       | Beleidsmatige ontwikkelingen .....                                    | 43        |
| <b>6</b>  | <b>Knelpunten en probleemvelden.....</b>                              | <b>46</b> |
| <b>7</b>  | <b>Mogelijke oplossingsrichtingen .....</b>                           | <b>49</b> |
| <b>8</b>  | <b>Prioritering gewenste ontwikkelingen.....</b>                      | <b>54</b> |
| <b>9</b>  | <b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>                               | <b>56</b> |
| <b>10</b> | <b>Referenties .....</b>                                              | <b>57</b> |
| <b>11</b> | <b>Verantwoording .....</b>                                           | <b>59</b> |

## *Bijlagen*

## Voorwoord

Deze studie is verricht in het kader van het IOP-milieutechnologie onderdeel Preventie. IOP staat voor Innovatiegericht Onderzoek Programma. Er bestaan een twaalfstal van dit soort stimuleringsprogramma's opgezet door het Ministerie van Economische Zaken en bedoeld voor toepassingsgericht onderzoek aan universiteiten en instituten. Het IOP-Milieutechnologie kent drie onderdelen: Milieubiotechnologie, Recycling en Preventie.

Het IOP-Milieutechnologie onderdeel Preventie heeft om het programma niet te wijldopig te laten worden een specifiek thema meegekregen: 'Recycling van processtromen binnen procesgrenzen'. De bedoeling is processtromen die met lage concentraties microverontreinigingen vervuild zijn zodanig te reinigen middels nieuwe scheidings- of conversietechnologie, dat de processtroom en eventueel ook de afgescheiden verontreiniging(en) opnieuw toegepast kunnen worden.

Het IOP-preventie is in 1991 als vier-jarig programma van start gegaan. Een programma Commissie speciaal voor dit doel opgezet heeft een eerste zevental onderzoeksprojecten uitgekozen waaraan vervolgens door het ministerie van EZ subsidie is toegezegd. Het secretariaat van het IOP-programma ligt bij SENTER (voorheen StiPT).

Bij het thema 'Recycling van processtromen binnen procesgrenzen' heeft de commissie zich de vraag gesteld of er op het gebied van koelwater geen projecten denkbaar zijn met een potentieel zeer groot milieu-effect: een enorme besparing op waterverbruik naast een vermindering van de hoeveelheid toegepaste conditioneringsmiddelen. De commissie kwam tot de conclusie <sup>dat</sup> er eigenlijk nog maar heel weinig bekend is over zowel het verbruik van water en additieven als over mogelijke, milieuvriendelijker alternatieven. Om hierin een beter inzicht te verkrijgen is TNO opdracht gegeven hiervoor een studie uit te voeren met als doel:

- Voor bedrijfsleven en kennisinfrastructuur een helder beeld te scheppen van State-of-the-Art in koelwatertechnologieën.
- Voor de programma commissie duidelijk maken of en zo ja op welk onderwerp onderzoek mogelijk is dat de koelwaterproblematiek aanpakt en binnen het IOP-preventie past.

De studie is uitgevoerd in samenwerking met de TU-Delft en is begeleid door een groep bestaande uit de heren Drs. K.M. Wouterse (SENTER), Ir. H.B. Pols (RIZA), Ing. W. Kat (Hoogovens) en Dr. O.S.L. Bruinsma (TU-Delft).

Drs. K.M. Wouterse  
secretaris IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie  
SENTER



## **1 Inleiding**

### **Probleemschets**

Koelsystemen worden op zeer veel plaatsen in de industrie gebruikt voor het afvoeren van restwarmte uit processen of het koelen van apparatuur. De meeste koelsystemen maken gebruik van koelwater, omdat dit medium relatief compacte koelsystemen toelaat en tot voor kort vrijwel overal in voldoende mate en tegen lage kosten beschikbaar was. Het koelwatergebruik maakt een zeer groot deel uit van het totale watergebruik door de Nederlandse industrie (ca. 90%).

Aan koelsystemen kleven meerdere milieuhygiënische bezwaren, zoals de thermische belasting en de lozing van conditioneringsmiddelen (inhibitoren, stabilisatoren, dispersgentia, biociden en dergelijke). Daarnaast is in recente jaren de verdrogingsproblematiek aanleiding geweest tot een restrictiever vergunningenbeleid inzake het grondwatergebruik, vooral voor koeldoelinden.

Gezien het algemene gebruik van koelsystemen in de industrie, de daarbij optredende milieubelasting en de uitgezette beleidslijnen in het NMP en de derde Nota Waterhuishouding, lijkt het wenselijk de mogelijkheden voor innovatieve verbeteringen aan koelsystemen, dan wel alternatieven hiervoor, te onderzoeken.

SENER heeft IMET-TNO opdracht gegeven tot het uitvoeren van een studie op dit terrein en in het bijzonder met betrekking tot industriële koelwatersystemen. De uitvoering van de studie is verzorgd door de afdelingen Milieutechnologie en Warmte- en koudetechniek van IMET-TNO en het laboratorium Apparatenbouw Procesindustrie van de TU-Delft (Prof.dr.ir. G.M. van Rosmalen).

### **Doel studie**

Doel van de studie is om aan te geven welke mogelijkheden er zijn en welk onderzoek op het gebied van koelsystemen gewenst is om op termijn via technologische vernieuwingen tot een vermindering van de (integrale) milieubelasting door de betreffende koelprocessen te komen.

Ter onderbouwing hiervan zijn de huidige stand der techniek en de te voorziene beleidsmatige en technologische ontwikkelingen kort omschreven. De hieruit af te leiden (technologische) knelpunten/probleemvelden en mogelijke oplossingsrichtingen zijn vervolgens beoordeeld op relevantie voor het IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie.

### **Inkadering**

In de studie is met name aandacht gegeven aan de industriële koelwatersystemen die worden gebruikt voor het afvoeren van overtollige warmte uit allerhande apparaten en processen, met inbegrip van enkele belangrijke alternatieven voor deze koelwatersystemen.

Relatief weinig of geen aandacht is gegeven aan airconditioningsystemen, compressiekoelsystemen (inclusief CFK-problematiek) en directe waterkoeling met de daaruit voortkomende waterverontreiniging (bijvoorbeeld bluswater, boorolieëmulsijs, gecombineerd koel- en waswater in de levensmiddelenindustrie, papierindustrie en dergelijke).

## 2 Werkwijze

De studie is opgebouwd rond twee onderwerpen:

1. Inventarisatie (hoofdstuk 3 tot en met 6).
2. Oplossingsrichtingen (hoofdstuk 7 en 8).

Tijdens de uitvoering van de studie zijn deze onderwerpen aaneensluitend bestudeerd, waarbij de volgende aandachtspunten en werkwijzen zijn gekozen.

### *ad 1. Inventarisatie*

Via een literatuurstudie en diverse gesprekken met deskundigen is informatie verzameld met betrekking tot:

- 'stand der techniek';
- de technologische ontwikkelingen en de voorziene beleidsmatige ontwikkelingen;
- huidige en te verwachten knelpunten, vooral met betrekking tot de milieubelasting door koelwatersystemen.

### *ad 2. Oplossingsrichtingen*

Op basis van de gesignaleerde knelpunten is vervolgens een aantal mogelijke oplossingsrichtingen aangegeven. Ten dele zijn deze oplossingsrichtingen naar voren gekomen tijdens de interviews. Via een speciaal voor deze studie georganiseerde workshop (d.d. 28 oktober 1992) zijn deze oplossingsrichtingen getoetst en verder aangevuld. Daarbij waren aanwezig vertegenwoordigers van onder meer onderzoekinstellingen en de industrie waarin de koelwaterproblematiek speelt.

Op basis van het voorgaande zijn tenslotte de oplossingsrichtingen gerangschikt naar hun aard (zoals type onderzoek en toepassingsgebied) en is aangegeven in hoeverre de geselecteerde oplossingsrichtingen kunnen bijdragen aan de thema's van het IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie; deze thema's zijn:

- Recycling binnen procesgrenzen.
- Vermindering van emissies van microverontreinigingen door scheidings- of conversieprocessen.

Er is met betrekking tot de mogelijke oplossingsrichtingen niet gestreefd naar volledigheid. Er wordt in dit verband gewezen op andere publikaties en studies die recentelijk zijn uitgevoerd, zoals referentie [1] en [13].

In de bijlagen 1 tot en met 3 is uitgebreide informatie over de gehouden interviews en de workshop opgenomen. De gegevens hieruit zijn in de hoofdtekst gebruikt zonder nadere verwijzingen.



### 3 Koelsystemen

#### 3.1 Doel en realisatie van koeling

##### Doel

Een koelsysteem is er op gericht overtollige of ongewenste warmte te verplaatsen van een bron (plaats van ontstaan) naar een uiteindelijk ontvangend milieucompartiment, i.e. de atmosfeer, het oppervlaktewater of eventueel het grondwater. De overtollige warmte ontstaat bij uiteenlopende bewerkingen c.q. processen, en is aanwezig in apparaten, proces- en produktstromen. Koeling wordt in de praktijk uitgevoerd om technische, economische en/of praktische redenen.

##### Realisatie

Koeling wordt bij industriële processen meestal gerealiseerd door het koelmedium langs een oppervlak te laten stromen dat voor warmteuitwisseling is bestemd. Daarnaast kan koeling worden gerealiseerd door het koelmedium rechtstreeks met het te koelen produkt of de te koelen processtroom in contact te brengen. Vaak wordt de in processen vrijkomende warmte op een nuttige manier direct of indirect hergebruikt binnen het proces, het bedrijf of zelfs in de directe omgeving ervan. Voor koelsystemen gaat het derhalve om het afvoeren van *overtollige* warmte die niet meer wordt benut c.q. niet meer op een technisch-economische verantwoorde wijze te benutten valt.

Het koelmedium is één van de volgende media:

- gas (lucht of een inert gas zoals stikstof);
- vloeistof (water, olie of een koelvloeistof);
- koudemiddel, zoals ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) of een freon (wisselend gas en vloeistof).

Voor deze studie zal vooral aandacht worden gegeven aan media op basis van water; koelsystemen met koudemiddelen en lucht worden slechts zijdelings behandeld, met name ten aanzien van de inzetbaarheid. Geen aandacht wordt besteed aan bijzondere koelsystemen, zoals natriumkoeling.

De overdracht van warmte uit het warmtedragende koelmedium naar het uiteindelijk ontvangende milieucompartiment ('heat-sink') kan plaatsvinden via:

- rechtstreekse lozing (afvoer van koellucht naar de atmosfeer of lozing van koelwater op oppervlaktewater);
- onttrekking van warmte door verdamping van koelwater (in koeltorens en koelvijvers);
- warmteoverdracht via conductie (in het algemeen met geforceerde stroming van beide media langs het warmteuitwisselende oppervlak); met name van belang bij indirecte of trapsgewijze koeling, dat wil zeggen bij gebruik van meerdere, opeenvolgende en gesloten koelcircuits.



### Basis voor systeemontwerp

Een belangrijke parameter bij het ontwerp is het *vermogen van een koelsysteem*. Dit wordt meestal uitgedrukt in kW of MW.

Een andere belangrijke parameter is de te bereiken *eindtemperatuur*. Deze bepaald voor een belangrijk deel welke systeemtypen te overwegen zijn en welke niet geschikt zijn.

Verder zijn bij de selectie/ontwerp van een *koeltoren* begrippen als *temperatuurtraject* en *approach* van belang:

- het temperatuurtraject is het temperatuurverschil tussen het in- en uitredende water;
- de approach is het temperatuurverschil tussen het uitredende water en de laagst mogelijk bereikbare temperatuur; voor een 'natte' koeltoren is dit de zogenaamde natte bol temperatuur, terwijl dit voor een 'droog' koelsysteem de luchttemperatuur is.

### 3.2 Uitvoeringsvormen van koelsystemen

Het grootste deel van de in Nederland gebruikte koelsystemen behoort tot de koelwatersystemen, in het bijzonder wanneer het gaat om koelsystemen groter dan ca. 200 kW. De koelwatersystemen onderscheiden zich van andere koelsystemen door het feit dat water als primair koelmedium wordt gebruikt.

#### Hoofdtypen koelwatersystemen

Koelwatersystemen kunnen worden onderscheiden naar twee hoofdtypen:

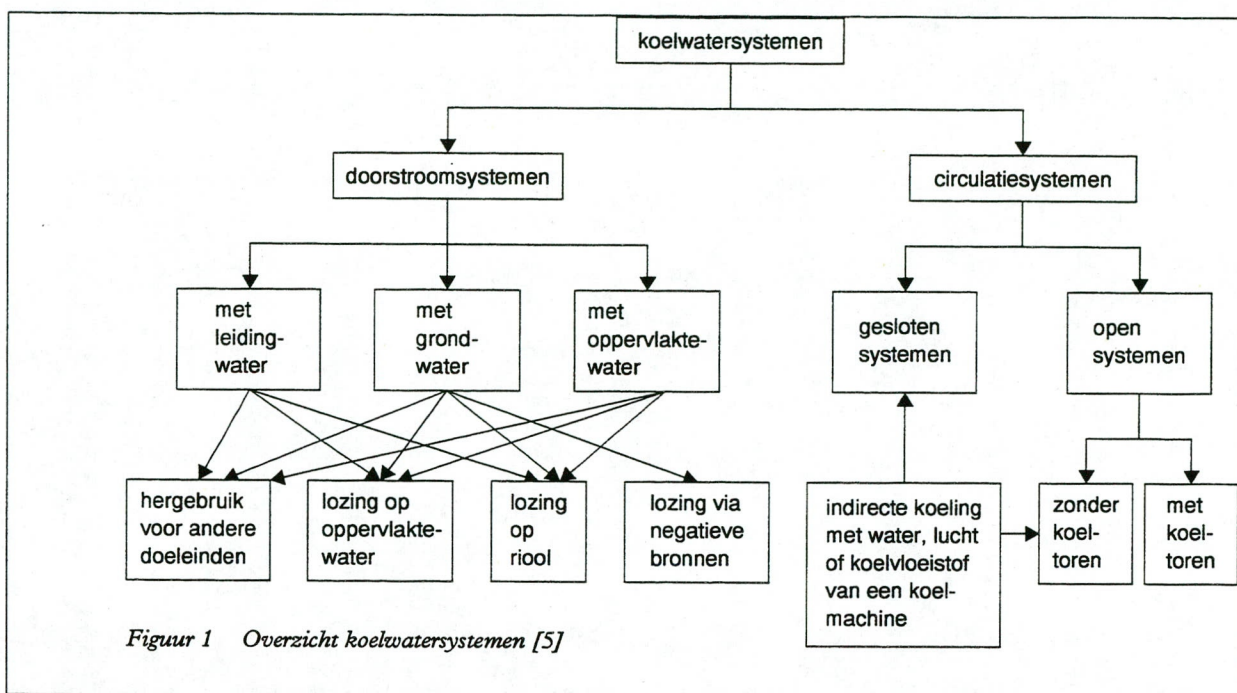
- a. **Doorstroomsystemen**, waarin het water slechts eenmalig voor koeling door het systeem wordt geleid;
- b. **Circulatiesystemen**, waarin water na afkoeling opnieuw voor koeling wordt ingezet; eventueel nader te onderscheiden naar:
  - *natte c.q. open systemen* (rechtstreeks contact tussen lucht en koelwater in een koeltoren);
  - *droge c.q. gesloten systemen* (met indirecte koeling/warmteoverdracht);
  - *gecombineerde of hybride systemen* (dat wil zeggen een combinatie van een nat en een droog systeem).

In de figuren 1 tot en met 4 zijn ter illustratie enige koelwatersystemen en typen koeltorens schematisch weergegeven.

Hergebruik van in *doorstroomsystemen* gebruikt koelwater kan economisch aantrekkelijk zijn. In figuur 2 worden enkele mogelijkheden aangegeven voor hergebruik. In figuur 3 worden 4 typen koeltorens voor *open circulatiesystemen* weergegeven, terwijl enkele methoden voor *gesloten circulatiesystemen* in figuur 4 zijn geschematiseerd.

In tegenstelling tot een open circulatiesysteem komt het water in een geheel gesloten systeem in principe niet in contact met de lucht. Dit water is derhalve 'dood' en er wordt in de regel niet gespuid.





Gesloten circulatiesystemen worden ook in zogenaamde indirecte koelsystemen gebruikt als een extra circuit tussen het te koelen object en het eindkoelsysteem dat met bijvoorbeeld een mindere kwaliteit water werkt. Dit speelt vooral bij processen, waarbij eventueel lekwater uit het eindkoelsysteem niet in het proces zelf mag terechtkomen vlg. voedingsmiddelenindustrie, kernreactoren).

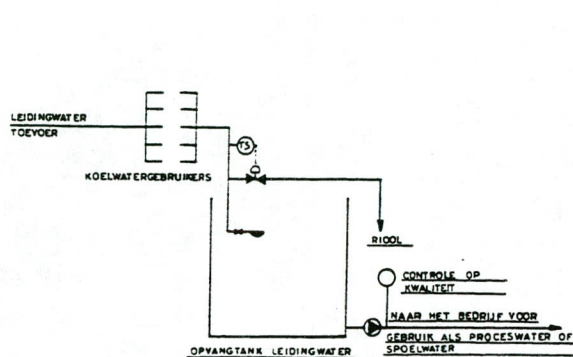
De circulatiesystemen hebben, met name door het vergunningenbeleid en het frequent optredende kostenvoordeel, de eenvoudige doorstroomsystemen sinds ca. 1970 steeds meer verdrongen. Het enkelvoudig gebruik van leiding- of bronwater in doorstroomsystemen wordt bovendien aangemerkt als laagwaardig gebruik, waarop recentelijk een stringenter vergunningenbeleid wordt gevoerd.

### Luchtkoeling

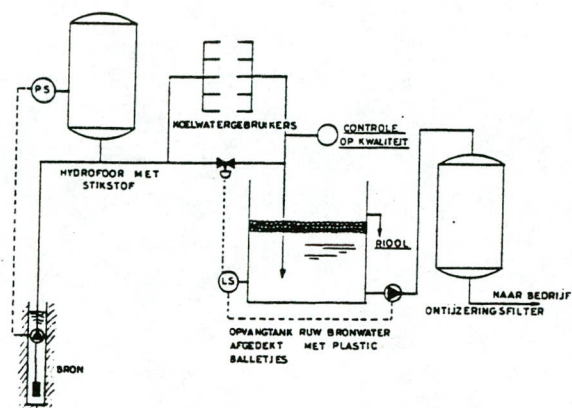
Een alternatief voor de open koelwatersystemen zijn de (direct of indirect) luchtgekoelde systemen. Toepassing van luchtkoeling is echter beperkt tot situaties waarbij geen temperaturen beneden 35 à 40 °C bereikt hoeven te worden. Onderscheid kan worden gemaakt naar typen op basis van:

- Directe** luchtkoeling, i.e. lucht wordt direct langs het te koelen object geleid en naar de atmosfeer afgevoerd.
- Indirecte** luchtkoeling, i.e. koeling vindt primair plaats via een medium (bijvoorbeeld olie, inert gas, water), waarna dit koelmedium in een warmtewisselaar aan de lucht wordt gekoeld. Als water als primair koelmedium wordt gebruikt, is dit koelsysteem identiek aan een gesloten circulatiesysteem.

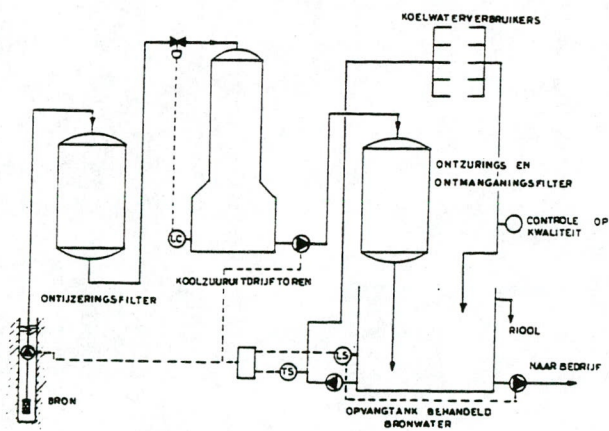
Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten



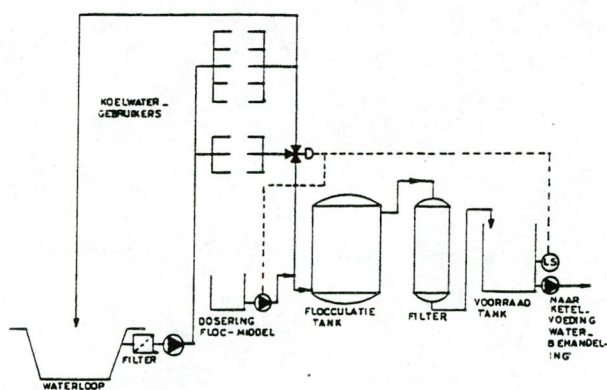
a met leidingwater



b met ruw bronwater



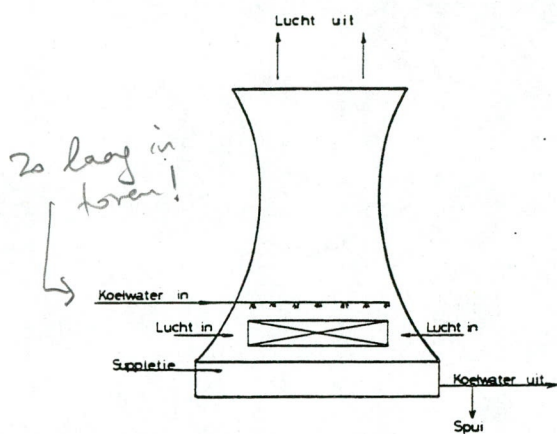
c met behandeld bronwater



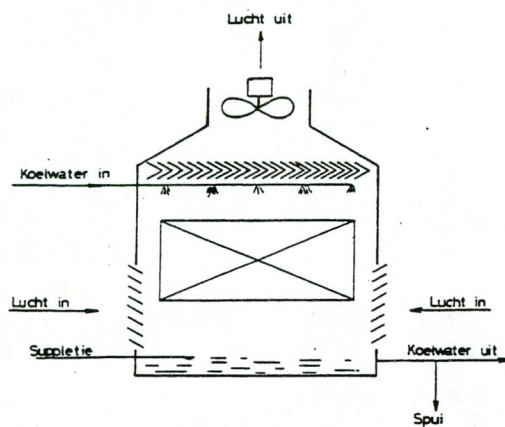
d met oppervlaktewater

Figuur 2 Diverse doorstroomkoelsystemen met hergebruik van het koelwater [5]

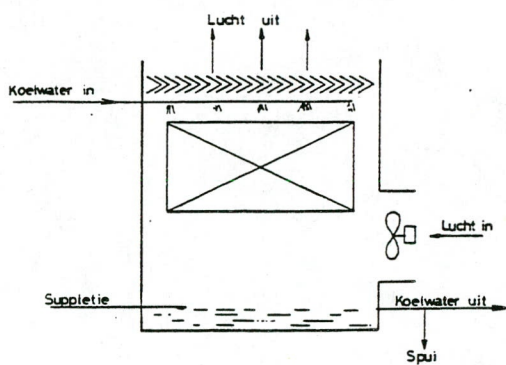




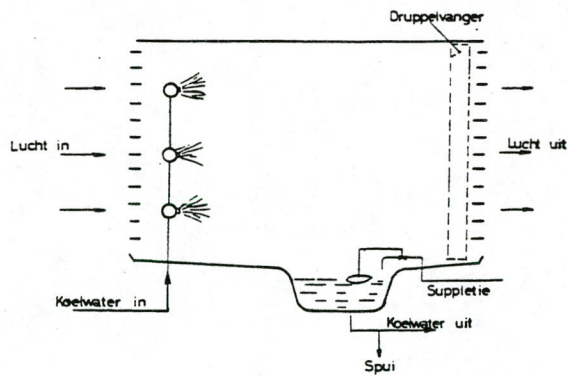
Figuur a Koeltoren met natuurlijke trek



Figuur b Koeltoren met geïnduceerde trek

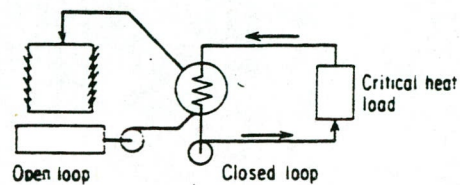


Figuur c Koeltoren met geforceerde trek

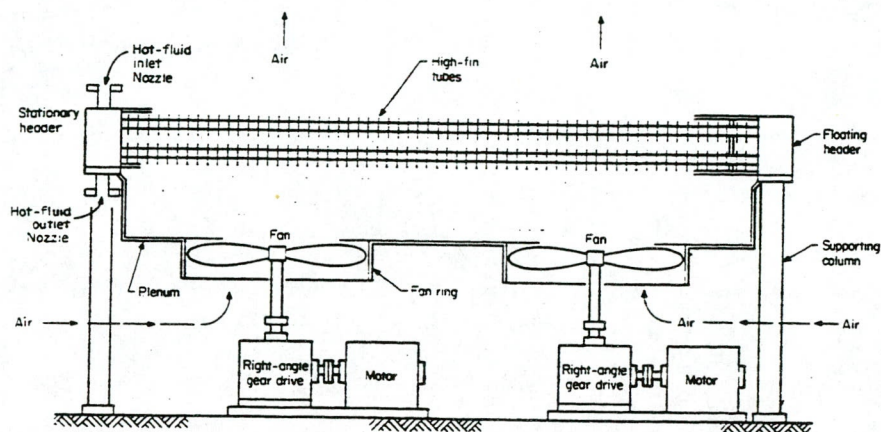


Figuur d Koeltoren met ejectie

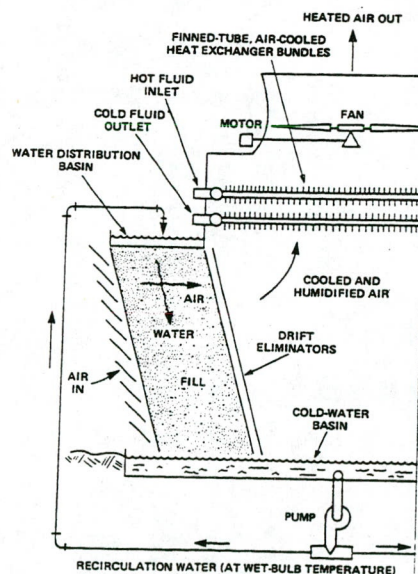
Figuur 3 Diverse typen natte koeltorensystemen voor open circulatiesystemen [5]



**Figuur a** Een combinatie van een gesloten en een open koelsysteem, zoals veel gebruikt in kritische of kwetsbare situaties [7]



**Figuur b** Een droog koelsysteem met geforceerde trek (luchtgekoelde warmtewisselaar) [2]



**Figuur c** Een gecombineerd systeem (gesloten systeem, gekoeld met adiabatisch verzadigde lucht nabij natte bol temperatuur [1])

**Figuur 4** Voorbeelden van droge en gecombineerde (nat/droog) koelsystemen



Verder kan nog onderscheid worden gemaakt naar *windgekoelde systemen* (of systemen met een natuurlijke convectie) en systemen met een *geforceerde koeling* (met ventilator).

Omdat lucht een betrekkelijk slechte warmteoverdracht en de lage soortelijke warmte heeft, dient het warmteuitwisselend oppervlak aanzienlijk groter te zijn dan in een vergelijkbare situatie met waterkoeling. In bijvoorbeeld een droge koeltoren moet het oppervlak 10 tot 30 maal groter zijn dan in een open c.q. nat systeem. Dit betekent dat voor een voldoende snelle warmteafvoer en compacte bouwwijze vaak relatief kostbare koelribben (moeten) worden aangebracht. Het ventilatiedebiet is eveneens groter dan bij een natte koeltoren van gelijke capaciteit, waardoor de geluidsdruk en de (overigens relatief geringe) energiekosten hoger uitvallen.

### Oliekoeling

Oliekoeling wordt hoofdzakelijk gebruikt in apparaten of processen, waarbij de optredende wandtemperaturen boven ca. 80 °C liggen en/of een combinatie van koeling en smering gewenst is (vgl. motoren). Ook wordt oliekoeling veel gebruikt in situaties waar het gebruik van water te grote risico's met zich meebrengt, bijvoorbeeld bij elektronische apparatuur en in chemische reacties. Olie wordt gewoonlijk in gesloten koelsystemen toegepast. Het koelmedium heeft als voordeel dat in principe geen corrosie optreedt, dat het niet snel vervuult en dus lang kan meegaan (vaak > 1 jaar). Daartegenover staat dat het duur is in aanschaf. Het koelmediumvolume blijft in de praktijk dan ook meestal beperkt tot enkele m<sup>3</sup> of minder.

Qua warmte-technische eigenschappen neemt olie een tussenpositie in ten opzichte van water- en luchtkoeling.

### Compressiekoelsystemen

Deze belangrijke categorie van koelsystemen is gericht op het verkrijgen van een lagere temperatuur dan de omgevingstemperatuur (of natte-boltemperatuur). Er wordt in gesloten circuits gebruik gemaakt van speciale koelvloeistoffen en koudemiddelen zoals CFK's, NH<sub>3</sub>. De toepassingen lopen sterk uiteen:

- airconditioning;
- koudwatercircuits (0 tot 5 °C);
- ijsproductie (scherfijns en consumptieijis);
- koelcellen (0 tot 15 °C);
- vriescellen (-18 tot -25 °C);
- vriestunnels (-30 tot -50 °C);
- overige cryogene toepassingen (cryogeen malen, gasscheidingsprocessen, afgasreiniging via diepkoeling, kristallisatiescheiding etc.).

De compressie-koelsystemen zijn in principe opgebouwd uit een verdamper (het koude opwekkend gedeelte), een compressor, een koeler c.q. condensor (het warme uiteinde van het systeem) en een smoorklep. De condensor van kleine of mobiele compressie koelsystemen worden met lucht gekoeld, terwijl in andere systemen voor een betere warmteafvoer en/of een beter koelrendement gebruik wordt gemaakt van waterkoeling (gecombineerde koeltorens of warmtewisselaars).



### 3.3 Toepassingsgebieden koelsystemen en bronnen van warmte

De toepassing van koelsystemen ligt in zeer uiteenlopende *bedrijfstakken*; enkele voorbeelden zijn:

- Delfstoffenwinning.
- Voedings- en genotmiddelenindustrie, waar onder zuivelindustrie.
- Textielindustrie.
- Leder-, rubber-, en kunststofverwerkende industrie.
- Papier- (en karton) industrie.
- Grafische industrie, uitgeverijen.
- Chemie- en aardolieindustrie.
- Metaalindustrie, waar onder basismetaleindustrie.
- Openbare nutsbedrijven.

Ook in de klimaatbeheersing (airconditioning) wordt gebruik gemaakt van koelsystemen. In het algemeen opereren deze systemen op basis van de zelfde technieken als bij de industriële koelcircuits. Aan het voor luchtbevochtiging gebruikte water worden echter voor wat betreft de microbiologische kwaliteit strenge eisen gesteld, terwijl dosering van conditioneringschemicaliën meestal niet is toegestaan.

In het algemeen gesproken is in bedrijven afvoer van warmte nodig in de volgende situaties:

- compressie van een gas;
- condensatie;
- kristallisatie, stolling;
- exotherme reactie of verbranding;
- bij wrijvingswarmte (bijvoorbeeld lagers in draaiende onderdelen);
- bij verspanende of vervormende bewerkingen van materialen;
- na een warmtebehandeling, vooral indien daarna een snelle of een goed gecontroleerde afkoeling moet worden gerealiseerd;
- afkoeling tot beneden de omgevingstemperatuur (bijvoorbeeld vries- en koelcellen); zie ook 3.2.

Belangrijke voorbeelden van te koelen *processen, bewerkingen en apparaten* zijn:

- Compressoren in lucht-, water- of oliegekoelde uitvoering.
- Motoren (diesel- en gasmotoren, diesel- en gasaggregaten, turbines en dergelijke).
- Pakkingen en lagers, bijvoorbeeld bij pompen voor media met een hoge temperatuur.
- Vacuümpompen.
- Walsen en kalanders.
- Condensoren van koelmachines.
- Condensoren van destillatietorens.
- Warmtewisselaars in procesindustrie (algemeen).
- Chemische reacties; reactoren.
- Diverse productieapparaten (lasmachines, boormachines, continusterilisatoren, autoclaven, etc.).
- Invriezen (levensmiddelen, consumptiejs, etc.).
- Elektriciteitsopwekking (koelen van stoomturbines).
- Quenching van afgassen.
- Afkoelen en eventueel gelijktijdig wassen van vaste stoffen/producten (bijvoorbeeld staal, glas, conserveren).



### 3.4 Hergebruik van warmte

Hergebruik van restwarmte is vanuit energetisch en milieuhygiënisch standpunt interessant. Het is in principe een belangrijk aangrijpingspunt om tot vermindering van de in Nederland benutte koelcapaciteit te komen. De haalbaarheid van hergebruik zal in principe van geval tot geval moeten worden beoordeeld. Belangrijke criteria daarbij zijn:

- plaats van ontstaan en plaats van mogelijke toepassing van warmte;
- optredende temperatuurniveaus en energieinhouden (T-H-diagrammen);
- beschikbaarheid, variaties in de tijd;
- voldoende flexibiliteit ten aanzien van bedrijfsvoering;
- investeringen en operationele kosten versus besparingen.

Eenvoudigheidshalve kan worden aangenomen dat in alle moderne, systematisch ontworpen en goed beheerde productieprocessen alsmede compleet geleverde installaties veel aandacht is en wordt gegeven aan de mogelijkheden warmte terug te winnen. Hiervoor zijn geavanceerde ontwerpmethoden beschikbaar gekomen (zogenaamde Pinch Technology en exergie-analyses).

Bij kleine bedrijven zijn in het algemeen alle mogelijkheden van energierugwinning ingevoerd noch uitputtend bekeken. Soms is bijvoorbeeld *ruimteverwarming* met restwarmte een interessante optie (bij een koeltemperatuur van ca. 60 °C of hoger), waardoor het koelwaterverbruik in de stookperiode in zekere mate vermindert.

Verder wordt gewezen op de mogelijkheid om winterkoude in de bodem op te slaan; hiermee kan in principe een significante vermindering van de te installeren koelcapaciteit en het koelwatergebruik worden bereikt [14].

### 3.5 Selectie van een koelsysteem

Bij het selecteren van een geschikt koelsysteem, inclusief koelmedium, spelen veelal de *technische inpasbaarheid* (inclusief betrouwbaarheid, veiligheid), de *economische aspecten* (zie 3.11) en de *externe randvoorwaarden* (bijvoorbeeld beschikbaarheid van oppervlaktewater, vergunningen) een doorslaggevende rol. Elke situatie zal in feite een oplossing op maat vragen.

De belangrijkste beoordelingsaspecten zijn in bijlage 7 en in referentie [6] beschreven. Het is belangrijk zich te realiseren dat diverse bedrijven en instanties betrokken kunnen zijn bij de selectie, het ontwerp, de bouw en het onderhoud van koelsystemen. Dit zijn met name de opdrachtgever, de vergunningverlenende instanties, ingenieursbureaus, apparatenbouwers, installatiebedrijven, aannemers en waterbehandelingsbedrijven. Verder bewegen zich op deze markt koeltechnische bedrijven, luchtbehandelingsbedrijven, maar ook diverse niet in koelsystemen gespecialiseerde bedrijven. Onderling overleg is vaak beperkt of gebrekkig.



### 3.6 Praktische inzetbaarheid koelsystemen

In tabel 1 is een overzicht gegeven van de inzetbaarheid van verschillende typen koelsystemen.

Voor wat betreft *koelwatersystemen* kan men stellen dat deze systemen vrijwel universeel inzetbaar zijn. Belangrijke uitzonderingen zijn processen die voor water kwetsbaar of riskant zijn (bijvoorbeeld bij reactieve stoffen en elektrische apparatuur) en processen die buiten de gangbare temperatuurranges gekoeld dienen te worden (beneden ca. 15 of 26 °C en boven ca. 80 °C). Open circulatiesystemen laten zich meestal als een economisch aantrekkelijke optie selecteren vanaf 100 à 200 kW. Daaronder zijn gesloten systemen of doorstroomkoeling soms het meest aantrekkelijk. Doorstroomkoeling laat zich ook voor grotere capaciteiten als economisch meest aantrekkelijk systeem selecteren wanneer over grond- of oppervlaktewater van voldoende kwaliteit kan worden beschikt.

Open systemen c.q. natte koeltorens worden gebruikt om het water af te koelen tot op 3 à 5 °C boven de zogenaamde natte-boltemperatuur.

Voor wat betreft de keuze tussen een doorstroom- en een circulatiekoelwatersysteem zijn in tabel 2 enkele voor- en nadelen van beide hoofdtypen aangegeven.

Koeling via een *indirect systeem*, dat wil zeggen via een (eventueel tussengeschakeld) gesloten koelcircuit, wordt gewoonlijk toegepast in situaties waar om redenen van veiligheid of hygiëne überhaupt geen water of geen water met een rechtstreekse verbinding naar het oppervlaktewater mag worden ingezet.

Een andere overweging kan zijn dat in gesloten koelsystemen contaminatie vanuit of naar de lucht is uitgesloten (van belang bij bijvoorbeeld oliekoeling of bij sterke lokale luchtverontreiniging die in het koelwater kan worden opgenomen). *Indirecte luchtkoeling* kan in de praktijk een interessant alternatief zijn voor capaciteiten tot ca. 500 kW. Dit, omdat de meerinvesteringen nog beperkt zijn en men het voordeel heeft van betrekkelijk lage kosten voor onderhoud en waterverbruik; ook zijn nauwelijks of geen waterlozingen nodig.

Ook worden vaak om redenen van energiebesparing in grote (compressie)koelsystemen één of meerdere gesloten 'koelmediumcircuits' ingezet of de optredende warmtestromen naar de juiste plaats te brengen.

Vanwege de benodigde ruimte, de extra investeringen in een apparaat (voor koelribben en/of ventilator) en ARBO-aspecten (risico op brandwonden of warmte-overlast op de werkplek) wordt derhalve vaak afgezien van *directe luchtkoeling* vanaf ca. 30 kW. Directe luchtkoeling is echter om zijn eenvoud interessant tot ca. 50 à 100 kW, mits geen 'geconcentreerde' warmte hoeft te worden afgevoerd c.q. de warmteflux beperkt is.

De aandacht vanuit de chemische industrie voor (indirecte) luchtkoeling is wat groter dan bij de andere bedrijfstakken, omdat er bij luchtkoeling in vergelijking met koelwatersystemen minder kans is op (extreem) hoge kosten als gevolg van storingen c.q. produktiestilstand. Ook andere nadelen worden vermeden, zoals pluimvorming en eventuele reacties tussen koelwater en procesvloeistoffen als gevolg van de moeilijk uit te sluiten lekkages.

Luchtkoeling speelt verder vooral bij kleine, mobiele apparatuur (waterkoeling is onpraktisch), elektromotoren en compressiekoelmachines (condensors).



Tabel 1 Inzetbaarheid van koelsystemen (bron: [1])

|                                                                 | Koelcapaciteit (MW) <sup>1)</sup>               |     |     |   |   |   |    |    |    |     | Temperatuur (°C)<br>koelmedium <sup>2)</sup> |                  |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|---|---|---|----|----|----|-----|----------------------------------------------|------------------|
|                                                                 | 0.1                                             | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | Minimum                                      | Maximum          |
| <b>Directe luchtkoeling</b>                                     |                                                 |     |     |   |   |   |    |    |    |     |                                              |                  |
| – natuurlijke trek, windgekoeld                                 | _____ (technisch/economisch beperkt)            |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 40 <sup>3)</sup>                             | –                |
| – geventileerd                                                  | _____                                           |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 35 <sup>3)</sup>                             | –                |
| <b>Indirecte luchtkoeling<br/>(gesloten/droge koelsystemen)</b> |                                                 |     |     |   |   |   |    |    |    |     |                                              |                  |
| – natuurlijke trek, windgekoeld                                 | _____                                           |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 35                                           |                  |
| – geventileerd                                                  | _____ (economisch beperkt)                      |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 35-40                                        | 80 <sup>4)</sup> |
| <b>Oliekoeling<br/>(gesloten koelsysteem)</b>                   |                                                 |     |     |   |   |   |    |    |    |     |                                              |                  |
|                                                                 | _____ (economisch beperkt)                      |     |     |   |   |   |    |    |    |     | ± 60                                         | ±190             |
| <b>Circulatiesystemen met koeltoren</b>                         |                                                 |     |     |   |   |   |    |    |    |     |                                              |                  |
| – open systeem                                                  | _____                                           |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 25                                           | 80 <sup>4)</sup> |
| – nat/droogsysteem<br>(hybride c.q. gecombineerd systeem)       | _____                                           |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 25                                           | 80 <sup>4)</sup> |
| <b>Doorstroomsystemen</b>                                       |                                                 |     |     |   |   |   |    |    |    |     |                                              |                  |
| – grondwater                                                    | _____ (beperkt door vergunningen)               |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 12                                           | 80 <sup>5)</sup> |
| – oppervlaktewater                                              | _____ (beperkt door ontvangend<br>waterlichaam) |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 20                                           | 30               |
| – leidingwater                                                  | _____ (economisch beperkt)                      |     |     |   |   |   |    |    |    |     | 15                                           | 80 <sup>5)</sup> |

1) Gestippelde ranges betreffen de niet of nauwelijks toegepaste capaciteiten.

2) Voor lagere temperaturen zijn compressiekoelmachines nodig.

3) Wandtemperatuur.

4) Afhankelijk van conditionering, waterkwaliteit en gebruikte materialen (bij PVC < 55 °C).

5) Afhankelijk van bestemming, bij lozing op oppervlaktewater < 30 °C.

Tabel 2 Voor- en nadelen van doorstroom- en circulatiekoelwatersystemen

|                     | Voordeel                                                                                                                                                                      | Nadeel                                                                                                                                                                       |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Doorstroom-systeem  | relatief lage investering; additieven niet of nauwelijks toegepast; hergebruik water soms mogelijk; laagste temperatuur ca. 12 °C (grondwater); vrij lage operationele kosten | grote grondwateronttrekkingen en -lozingen; afzettingen van slib, mosselen en dergelijke; corrosie bij oppervlaktewater en agressief bronwater                               |
| Circulatie-systemen | kwaliteit beheersbaar; relatief klein waterverbruik                                                                                                                           | hogere investeringen, vooral bij gesloten systemen; bij open systemen noodzaak tot spui; conditionering vrijwel altijd noodzakelijk; 's zomers laagste temperatuur ca. 26 °C |

De bereikbare *eindtemperatuur* ligt bij luchtkoeling in de praktijk 10 - 15 °C boven de buitenluchttemperatuur. Dit is ca. 15 °C hoger dan in een natte koeltoren. Door deze relatief hoge eindtemperatuur is luchtkoeling in diverse toepassingen minder aantrekkelijk of zelfs geheel onvoldoende.

Om het te installeren warmteuitwisselend oppervlak in een gesloten koelsysteem te beperken en/of een lagere eindtemperatuur te kunnen bereiken, wordt soms gekozen voor een combinatie met een sproeisysteem voor water (zie figuur 4 en 6), eventueel ook uit te voeren als hybridesysteem (i.e. de koeltoren 's winters als een droog systeem en 's zomers als een nat systeem bedienen). De materiaalkeuze voor de leidingen kan daarbij een probleem zijn (corrosie). Om dit probleem te omzeilen wordt soms de voorkeur gegeven aan een additioneel koelcircuit, dat wil zeggen dat de te koelen vloeistof via een warmtewisselaar wordt afgekoeld, terwijl het koelwater uit de warmtewisselaar weer via een conventioneel open koelwatercircuit wordt afgekoeld.

### 3.7 Bronnen van koelwater

Tabel 3 geeft een overzicht van de mogelijke *bronnen voor koelwater* en hun belangrijkste voor- en nadelen. Tevens is de watertoevoertemperatuur aangegeven, hetgeen van belang is voor doorstroomsystemen. Indien nog lagere temperaturen moeten worden bereikt, dient een (compressie-)koelmachine te worden ingezet.



## Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten

Tabel 3 Mogelijke koelwaterbronnen en hun voor- en nadelen

| Bron                                                 | Temperatuur bij doorstroomkoeling | Voordeel                                                    | Nadeel                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Leidingwater                                         | 10-15 °C                          | eenduidige kwaliteit; vrij zuiver; geschikt voor hergebruik | kostbaar;(kalk)afzettingen soms agressief                                                                                                     |
| Bronwater/<br>grondwater                             | 10-12 °C                          | constante (en relatief lage) temperatuur                    | kwaliteit sterk locatieafhankelijk; vergunning voor doorstroomsystemen zonder hergebruik moeilijk                                             |
| Oppervlaktewater                                     | 20-25 °C (zomer)                  | goedkoop; niet-hard of agressief                            | 's zomers gering koelend vermogen; niet overal beschikbaar; variabele samenstelling/kwaliteit; water bevat micro-organismen, mosselen, zouten |
| Halffabrikaat-water (voorgezuiverd oppervlaktewater) | 15-20 °C                          | relatief goedkoop; vrij constante kwaliteit                 | niet overal beschikbaar; soms afzettingen; hoog zoutgehalte                                                                                   |
| Condensaat (als suppletiewater)                      | niet van toepassing               | 'gratis'; vaak goede kwaliteit                              | nevenverontreinigingen zoals geur, NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, organische stoffen zijn mogelijk                                       |
| Gezuiverd afvalwater                                 | niet van toepassing               | zie oppervlaktewater                                        | zie oppervlaktewater, mits goed gezuiverd.                                                                                                    |

Uiteraard kan slechts van oppervlaktewater en grondwater gebruik worden gemaakt indien het bedrijf hierover kan en mag beschikken en het een acceptabele kwaliteit heeft. Halffabrikaat-water wordt momenteel door nutsbedrijven in Noord-Holland en Noord-Brabant (Moerdijk) geleverd aan (grote) industrieën. Het betreft voorgezuiverd oppervlaktewater.

Bovendien wordt in sommige situaties gebruik gemaakt van condensaat (bijvoorbeeld water vrijkomend bij de indamping van melk, bij de melkpoederbereiding; eventueel ook de spui uit stoom/watercircuits<sup>1)</sup>) of een effluent uit een AWZI. Het is aantrekkelijk deze waterstromen in koelwatercircuits in te zetten, mits het in voldoende mate voorhanden is en geen storende verontreinigingen bevat (i.e. hoge concentraties NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, organische stoffen (waar onder aromaten), geurcomponenten, onopgeloste bestanddelen en dergelijke). In geval van een belangrijke, doch eenduidige verontreiniging kan soms een specifieke behandeling worden uitgevoerd, voordat het wordt ingezet als suppletiewater. De vaak hogere temperaturen van het condensaat beperken de bruikbaarheid in koelsystemen. Opslag geeft namelijk vaak aanleiding tot (sterk) verhoogde microbiologische groei, direct gebruik kan de koelcapaciteit fors doen afnemen.

<sup>1)</sup> Het zoutgehalte van een spui uit een ketelwatercircuit zal echter in het algemeen dusdanig hoog zijn dat hergebruik in koelwatercircuits niet zondermeer mogelijk is.



In paragraaf 4.1 is kwantitatieve informatie verstrekt over het totale koelwatergebruik in Nederland.

### 3.8 Waterbehandeling en systeemreiniging

In het algemeen dient de bedrijfszekerheid van koelsystemen te gewaarborgd en wordt het koelwater behandeld om problemen te voorkomen ten aanzien van:

- Corrosie (tengevolge van zuurstof, hoge of lage pH, zoutgehalte, afzettingen etc.).
- Biologische groei (slijmvormende bacteriën, algen, mosselen en dergelijke).
- Afzettingen (kalk c.q. hardheid, slib, roest of andere componenten<sup>1)</sup>).

Als de bedrijfszekerheid niet te allen tijde gewaarborgd hoeft te worden, is koelwaterbehandeling niet persé noodzakelijk en kan worden volstaan met periodieke reiniging (zie 3.10).

De waterbehandeling kan worden onderscheiden in behandeling van het water vóórdat het in het systeem wordt gevoerd (i.e. *watertoebereiding*) en de behandeling in het koelwatercircuit zelf (*waterconditionering*).

De middelen die worden ingezet bij de conditionering en hun toepassingen zijn schematisch weergegeven in tabel 4 en 5 en beschreven in bijlage 4. In paragraaf 4.2 zijn de gebruikscijfers voor geheel Nederland geschat.

Tabel 4 Werking van conditioneringsmiddelen

| Type koelwater-toevoeging | Probleem |                       |                     |                   |
|---------------------------|----------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|                           | Corrosie | Hardheids-afzettingen | Overige afzettingen | Biologische groei |
| inhibitoren               | x        |                       |                     |                   |
| stabilisatoren            |          | x                     |                     |                   |
| dispersantia              |          | x                     | x                   | (x)               |
| flocculatiemiddelen       |          |                       | x                   |                   |
| biociden                  |          |                       |                     | x                 |

<sup>1)</sup> Een geringere afzetting op oppervlakken betekent een betere warmteoverdracht. Dit kan bijvoorbeeld bij koelcompressoren grote economische voordelen hebben; indien een temperatuurverlaging van 1 °C wordt gerealiseerd, zal een energiebesparing van 3 à 4% mogelijk zijn.



Tabel 5 Chemische componenten van koelwaterbehandelingen

| Chemische<br>behandeling                      | Inzetbaarheid |                           |                        |                      | Trend<br>in<br>gebruik                  |
|-----------------------------------------------|---------------|---------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
|                                               | Corrosie      | Hardheids-<br>afzettingen | Overige<br>afzettingen | Biologische<br>groei |                                         |
| chromaat                                      | x             |                           |                        |                      | p.m. <sup>1)</sup>                      |
| zink                                          | x             |                           |                        |                      | afnemend                                |
| molybdaat                                     | x             |                           |                        |                      | zeer gering <sup>1)</sup>               |
| silicaten                                     | x             | x                         |                        |                      | gering                                  |
| orthofosfaat                                  | x             | x                         |                        |                      | stabiel                                 |
| polyfosfaten                                  | xx            | x                         |                        |                      | licht afnemend                          |
| polyolesters                                  |               | x                         |                        |                      | gering                                  |
| fosfonaten                                    | x             | x                         |                        |                      | stabiel tot licht<br>afnemend           |
| all-organics                                  | x             | x                         | x                      |                      | toenemend                               |
| natuurlijke<br>organische<br>verbindingen     |               |                           | x                      |                      | stabiel                                 |
| synthetische<br>polymeren (o.a.<br>acrylaten) |               | xx                        | xx                     |                      | toenemend                               |
| niet-oxyderende<br>biociden                   |               |                           | x                      | x                    | afnemend                                |
| chloor/broom                                  |               |                           |                        | xx                   | alleen broom<br>toenemend <sup>2)</sup> |
| ozon                                          | p.m.          | p.m.                      |                        | x                    | in ontwikkeling                         |

<sup>1)</sup> niet of nauwelijks meer toegepast

<sup>2)</sup> vanwege de bromaatvorming staat het gebruik van broom momenteel ter discussie

#### ■ Noot

Tabel 5 vermeld tevens enkele inmiddels verouderde conditioneringsmiddelen. Chromaat en molybdaat zijn in Nederland praktisch geheel verdwenen. Middelen op basis van zink worden nog maar weinig toegepast en zullen naar verwachting op termijn verdwijnen.

Waterbehandeling en -conditionering is bij kleine en middelgrote koelssystemen nog steeds een sluitstuk van het ontwerp. Het is een activiteit die veelal door gespecialiseerde bedrijven wordt uitgevoerd. Alleen bij zeer grote koelssystemen wordt soms door het betrokken bedrijf een eigen know-how opgebouwd en een eigen waterbehandelingsprogramma opgezet.

In de praktijk worden veel problemen met koelwatersystemen door trial-and-error methoden opgelost. De meeste waterbehandelingsbedrijven hebben speciale 'waterbehandelingsprogramma's' en leveren naast chemicaliën diverse diensten, zoals optimalisatie van koelwaterstromen, servicebezoeken en afvoer van reststoffen en specifieke meet- en regelapparatuur (onder andere gericht op het vermijden van over- en onderdoseringen).



De voorbereiding en conditionering van het water staan in nauwe relatie tot het type koelsysteem, de kwaliteit van het ingenomen water en eventueel bepaalde omgevingsfactoren. Deze relatie wordt in 3.9 kort besproken.

### 3.9 Relatie waterbehandeling met spui, systeem- en materiaalkeuze

Zoals reeds in 3.8 is aangegeven, dient *waterbehandeling* ter voorkoming van corrosie, biologische groei en andere afzettingen. Deze doelen van waterbehandeling worden hieronder in relatie met de spui, systeem- en materiaalkeuzen besproken.

Geheel *gesloten koelwatersystemen* behoeven in principe geen waterconditionering. Het water is zuurstofloos ('dood') en er is praktisch gesproken geen spui of suppletie. Bij de overige koelwatersystemen is echter een waterbehandeling in mindere of meerdere mate wenselijk.

#### Corrosie

Corrosie is in open (dat wil zeggen zuurstofrijke) systemen vooral afhankelijk van de *gebruikte materialen* en van de kwaliteit van het water. Bijlage 5 geeft een sterk geschematiseerd overzicht van de corrosiegevoeligheid van verschillende materialen en veel gebruikte inhibitoren.

Het gebruik van corrosie-inhibitoren kan in principe worden vermeden door de juiste materiaalkeuze. Een andere mogelijkheid is eventueel het uitsluiten van zuurstof (dat wil zeggen een geheel gesloten systeem kiezen of in een semi-gesloten systeem eventueel een stikstofkussen aanbrengen).

In de praktijk wordt de *materiaalkeuze* van de afzonderlijke systeemcomponenten in koelsystemen vaker niet dan wel onderling goed afgestemd. Uitzondering is de mogelijke spanningscorrosie bij combinatie van edele en minder edele metalen.

De feitelijke materiaalkeuze wordt mede bepaald door aspecten als het gewicht van de koeltoren (plaatsing op bestaande daken, noodzaak voor fundering), de verwachte technisch/economische levensduur van het proces en de eisen die vanuit het te koelen proces worden gesteld. Gehéél corrosievrije koelsystemen zijn vaak aanmerkelijk duurder en zullen zelden in het ontwerpstadium als meest geschikt/aantrekkelijk worden geselecteerd, tenzij dit door het 'programma van eisen' noodzakelijk wordt gemaakt c.q. wordt geëist.

Kleine en middelgrote koeltorens, geheel uit kunststof en verzinkt of roestvast staal vervaardigd, zijn tegenwoordig in veel 'standaard' uitvoeringen verkrijgbaar van ca. 80 kW tot meer dan 1 MW. Ook grote koeltorens (> 1 MW) worden tegenwoordig vaak in corrosie-vrije materialen uitgevoerd.

#### Biologische groei

De mate van biologische groei is vooral afhankelijk van de *voedingsstoffen* in het water (CZV/TOC, spoorelementen). Biologische groei is in open systemen te verminderen door een goede kwaliteit water te gebruiken (zoals gedemineraliseerd water), ruwe



oppervlakken te vermijden (zoals hout en beton) en de verblijftijd en stroomsnelheid van het water in het systeem zo kort mogelijk respectievelijk voldoende groot te houden.

Leidingwater bevat reeds voldoende voedingsstoffen voor een substantiële groei van micro-organismen. In open systemen met een koeltoren bevordert het intensieve luchtcontact de opname van voedingsstoffen uit de lucht en derhalve de biologische groei. Voor algengroei is de toegang van daglicht tot het koelsysteem onontbeerlijk (met name bij open bakken en open koeltorens). Verder zijn de water- en wandtemperaturen van belang. Biologische groei is in het algemeen slechts te voorkomen door gebruik van gesloten koelsystemen met een goede kwaliteit water. In andere koelsystemen zal op enige wijze bestrijding van de biologische groei moeten plaatsvinden.

Tegenwoordig worden in circulatiesystemen vaak organische biociden gebruikt; hierbij is in de praktijk herhaaldelijk gebleken dat deze door adaptatie van micro-organismen hun werking na verloop van tijd verliezen, zodat plotseling een enorme aangroei kan ontstaan. Er moet dan op een ander middel worden overgegaan, terwijl er tevens grote produktieverliezen kunnen ontstaan.

In doorstroomsystemen dient primair mosselgroei te worden bestreden, gewoonlijk met behulp van hypochloriet. De bestrijding is het meest intensief in het voorjaar. In sommige gevallen wordt gebruik gemaakt van de thermoshock-methode (bij ca. 30% van de elektriciteitscentrales) of wordt het systeem eenmaal per jaar handmatig (mechanisch) gereinigd. Op het gebruik van de thermoshock methode dient reeds in het ontwerpstadium te worden geanticipeerd.

*Hout* als constructie- of pakkingmateriaal dient te worden beschermd c.q. verduurzaamd in verband met de mogelijke aantasting hiervan door houtrot of schimmels.

### **Afzettingen**

De overige afzettingen in een koelsysteem (zand, klei, stof, hardheidszouten en dergelijke) zijn in belangrijke mate afhankelijk van de kwaliteit van het gebruikte koelwater en de eventuele conditionering ervan.

*Zand en klei* kunnen worden afgezet in systemen met een lage stroomsnelheid en/of dode hoeken en met name bij gebruik van (ongefiltreerd) oppervlaktewater.

*Hardheids- en andere zoutafzettingen* treden vooral op hete oppervlakken en soms ook op het grensvlak tussen water en lucht. De afzetting hiervan wordt mede bepaald door de kwaliteit van de door de koeltoren geleide lucht en de stroomsnelheid in het te koelen apparaat; het handhaven van de ontwerp-snelheid door het gebruik van bypasses of recirculatie van koelwater is belang om scaling/afzettingen te verminderen [18].

Uiteraard is voor eventuele calcium- of silicaatafzettingen de aanwezigheid van deze stoffen in het water een voorwaarde, zodat zeer zacht of onthard water duidelijk minder afzetting zal veroorzaken en dus ook minder of andere conditioneringsmiddelen behoeft. Hiertegenover staat een zekere zoutlast bij ontharding en een toename van de agressiviteit en mogelijk ook de corrosiviteit van het koelwater.

Sinds enige jaren zijn meerdere *fysische anti-kalk* methoden (FAK) beschikbaar voor bestrijding van hardheidsafzettingen. Met behulp van deze technieken wordt de waterstroom een dusdanige behandeling gegeven dat hardheidsafzettingen op de wand van het koelwatersysteem grotendeels worden voorkomen. De behandeling is meestal van magnetische aard (elektro- of permanente magneten), maar kan ook een ultrasone behandeling, een elektrisch veld of combinaties daarvan omvatten. In beginsel zijn



de voordelen van FAK gelegen in het vermijden van chemicaliën voor bestrijding van hardheidsafzettingen en hoeft er geen spui meer plaats te vinden op basis van het de hardheid van het water. Zie verder bijlage 4.

### **Spui en indikking**

Belangrijke parameters bij open circulatiesystemen zijn spui en indikking (zie bijlage 4). Door de indikking neemt de concentratie aan niet-vluchtige stoffen (met name zouten) in het koelwater evenredig met de indikkingsfactor toe. De maximaal toelaatbare concentratie zouten in het systeem of in de te spuien stroom bepaalt in de praktijk meestal wanneer c.q. in welke mate er gespuid moet worden.

Bij gebruik van een betere kwaliteit suppletiewater (minder zouten) kan men derhalve volstaan met een geringere spui (grotere indikking), een geringere hoeveelheid conditioneringsmiddelen (het chemicaliënverbruik is immers afhankelijk van spuihoeveelheid) en eventueel andere conditioneringsmiddelen. Indien men demiwater of condensaat als suppletie gebruikt kan soms zelfs de spui worden afgesloten en wordt uitsluitend via de zogenaamde wind- en spatverliezen 'gespuid'.

In de praktijk worden *indikkingsfactoren* gehanteerd tussen ca. 1,2 (83% van hoeveelheid suppletiewater wordt gespuid en 17% verdampt) en ca. 40 à 100 (geen of incidentele spui). Bij een vrij goede kwaliteit suppletiewater, met name na deelontharding<sup>1)</sup> tot 2 à 3 °D én een corrosievast uitgevoerd systeem, kan een indikking tot een factor 3 à 4 plaatsvinden, *zonder* gebruik te hoeven te maken van conditioneringsmiddelen. Wanneer wel gebruik wordt gemaakt van conditioneringsmiddelen kan de indikking vaak verder toenemen, of is deelontharding niet noodzakelijk.

Koelwaterconditionering is er mede op gericht de kosten voor het suppletiewater, de toegepaste chemicaliën en eventuele lozingsheffingen te minimaliseren.

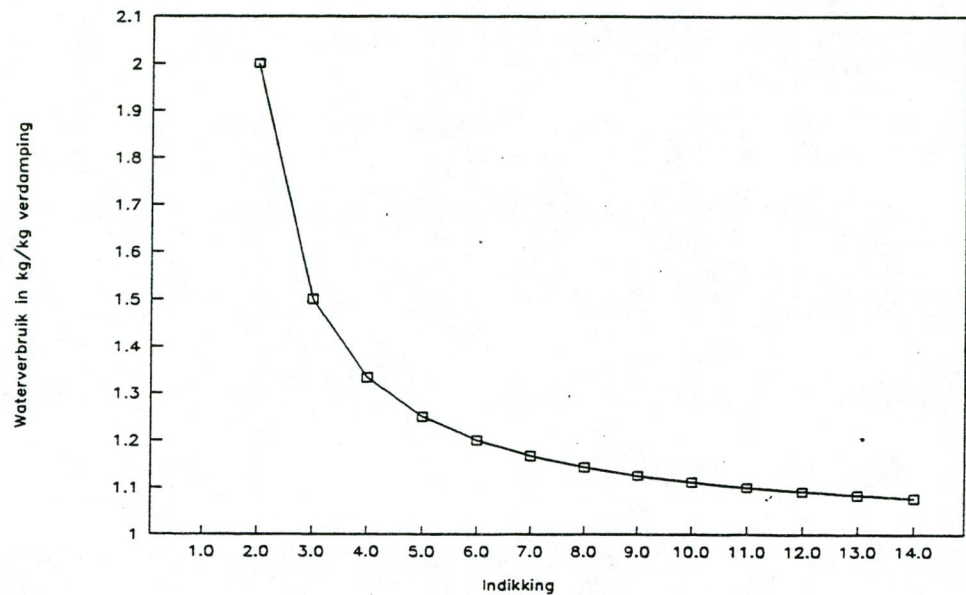
Een indikking tot boven een factor 4 is vanuit bedrijfsoogpunt zelden zinvol. De relatieve besparing op het waterverbruik neemt bij hogere indikkingen sterk af; het waterverbruik gaat dan het verdampingsverlies benaderen (zie figuur 5). Daarnaast zullen (naast eventuele deelontharding) meestal extra maatregelen in de vorm van voorbehandeling van water genomen moeten worden, zoals (deel)ontzouting. Vanuit milieuhygiënisch oogpunt kan een verdere indikking soms wel interessant zijn, vooral als relatief schadelijke chemicaliën worden toegepast (zie figuur 6 voor de spuihoeveelheden in een 1 MW systeem).

Er zijn bedrijven, vooral die met kleinere koelsystemen, die onbehandeld leidingwater suppleren en opzettelijk een lage indikkingsfactor ( $< 2$ ) hanteren om hardheidsafzettingen te voorkomen. Er vindt dan in principe geen waterbehandeling plaats. Het waterverbruik is relatief groot, waar tegenover staat dat geen voorbehandeling plaatsvindt en geen conditioneringsmiddelen gedoseerd worden. Ook de toevoeging van biociden kan vaak beperkt of achterwege blijven, vanwege de korte verblijftijd van het water in het systeem.

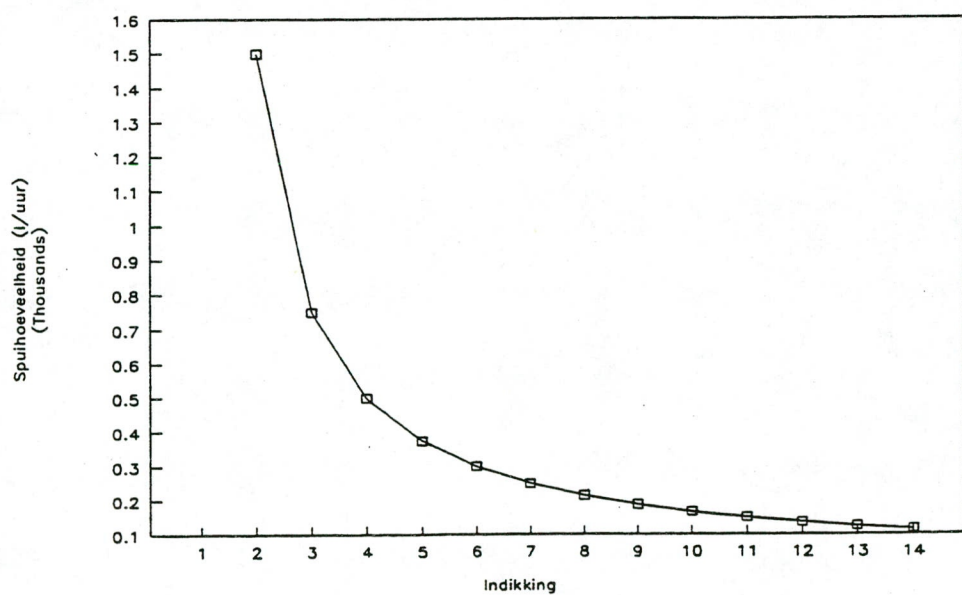
De conclusie uit het voorgaande is dat zowel een geringe ( $< 1,5$ ) als een zeer grote indikkingsfactor ( $> 5$ ) gunstig zijn om tot vermindering van emissies van conditioneringsmiddelen te komen. Een grote indikkingsfactor ( $> 3$ ) is gunstig voor minimalisatie van het watergebruik. Grote indikkingsfactoren zullen in het algemeen wel tot een aanzienlijke opconcentrerings van zouten leiden.

<sup>1)</sup> Volledige ontharding is in het algemeen ongewenst, omdat het calcium (eventueel in combinatie met conditioneringsmiddelen) een beschermend laagje op staal kan vormen.





Figuur 5 Waterverbruik versus indikking



Figuur 6 Spuihoeveelheid versus indikking (bij 1 MW koelcapaciteit)

### 3.10 Reiniging van koelsystemen

Reiniging van koelsystemen kan periodiek noodzakelijk zijn. Met name doorstroomsystemen met oppervlaktewater vervuilen snel. Naast toepassing van borstel- en balletjessystemen (bijvoorbeeld Taprogge) wordt periodiek, bijvoorbeeld 1 x per jaar, het systeem inwendig geïnspecteerd en handmatig gereinigd. Bij open circulatiesystemen is, bij een goed uitgevoerde waterbehandeling, reiniging meestal niet noodzakelijk.

Sommige bedrijven geven de voorkeur aan periodieke reiniging van het koelsysteem boven waterbehandeling (die doorlopend aandacht vraagt). Bij een onjuist uitgevoerde of achterwege gebleven waterbehandeling zullen bij de open circulatiesystemen afzettingen (met name hardheidsafzettingen/ijzeroxiden) ontstaan die chemisch dienen te worden verwijderd. De meest gebruikte zuren bij een reiniging zijn zwavelzuur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), zoutzuur ( $\text{HCl}$ ) en aminosulfonzuur ( $\text{NH}_2\text{SO}_3$ ), waaraan inhibitoren ter voorkoming van materiaal-aantasting zijn toegevoegd. Ter verwijdering van kiezelzuurafzettingen wordt fluorwaterstofzuur ( $\text{HF}$ ) in het zurenmengsel toegepast. Voor ontkopering wordt ammoniak ( $\text{NH}_4^+$ ) gebruikt. Neutralisatie van de reinigingszuren geschiedt via trinatriumfosfaat ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) of soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Ook worden ingezet:

- laagschuimende emulgatoren (nonionogene polymeren) voor olievervuiling;
- alkali (soda, natronloog, trinatriumfosfaat) voor bestrijding van biologische vervuiling en ontvetting van nieuwe systemen;
- chloorbleekloog voor bestrijding biologische vervuiling.

Tegenwoordig worden afvalstromen, ontstaan bij het chemisch reinigen, in het algemeen afgevoerd om bij derden te worden verwerkt.

### 3.11 Kosten

De belangrijkste *kostenfactoren* bij koelsystemen zijn:

Koel- of suppletiewater (grond-, leiding-, oppervlaktewater en condensaat).

Watertoebereiding (filtratie, ontharding, decarbonatatie, ontijzering; chemicaliën, controle/onderhoud).

- Koelwaterconditionering (chemicaliën).
- Afvalwater (reiniging, lozingsheffingen).
- Energiekosten (pompen, ventilatoren).
- Procesbeheersing en -controle (inclusief analyses).
- Onderhoud, reiniging.
- Rente en afschrijving op investeringen.

Het verband tussen de 'kale' kosten voor een modulair gebouwde kunststof koeltoren voor open circulatiesystemen en de koelcapaciteit is vanaf ca. 500 kW vrijwel lineair: globaal 40 gulden per kW (1991) [1].

Het Webci-prijzenboekje [11] hanteert voor een geïnstalleerd open koelsysteem een richtprijs van f 850,- tot f 700,- per  $\text{m}^3/\text{h}$  circulerend koelwater. Deze prijs (1988) is exclusief het leidingnet en geldt voor circulatiedebieten tussen 1000 en 5500  $\text{m}^3/\text{h}$  (globaal 6 tot 50 MW).



---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

Een droge koeltoren en een koeltoren voor een gesloten systeem met een verdampingskoeler zijn qua kale investeringen tot twee keer zo duur dan een open koeltoren. Hybride koelsystemen zijn 2 tot 2,5 keer zo duur dan een natte koeltoren. Na installatie zijn deze typen nog ca. 1,5 tot 2 keer zo duur.

*Waterconditioneringskosten* lopen sterk uiteen voor de verschillende situaties; in de praktijk liggen de kosten tussen ca. f 0,10 en f 1,00 per m<sup>3</sup> suppletiewater, met f 0,25 tot f 0,60 per m<sup>3</sup> als veel voorkomende range.

Het totale *energieverbruik* van open circulatiesystemen ligt in het algemeen tussen 15 en 30 kW per MW koelcapaciteit, grotendeels ten behoeve van het rondpompen van koelwater. De ventilator in een open koelsysteem verbruikt globaal 5 tot 10 kW per MW koelcapaciteit; bij een gesloten c.q. droog systeem is dit echter globaal 20 kW per MW (range: 10 tot 50).

Een open koelsysteem van 1 MW vergt derhalve per uur ruwweg f 4,- aan energiekosten (bij 16 ct per kWh), terwijl een droog systeem globaal het dubbele zal kosten.

Wanneer de totale *kosten per m<sup>3</sup> circulerend of doorgeleid koelwater* in compleet geïnstalleerde systemen worden vergeleken, liggen deze in het algemeen niet extreem uiteen (meestal tussen 0,15 en 0,50 f/m<sup>3</sup>). Uitzonderingen zijn leidingwater en ongefiltreerd oppervlaktewater; de eerstgenoemde varieert in kosten tussen ca. f 0,50 en f 2,50, terwijl ongefiltreerd oppervlaktewater globaal 0,05 tot 0,15 f/m<sup>3</sup> kost. Sterk beïnvloedende factoren zijn de rente en afschrijvingen en de kosten voor (duur) suppletiewater en/of conditionering [1].

De totale kosten voor koelwatergebruik (en zelfs compressiekoeling) is ten opzichte van de omzet van de meeste bedrijven zeer beperkt; zelden wordt meer dan 1 tot 2% van de totale omzet hieraan besteed. Voorbeelden van bedrijfstakken die relatief veel uitgeven aan koelwater zijn in de eerste plaats de aardolie- en chemische industrie, gevolgd door de voedingsmiddelen en basismetallindustrie (zie bijlage 5). Alleen bij de elektriciteitsopwekking worden in de bedrijfsvoering substantiële kosten gemaakt voor koeling; hier wordt de beschikbaarheid van goedkoop koelwater (i.e. geschikt oppervlaktewater) expliciet meegenomen bij de locatiekeus.

## 4 Milieubelasting

De belangrijkste *milieuaspecten* van koelsystemen zijn samengevat in het schema van tabel 6.

Tabel 6 Overzicht van de belangrijkste milieuaspecten van koelsystemen

| Koelsystemen                                 | Water                                                                                     | Lucht         | Geluid                        |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Luchtkoeling (direct)                        | Geen                                                                                      | Warmte        | Eventueel ventilator          |
| Doorstroomkoeling (zonder hergebruik water)  | Warmte<br>Chloor<br>FeSO <sub>4</sub>                                                     | Geen          | Nauwelijks (pompen)           |
| Circulatiesysteem                            |                                                                                           |               |                               |
| – open koeltoren                             | spui: << 5% van circulatiedebiet<br>– corrosie-inhibitoren<br>– biociden<br>– antiscaling | Warmte; pluim | Ventilator, neervallend water |
| – hybride systemen; nat-/droogsystemen       | spui: << 2% van circulatiedebiet<br>– corrosie-inhibitoren                                | Warmte        | Ventilator                    |
| – gesloten systemen (indirecte luchtkoeling) | geen spui (corrosie-inhibitoren)                                                          | Warmte        | Ventilator                    |

### 4.1 Koelwatergebruik

Het koelwatergebruik in de Nederlandse industrie als geheel vormt ca. 90% van het totale watergebruik in de industrie. Voor geheel Nederland, inclusief elektriciteitscentrales en huishoudelijke gebruikers, geldt eveneens dat het koelwatergebruik ca. 90% uit maakt van het totale watergebruik (i.e. 14.543 miljoen m<sup>3</sup> per jaar). In tabel 7 is weergegeven hoe het koelwatergebruik bij de belangrijkste industriële gebruikers is verdeeld.



*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

*Tabel 7 Koelwatergebruik in Nederland (1986)  
Alle waarden in 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/jaar (bron [17])*

| Bedrijfstak                               | Leiding-<br>water | Grondwater |        | Oppervlaktewater |         | Totaal |
|-------------------------------------------|-------------------|------------|--------|------------------|---------|--------|
|                                           |                   | zoet       | totaal | zoet             | totaal  |        |
| 20/21 Voedingsmiddelen                    | 2,9               | 69,8       | 75,8   | 99,6             | 127,5   | 206    |
| 26 Papier & Karton                        | 0,4               | 2,9        | 7,2    | 29,1             | 29,1    | 37     |
| 28-30 Chemische/aardolie                  | 10,2              | 17,2       | 32,6   | 1.066,0          | 3.250,4 | 3.293  |
| 31 Kunststofverw.                         | 1,1               | 10,3       | 10,3   | 3,2              | 3,2     | 15     |
| 32 Bouwmaterialen                         | 0,3               | 5,2        | 5,2    | 2,2              | 2,2     | 8      |
| 33 Basismetaal                            | 29,8              | 8,5        | 40,3   | 18,7             | 195,7   | 266    |
| 34 Metaalprod.                            | 1,3               | 4,1        | 4,2    | 3,8              | 3,8     | 9      |
| 36 Elektrotechn.                          | 2,6               | 4,6        | 4,7    | 0,0              | 2,3     | 10     |
| - Overige uit SBI 1-3                     | 2,4               | 4,5        | 4,7    | 50,9             | 51,6    | 59     |
| 1-3 Totaal industrie                      | 51,0              | 127,1      | 185,0  | 1.273,5          | 3.665,8 | 3.902  |
| Fractie totaal watergebruik <sup>1)</sup> | 27%               | 51%        | 58%    | 95,4%            | 96,5%   | 90,6%  |
| 4011 Elektr.centrales                     | < 0,5             | < 0,5      | < 0,5  | ?                | 9.190,0 | 9.190  |

<sup>1)</sup> Percentage van het industriële watergebruik, dat als koelwater wordt ingezet.

Bij tabel 7 kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- Met name de aardolie en (petro)chemische industrie (> 95%) maar ook de papier- (ca. 80%) en metaalindustrie (ca. 70%) gebruiken hoofdzakelijk oppervlaktewater voor koeldoeleinden. Het betreft vrijwel altijd grote tot zeer grote koelsystemen.
- Bij de basismetaalindustrie wordt het grootste deel van het zout grondwatergebruik door één bedrijf gebruikt. Hetzelfde bedrijf consumeert een grote hoeveelheid halffabriekwater dat door C.B.S. tot leidingwater wordt gerekend (70 - 85 % van de vermelde hoeveelheid leidingwater).
- Bij de voedings- en genotmiddelenindustrie is de zuivelindustrie de grootste grondwaterverbruiker voor koeldoeleinden (35 - 40% van het totaal); zie ook bijlage 6.

Naar schatting wordt in meer dan 90% van de gevallen bij kleine koelsystemen (< 200 kW) gebruik gemaakt van directe luchtkoeling of een gesloten circulatiesysteem. Daarboven neemt de inzet van open koelwatersystemen snel toe. Hoewel concrete gegevens ontbreken wordt vermoed dat vanaf 500 kW in meer dan 90% van de gevallen gebruik wordt gemaakt van doorstroomsystemen of open koeltorens. Tabel 8 geeft een indruk van de verhouding in het gebruik van doorstroom- en circulatiekoelsystemen.

In bijlage 6 is meer informatie opgenomen over het koelwatergebruik in de industrie, waaronder het koelwatergebruik per vestiging en per 'toegevoegde waarde' in de verschillende branches.



## 4.2 Emissies naar het water

In het onderstaande worden emissies uitgewerkt aan de hand van een middelgrote koelcapaciteit, te weten 1 MW. De emissies van doorstroom- of circulatiesystemen zijn globaal evenredig met de koelcapaciteit, zodat waar nodig andere situaties uit onderstaande beschouwing kunnen worden afgeleid.

*Doorstroomkoelsystemen* met oppervlaktewater of grondwater lozen in een groot aantal gevallen rechtstreeks op het oppervlaktewater<sup>1)</sup>. Dit resulteert in een *thermische belasting* van het ontvangende water. Bij een koelcapaciteit van 1 MW en 5 °C temperatuurstijging van het koelwater is ca. 170 m<sup>3</sup> water per uur benodigd. Een belangrijk probleem in de praktijk is de beperkte thermische belastbaarheid van vele oppervlaktewateren, vooral tijdens droge of warme perioden in de zomer. Hierdoor zijn er geen of slechts beperkte mogelijkheden om op die plaatsen een verdere uitbreiding van koelcapaciteit via oppervlaktewater te bewerkstelligen.

Landelijke informatie over de totaal geïnstalleerde koelcapaciteit en de thermische belasting van ontvangende wateren is schaars. Enkele globale berekeningen van Cattoir et al. [13] leiden tot de schattingen zoals vermeld in tabel 8.

Voor de elektriciteitscentrales is in 1986 de gebruikte koelcapaciteit gemiddeld ca. 9.700 MW (inclusief ca. 1.800 MW gekoeld op koeltorens) [17], terwijl het opgesteld vermogen voor doorstroomkoeling ongeveer 16.000 MWe bedroeg [21]. Daarmee wordt ca. 3% van oppervlaktewater in Nederland met ca. 1 K in temperatuur verhoogd.

Tot slot een opmerking over de ecologische effecten van de thermische belasting van oppervlaktewateren. Een opwarming met enkele graden Celcius heeft geen direct aanwijsbare effecten voor de aquatische ecosystemen. Wel is bekend dat een temperatuurtrap de zalmintrek in rivieren blokkeert. In feite vormt dit momenteel een belangrijke belemmering voor de terugkeer van de zalm in de Rijn.

In doorstroomsystemen dienen maatregelen tegen biologische groei te worden genomen, met name de mosselgroei bij gebruik van oppervlaktewater. Daartoe wordt meestal één of meerdere keren per dag gedurende 10 tot 60 minuten chloor gedoseerd, zodanig dat een eindconcentratie van 0,2 tot 0,5 mg/l *actief chloor* wordt bereikt. De hiervoor benodigde hoeveelheid chloor is vaak ca. 1 tot 10 mg/l. Tengevolge van chlooring kunnen geringe concentraties organische halogeenverbindingen in het water ontstaan, waarvan ruwweg de helft trihalomethanen. Tijdens de chlooring van oppervlaktewater kunnen concentraties AOX ontstaan rond 10 µg/l (range: ca. 3 tot 15 µg/l; bij onjuist gebruik en bij sterk vervuild water, zoals in circulatiesystemen, kunnen incidenteel ook hogere concentraties AOX ontstaan). De vorming van organochloor (TOX) is naar schatting in de ordegrootte van 0,5% tot maximaal 1% van de toegevoegde hoeveelheid actief chloor. De totale TOX- of AOX-vracht uit koelsystemen in Nederland wordt daarmee ruwweg geschat op 10 ton per jaar<sup>2)</sup>; zie ook hieronder. De gevormde hoeveelheid chlooramines is een veelvoud hiervan. Deze stoffen zijn echter niet stabiel en worden daardoor tot het actief chloor gerekend.

1) In andere gevallen wordt het water (deels) hergebruikt en/of via een eigen waterzuiveringsinstallatie geloosd. Ook kan bij kleine koelsystemen lozing op het riool plaatsvinden.

2) Geen rekening is gehouden met de achtergrondwaarde van AOX (vaak 1-5 µg/l TOX). Ter vergelijking: via reguliere afvalwaterstromen wordt 70 t/a AOX geloosd.



*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

Het totale chloorgebruik in Nederland voor koelsystemen is niet precies bekend. Het is in 1981 geschat op 4000 tot 8000 ton chloor per jaar, waarvan ca. 2000 ton voor elektriciteitscentrales [22]. Het verbruik ligt momenteel veel lager, omdat in het laatste decennium is gestreefd naar minimalisatie van het chloorgebruik in koelwatersystemen, terwijl ook alternatieve bestrijdingsmethoden vaker worden ingezet. Andere bronnen [27 en 25] noemen ca. 6700 respectievelijk 1200 ton actief chloor als jaarlijks verbruik voor koel- plus proceswater, waarvan het grootste deel voor koelwater-toepassingen bestemd is. Via de doseerbehoefte van actief chloor en informatie van de belangrijkste producenten wordt de binnenlandse markt voor bulktoepassingen in koelwatersystemen momenteel op globaal 1000 tot 1500 ton actief chloor per jaar geschat (1991).

Verwijdering van slijm- en slibafzettingen kan resulteren in periodieke emissies van *dispergeermiddel* (tot ca. 5 mg/l poly-elektrolyt).

*Tabel 8 Koelwatergebruik en weggekoelde energie in de industrie  
(bron [13, 17])*

| Koelmedium                           | Doorstroomkoeling                    |      | Circulatiekoeling                    |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------|--------------------------------------|-------|
|                                      | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /jaar | TWh  | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /jaar | TWh   |
| Zoet grondwater                      | 117                                  | 1,4  | 10                                   | 2,3   |
| Zout grondwater                      | 58                                   | 0,7  | -                                    | -     |
| Zoet oppervlaktewater                | 1.188                                | 6,9  | 36                                   | 4,2   |
| Zout oppervlaktewater                | 2.442                                | 14,2 | -                                    | -     |
| Leidingwater                         | 45                                   | 0,4  | 5                                    | 0,8   |
| Totaal                               | 3.850                                | 23,6 | 51                                   | 7,3   |
| Mechanische koeling/<br>luchtkoeling | n.v.t.                               | 2,2  | n.v.t.                               | -     |
| Koude-opslag bodem                   | -                                    | -    | 0                                    | 0,001 |

De uitgangspunten voor bovenstaande waarden zijn:

| Koelmedium                             | Gebruik in<br>circulatiekoeling (%) | Gemiddelde $\Delta T$<br>(°C) |
|----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Zoet grondwater                        | 7,5                                 | 10                            |
| Zout grondwater                        | 0                                   | 10                            |
| Oppervlaktewater                       | 1                                   | 5                             |
| Leidingwater (inclusief halffabrikaat) | 10                                  | 7                             |

*Open circulatiekoelsystemen met koeltoren* spuien continu of semi-continu een deel van het circulerende koelwater. Daarbij kan men onderscheid maken tussen situaties dat



een geringe indikking (matige waterkwaliteit en/of geringe conditionering), een gemiddelde indikking en een hoge indikking (demiwaterkwaliteit en voldoende conditionering) wordt toegepast. Uitgaande van 1 MW koelcapaciteit en ca. 10 °C temperatuurdaling over de koeltoren (dus ruim 85 m<sup>3</sup>/uur koelwater in circulatie), treden de volgende hoeveelheden spuiwater op (zie ook figuur 6):

- Geringe indikking (indikingsfactor 1,2 tot 2): 7500 tot 1500 l/uur.
- Gemiddelde indikking (indikingsfactor 2 tot 5): 1500 tot 370 l/uur.
- Grote indikking (indikingsfactor > 5): < 370 l/uur.

Ondanks de mogelijke verschillen in de indikingsfactor als gevolg van de suppletie-waterkwaliteit, zal de kwaliteit van het te spuien water in een bepaald koelwatersysteem (i.e. bij de heersende temperaturen en de aard van de gebruikte materialen) niet extreem uiteen lopen; er wordt immers een spui ingesteld om aan zekere interne waterkwaliteitseisen te kunnen blijven voldoen. De totale *vracht* aan bepaalde stoffen in de spui is dus globaal evenredig met de gespuide hoeveelheid water. Een uitzondering hierop is de situatie waarbij tengevolge van een zeer lage indikking (<2) en een redelijke kwaliteit van het suppletiewater in het geheel geen watertoebereiding of -conditionering wordt toegepast.

Typerende concentraties conditioneringsmiddelen in de spui zijn 10-100 mg/l voor corrosiebestrijders (met 10-20 mg/l P-PO<sub>4</sub>), 10-50 mg/l voor bestrijding van afzettingen (soms een gecombineerde werking als corrosiebestrijder) en ca. 5-20 mg/l biociden.

Het totale gebruik aan conditioneringsmiddelen in koelwatersystemen is niet precies bekend. De Branchevereniging Aqua Nederland, die via haar leden ca. 80% van de markt bedient, heeft het verbruik in 1991 geschat op 300 ton biociden (exclusief chloor) en ca. 1.500 ton overige conditioneringsmiddelen. Het betreft hier in principe de formuleerde produkten. De percentages actieve stof varieert per produkt van minder dan 10% tot meer dan 90%; aangezien er geen gegevens zijn over het gebruik van de afzonderlijke conditioneringsmiddelen is helaas geen nadere uitsplitsing naar de hoeveelheden van de afzonderlijke stoffen te geven. Wel is bekend dat de stoffen in systemen met een koeltoren in toenemende mate van polymere aard zijn, zoals polyfosfaten, acrylaten en poly-elektrolyten. Tevens neemt het gebruik van conditioneringsmiddelen geleidelijk af, vooral met betrekking tot anorganische middelen (nitriet, molybdeen- en zinkverbindingen) en biociden.

Een belangrijk deel van de biocidemarkt bestaat uit quaternaire ammoniumverbindingen ('quats') en isothiazoline-verbindingen. Andere veel gebruikte middelen zijn gebaseerd op organische broomverbindingen, 2,2-dibroom-3-nitropropionamide (DBNPA), chloor-isocyanuraten, methyleen-bis-thiocyanaat, glutaaraldehyde en polyaminen. Momenteel heeft isothiazoline een belangrijk marktaandeel verworven, hoewel RIVM in 1988 [27] een verbruik van slechts 5 ton actieve stof per jaar aangeeft. Verder worden organische polymeren ingezet, ondermeer om slijmlagen beter toegankelijk te maken voor de feitelijke biociden. Bovendien worden de laatste jaren steeds vaker middelen op basis van bromide (in de combinatie met hypochloriet) ingezet, omdat deze bij pH > 8 veel effectiever zijn dan alleen chloor; weliswaar ontstaan bromaten en organohalogeenvverbindingen, maar de concentraties zijn lager dan bij hypochloriet. Momenteel wordt landelijk discussie gevoerd over de mogelijke milieueffecten van broomhoudende biociden.

Er dient hier te worden opgemerkt dat bedrijven van tijd tot tijd overschakelen op andere middelen tegen biologische aangroei (ook mechanische reiniging, indien mogelijk).



---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

---

De conclusie is dat momenteel geen nauwkeurige gegevens bekend zijn over het gebruik van additieven in doorstroom- en circulatiekoelsystemen. Ook ontbreekt het in veel gevallen nog steeds aan goede gegevens over de milieu-effecten van verschillende stoffen. Hoewel de vermelde kwantitatieve gegevens onzeker zijn, zijn deze gebruikt om een 'gemiddelde' emissie van koelwatersystemen te schatten. Deze zijn in tabel 9 weergegeven. Tabel 10 vat de hiervoor vermelde gegevens op landelijk niveau samen.

Als gevolg van de indikking en eventuele pH-correcties heeft de spui van open circulatiesystemen een *verhoogd zoutgehalte* (bijvoorbeeld tot ca. 300 mg/l).

*Reiniging* van circulatiekoelsystemen wordt in het algemeen door een gespecialiseerd bedrijf uitgevoerd. De hoeveelheid vrijkomende, waterige reststoffen bedraagt 1 tot 2 maal het systeemvolume. De reinigingsbedrijven beschikken in het algemeen over de middelen/mogelijkheden de vrijkomende reinigingsmiddelen gecontroleerd af te voeren en te (laten) verwerken. Tevens kan het oorspronkelijke koelwater uit het systeem en enkele keren het systeemvolume aan spoelwater vrijkomen, wat meestal ter plekke wordt geloosd. Voor de aard van de gebruikte reinigingsmiddelen wordt verwezen naar 3.10.

Metaalemissies (ijzer, eventueel ook koper, zink en dergelijke) staan daarbij uiteraard in relatie tot de in het koelsysteem toegepaste materialen.

In de *overige koelsystemen* treedt geen of een praktisch verwaarloosbare emissie op tengevolge van spuien. Voor wat betreft de reiniging van gesloten koelwatersystemen wordt verwezen naar het hierboven beschrevene.

Tenslotte wordt gewezen op de reiniging en *passivering* bij nieuw in gebruik te nemen koelsystemen. Tijdens de bouw gevormde oxyden ('roest') worden weggenomen en het staal wordt gepassiveerd door het systeem te spoelen met een middel op basis van fosforzuur ( $H_3PO_4$ ). Soms wordt daarna nog extra gepassiveerd met natriumnitriet ( $NaNO_2$ ), bromaat ( $BrO_3^-$ ) of waterstofperoxyde ( $H_2O_2$ ). Ook de bij deze activiteiten vrijkomende afvalstromen, die rijk zijn aan fosfaat, ijzer en eventueel alkali, worden meestal gecontroleerd afgevoerd. Het betreft in principe een eenmalige activiteit.

De *effecten op de waterhuishouding* zijn primair afhankelijk van de plaats waar het water wordt ingenomen en waar het wordt geloosd.

Bij gebruik van oppervlaktewater liggen deze punten in het algemeen dicht bij elkaar en zijn de effecten klein en van lokale aard.

Bij gebruik van grondwater is er in het algemeen sprake van lozing op het riool of het oppervlaktewater. De koelwaterdebieten zijn vaak beperkt ten opzichte van de totale afvoerdebieten van ontvangende oppervlaktewateren, waardoor het effect op de waterhuishouding beperkt of te verwaarlozen is. Door de grondwateronttrekking kan echter wel lokaal of regionaal een verlaging van de grondwaterstand (of stijghoogte) ontstaan. Er zijn enkele voorbeelden bekend van verdroging van bepaalde natuurgebieden door grondwateronttrekkingen. De meeste gevallen van verdroging van natuurgebieden worden echter veroorzaakt door verbeterde (of overmatige) drainage van het freatisch grondwater, bijvoorbeeld als gevolg van ruilverkaveling.



### 4.3 Overige aspecten

*Geluidemissies* van koelsystemen zijn het gevolg van pompen voor het koelwater, in koeltorens neerkletterend water en de ventilatoren voor een geforceerde trek in koeltorens en dergelijke. Vooral splash-type pakkingen en ventilatoren kunnen hinderlijk zijn voor de directe omgeving. De geluidsdruk op 10 m varieert in het algemeen tussen 55 en 70 dB(A). De geluidsdruk<sup>1)</sup> van een ventilator neemt sterk toe met de tipsnelheid van de ventilatorbladen. In de praktijk speelt het toelaatbare geluidsniveau vaak een belangrijke rol bij de selectie van een koeltorencapaciteit en het type ventilator. Zo nodig worden geluiddempende maatregelen getroffen.

Een wezenlijke *geuremissie* zal in het algemeen niet optreden.

Een ander mogelijk hinderaspect is *pluimvorming* bij natte koeltorens. Dit speelt vooral een rol bij een relatief hoge luchtvochtigheid van de buitenlucht ('s winters). Pluimvorming is bijvoorbeeld te verminderen door in de koeltoren boven het natte gedeelte een 'droog' koeltorenssegment te installeren; de uittredende lucht wordt hierdoor opgewarmd en zal aldus minder gauw overzadigd raken (zie figuur 4).

Als vuistregel geldt dat per kWh (totale) warmteafvoer ca. 1,25 kg water verdampt; dit komt ruwweg overeen met 1% van het circulerende waterdebiet per 6,5 à 7 °C temperatuursdaling.

*Wind- en spatverliezen* zijn bij moderne koeltorens zeer gering ( $<< 0,1\%$  van het circulatiedebiet) en vormen praktisch nooit aanleiding tot overlast. Wel is er een risico op verspreiding van *Legionella* en wordt de directe omgeving van de koeltoren enigszins belast met conditioneringsmiddelen die in het koelwatercircuit worden gebruikt. Bij bijvoorbeeld een middelgrote koeltoren (1 MW) met 100 m<sup>3</sup>/uur circulerend koelwater en 0,025% spatwaterverlies is dit verlies ca. 25 l/uur. Op jaarbasis is het verlies dan ca. 200 m<sup>3</sup> water met daarin ruwweg 10 kg conditioneringsmiddelen (bij een concentratie 50 mg/l).

*Reststoffen* ontstaan in het algemeen alleen bij onderhoud- en reinigingsactiviteiten. Reiniging wordt gewoonlijk verzorgd door gespecialiseerde bedrijven, die ook vrijkomende reststoffen/vloeistoffen meenemen en verwerken. Men kan grofweg stellen dat de hoeveelheid reststoffen evenredig is met het aantal reinigingen. Uiteraard is de samenstelling van deze reststoffen afhankelijk van de ingezette reinigingsmiddelen, alsmede te verwijderen verontreinigingen. De concentratie zware metalen is meestal kleiner dan 200 mg/kg d.s. Reiniging is normaal gesproken niet nodig bij geheel gesloten systemen en bij systemen die met goed behandeld en geconditioneerd koelwater werken. Bij gebruik van oppervlaktewater is een jaarlijkse inspectie, gepaard met een meestal mechanische reiniging gebruikelijk. Bij veel kleine doorstroomsystemen wordt één of enkele keren per jaar een reiniging met chemicaliën in de vorm van hypochloriet toegepast teneinde (micro)biologische aangroei te verwijderen.

*Storingen in koelsystemen* komen vaak voort uit onvoldoende onderhoud of te kritische waterbehandelingsprogramma's. Onvoldoende onderhoud kan leiden tot afzettingen, zodat plotseling wordt geconstateerd dat er een verstopping en/of onvoldoende koeling plaatsvindt. Er zal dan een ingrijpende reiniging dienen plaats te vinden, waardoor tijdelijk een grote emissie naar het milieu kan optreden.

Tevens kan processtilstand optreden als gevolg van lekkages veroorzaakt door corro-

<sup>1)</sup> Een verdubbeling van de geluidsdruk komt overeen met 3 dB(A).



*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

sie, langs pakkingen van flensen, pompen, tengevolge van breuk van bijvoorbeeld kunststoffen leidingen, enz. Storingen als gevolg van defecte pompen en dergelijke zullen in het algemeen niet of nauwelijks tot emissies naar het milieu leiden. Door een (verplichte) overdruk in het koelcircuit kunnen bij lekkages in principe geen procesvloeistoffen in het koelwater terechtkomen. Toch is vanuit de praktijk bekend dat in bijvoorbeeld chemische plants bepaalde stoffen uit het proces in het koelwater terecht kunnen komen (meestal op mg/l-niveau).

Tabel 9 Overzicht gemiddelde milieubelasting koelwatersystemen

| Type koelwatersysteem | Emissies per MW koelcapaciteit <sup>1)</sup> (ordegrootte) |                                                                |                                                                                |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Waterdebiet of spui (m <sup>3</sup> /uur)                  | Als gevolg van toevoegingen (g/uur)                            | Overige aspecten                                                               |
| Doorstroomkoeling     | ca. 170                                                    | actief Cl: 2 <sup>2)</sup><br>AOX/EOX: 0,1                     | Eventueel watertoebereiding (slibben); thermische belasting                    |
| Circulatiekoeling     |                                                            |                                                                |                                                                                |
| – open (koeltoren)    | ca. 0,9                                                    | biociden <sup>3)</sup> : 13<br>act.Cl/Br: <1<br>cond.midd.: 65 | Eventueel watertoebereiding; opzouting; spatwater (10-20 kg/uur); pluimhinder. |
| – gesloten            | nihil                                                      | nihil                                                          | Geluidsoverlast en hoog energieverbruik                                        |

1) Landelijke en tijdsgewogen gemiddelden. Voor doorstroomsystemen is uitgegaan van een temperatuurstijging van gemiddeld 5 °C. Voor circulatiesystemen wordt uitgegaan van een gemiddelde indikkingsfactor van 2,5 (per MW verdampt ca. 1,3 m<sup>3</sup>/uur).

2) Lozingen tot ruim 100 g/h per MW komen tijdelijk voor.

3) Niet-oxyderende biociden.

Tabel 10 Indicatie van de landelijke emissies van koelwatersystemen

| Component                                       | Gebruik (ton/jaar) | Geëmitteerde fractie (%) <sup>4)</sup> | Emissie (ton/jaar) <sup>5)</sup> |
|-------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| - actief chloor                                 | 1000-1500          | 20                                     | ca. 200                          |
| - biociden <sup>6)</sup>                        | 300-360            | 70-80                                  | ca. 250                          |
| - overige conditioneringsmiddelen <sup>6)</sup> | 1500-1800          | 90                                     | ca. 1500                         |
| - organochloor <sup>7)</sup> (als Cl)           | -                  | 0,5-1 <sup>7)</sup>                    | ca. 10                           |

4) schattingen

5) schatting op basis van gebruik en de geëmitteerde fractie; deze emissies worden grotendeels op het oppervlaktewater geloosd.

6) geformuleerde produkten

7) als gevolg van het gebruik van actief chloor; uitgedrukt op basis van chloor



## **5 Recente ontwikkelingen**

### **5.1 Technologische ontwikkelingen**

Ontwikkelingen op het gebied van koelsystemen in de laatste jaren betreffen:

- De opslag van koude (of warmte) in de bodem. Hierdoor zal de omgeving (inclusief oppervlaktewater) thermisch minder worden belast. 's Winters kan 'gratis' koudeopslag in de bodem plaatsvinden om daarmee 's zomers processen beter te kunnen koelen. Dit zal economisch vooral interessant zijn bij te bereiken watertemperaturen tussen ca. 5 en 15 °C en niet-volcontinue bedrijfsvoering (<5000 bedrijfsuren per jaar) en/of koelvermogens vanaf ca. 1 MW [14].
- Intensiever gebruik van corrosievaste materialen, zoals titaan (in plaats van koperhoudende legeringen in vuurpijpen, warmtewisselaars en dergelijke) en kunststoffen (zowel de piping, de pakkingen in koeltorens als de koeltorens zelf).
- Het gebruik van licht verontreinigd afvalwater als suppletiewater in natte koelsystemen. Door de strenge regelgeving in de USA wordt dit aldaar door een toenemend aantal bedrijven (noodgedwongen) gepraktiseerd. Het totale volume afvalwater wordt hiermee gereduceerd.
- Het frequenter overwegen van windgekoelde condensators/warmtewisselaars (geluidsoverlast noch energiegebruik tengevolge van ventilatoren).
- Het gecontroleerd afvoeren van vloeistoffen en reststoffen bij het reinigen van koelsystemen.
- De toepassing van biologisch afbreekbare conditioneringschemicaliën (ook: all-organic systemen); een verschuiving van chloorhoudende naar broomhoudende biociden.

Een belangrijk deel van deze ontwikkelingen komt voort uit stringenter milieuregeling. Een voortzetting van deze trend is te verwachten (zie 5.2).

### **5.2 Beleidsmatige ontwikkelingen**

Koelwatersystemen hebben diverse raakvlakken met het milieubeleid van de overheid. De twee belangrijkste thema's zijn evenwel:

- a. De lozing c.q. verspreiding van milieuverontreinigende stoffen via de spui.
- b. De verdrogingsproblematiek (met name bij gebruik van grondwater).

Andere milieugerelateerde onderwerpen zijn de thermische belasting van oppervlaktewateren, energiebesparing en de verwijdering/verwerking van afvalstoffen (periodieke reiniging, verbouw etc.). Hoewel elk van deze onderwerpen aangrijpingspunten bieden voor onderzoek en innovatieve verbeteringen, blijven zij in deze studie grotendeels buiten beschouwing.



ad a.

In het kader van de WVO zijn alle belangrijke lozingen vergunningsplichtig. Het gaat dan in principe om vergunningen voor volledige productie-units, dus inclusief koelsysteem. Door de vergunning wordt de lozing in omvang beperkt qua debiet, concentratieniveaus en stofvrachten.

Het doel van de WVO, i.e. een goede oppervlaktewaterkwaliteit, wordt in de praktijk langs twee lijnen bereikt: de emissie-aanpak en de waterkwaliteitsaanpak. De *emissie-aanpak*, waarbij de best bestaande technologie (BBT) of de best uitvoerbare technologie (BUT) wordt verlangd voor bepaalde milieubelastende stoffen, wordt momenteel niet of nauwelijks gehanteerd bij koelwatersystemen, tenzij er nog gebruik wordt gemaakt van chromaat als corrosie-inhibitor. Voor relatief onschuldige verontreinigingen wordt de *waterkwaliteitsaanpak* gehanteerd. De eventuele maatregelen zijn afhankelijk van de waterkwaliteitsdoelstelling van het ontvangende water. Met name de lozing van warmte en zouten uit koelwatersystemen hebben in dit verband de aandacht. Indien tijdens de beoordeling blijkt dat de lokale water- of waterbodemkwaliteit door de lozing niet zal voldoen aan de doelstellingen (zogenaamde grenswaarden) zullen aanvullende eisen worden gesteld, mits deze qua inspanning (kosten) in redelijke verhouding staan tot het te dienen (milieu-)belang.

In circulatiekoelsystemen worden conditioneringsmiddelen gebruikt. Hiervoor wordt eveneens volgens de waterkwaliteitsaanpak een locatie-afhankelijke toetsing uitgevoerd, waarbij de MTR-methode wordt gevolgd (MTR = Maximaal-Toelaatbaar-Risico). Belangrijke aspecten zijn de toxiciteit en afbreekbaarheid van de gebruikte stoffen [23]. Biociden dienen bovendien in het kader van de Wet Bestrijdingsmiddelen te zijn toegelaten<sup>1)</sup>.

Het beleid op de middellange tot lange termijn is gericht op een verminderde lozing van vermestende stoffen (stikstof- en fosforverbindingen). Dit zal voor het gebruik van diverse conditioneringsmiddelen (zoals polyfosfaten) consequenties kunnen hebben in de vorm van extra heffingen op lozingen of restricties in de vergunningen. Vanwege hun lage concentratieniveau zullen lozingen van quaternaire ammoniumverbindingen vooralsnog geen effect ondervinden van dit beleid.

Meer in het algemeen geldt dat voor de lozing van de zogenaamde microverontreinigingen de eisen zullen worden aangescherpt. Hier liggen onder meer het Rijn Actie Plan en het Noordzee Actie Plan aan ten grondslag, waarin afspraken zijn gemaakt voor een vrachtvermindering van diverse milieuvervuilende stoffen. Enerzijds zullen de 'grenswaarden' geleidelijk worden verlaagd tot de ecotoxicologisch onderbouwde 'streefwaarden'. Anderzijds valt te verwachten dat een steeds groter aantal stoffen onder de toekomstige regelgeving zal gaan vallen, zodra daar meer (ecotoxicologische) gegevens over bekend zijn. Dit zou onder meer de additieven op basis van polymeren kunnen betreffen. Bovendien wordt in het Rijn Actie Plan een belangrijke plaats ingeruimd voor het terugdringen van calamiteiten met installaties waardoor belangrijke hoeveelheden milieuverontreinigende stoffen vrijkomen.

<sup>1)</sup> Chloorbleekloog is hiervan ontheven.



ad b.

De verdrogingsproblematiek is feitelijk een lokaal of regionaal probleem en speelt vooral bij het gebruik van (zoet) grondwater in de hoger gelegen gedeelten van Nederland. Ook in lager gelegen gedeelten van Nederland kunnen er problemen ontstaan als gevolg van de versnelde kwel van zout water. Grondwateronttrekkingen worden middels een vergunning in het kader van de Grondwaterwet door Provincies toegestaan.

Hoewel koelwater slechts een beperkt deel vormt van de totale grondwateronttrekkingen en een nog kleiner deel van de verdrogingsproblematiek veroorzaakt, heeft het als een 'laagwaardig gebruik van water' recentelijk veel aandacht gekregen. Krachtwerktuigen heeft in een rapportage concrete aanbevelingen gedaan voor vermindering van grondwater voor koelwater- en andere laagwaardige doeleinden [13].

Door diverse Provincies zijn recentelijk activiteiten gestart die tot doel hebben bedrijven te doen overschakelen van grondwater naar oppervlaktewater in het productieproces. Een belangrijke drijfveer voor waterbesparingen is in de nabije toekomst de zogenaamde Grondwaterheffing. Deze zal naar verwachting starten met een bedrag van 12,5 cent per m<sup>3</sup> en geleidelijk stijgen naar ruim f 1,- per m<sup>3</sup>. Reïnfiltratie van niet of nauwelijks verontreinigd water in de bodem is in de praktijk moeilijk te realiseren. Slechts bij uitzondering en onder de strengste waarborgen zal men dit kunnen toestaan.

Op het punt van thermische belasting is er voor zover bekend geen nieuw beleid op komst.

Er kan worden geconcludeerd dat de toekomstige ontwikkeling van koelwatersystemen door velerlei nieuwe regelgevingen en beleidsontwikkelingen wordt beïnvloed, doch zonder dat koelwatersystemen een duidelijk richtpunt vormt binnen deze beleidsontwikkelingen.



## 6 Knelpunten en probleemvelden

In het kader van de onderhavige studie naar mogelijke innovatieve verbeteringen aan koelsystemen, gericht op vermindering van de milieubelasting door deze systemen, is een inventarisatie van de knelpunten en probleemvelden, met betrekking tot koelwatersystemen uitgevoerd. Deze inventarisatie vormt een vertrekpunt voor de oplossingsgerichte aanbevelingen en gewenste ontwikkelingen, zoals beschreven in hoofdstuk 7 en 8.

De volgende knelpunten en probleemvelden, die thans bij de toepassing van koelwatersystemen worden ervaren, kunnen worden onderscheiden:

### 1. *Relatief weinig aandacht voor koelwatersystemen*

Hoewel koelwater als een belangrijke processtroom valt te kenschetsen, is er in het algemeen weinig aandacht voor ontwerp, onderhoud en bedrijfsvoering van koelwatersystemen. Koelwater wordt typisch als een utility beschouwd. Investerings in koel(water)systemen staan vaak onder druk. Door de relatief geringe aandacht bij het ontwerp en de uitvoering van koelsystemen, wordt al in het ontwerpstadium de kern voor het noodzakelijke waterbehandelingsprogramma gelegd. Meer aandacht voor het ontwerp en een betere kennisoverdracht naar ontwerpers/ingenieursbureaus kan het gebruik van conditioneringsmiddelen en specifieke praktijkproblemen deels voorkomen.

- De zorg voor de 'utility' koelwater verschilt per bedrijf. Bij de zeer grote bedrijven is er binnen gespecialiseerde afdelingen kennis van zaken. Hierbij treedt het verschijnsel op dat koelwaterdeskundigen weinig procestechnische expertise bezitten. Bij het middelgrote bedrijf is de aandacht beperkter. Kleine bedrijven besteden de zorg voor de koelwaterconditionering uit aan toeleveranciers van middelen. Deze beperkte aandacht is direct te relateren aan de thans veelal lage kosten voor koelwater en koelwaterlozingen.

### 2. *Overdosering als gevolg van risicomijdend gedrag*

Er bestaat een grote weerstand tegen optimaliseren van koelwatercircuits middels regeling van koelwaterstromen, alsmede tegen het kritisch doseren van conditioneringsmiddelen, in verband met het risico van calamiteiten en procesverstoringen. Slecht functionerende koelwaterconditionering kan leiden tot storingen in de procesvoering die naast produktieverlies veelal ook extra milieubelasting en energieverbruik tot gevolg heeft. Bij veel bedrijven wordt daarom een overdosis conditioneringsmiddelen gebruikt.

### 3. *Geen of beperkte integratie energiestromen in MKB*

Integratie van energiestromen zal in het algemeen leiden tot een geringere koelbehoefte, bijvoorbeeld doordat meer warmte die anders weggekoeld zou moeten worden, wordt teruggewonnen c.q. nuttig toegepast. Bij grote, energieintensieve bedrijven is dit een belangrijk aandachtspunt, dat wil zeggen warmte wordt teruggewonnen voor zover dit binnen economische randvoorwaarden verantwoord is. Verdergaande integratie en warmteterugwinning met behulp van warmtepompen en warmtetrafo's wordt niet alleen belemmerd door economische randvoorwaarden, maar ook door onzekerheid met betrekking tot de betrouwbare werking. In het Midden- en KleinBedrijf heeft optimalisatie en integratie van energiestromen slechts beperkt aandacht, waardoor de situatie ontstaat dat onnodig veel warmte moet worden weggekoeld.



#### 4. *Onzekerheid over werking van conditioneringsmiddelen*

Er zijn veel conditioneringsmiddelen en -systemen beschikbaar, maar de werking ervan in de praktijk is slecht voorspelbaar. Dit heeft te maken met de in de praktijk veelal wisselende samenstelling en temperatuur van het koelwater. Ook de eis dat conditioneringsmiddelen zowel corrosie, afzettingen als biologische aangroei, die in de praktijk veelal gelijktijdig en in wisselende hoedanigheden voorkomen, moet tegengaan, bemoeilijkt voorspelling van de werking. Veelal wordt door trial and error in de praktijk een optimale samenstelling en dosering gezocht. Er is derhalve behoefte aan een vergelijkende bepaling met betrekking tot de effecten en werking van conditioneringsmiddelen in de praktijk en aan het vaststellen van de parameters die de werking beïnvloeden. Dit geldt in versterkte mate voor nieuwe conditioneringsmiddelen, waarvan de werking, alsmede de milieueffecten, nog onvoldoende bekend zijn.

- Van conditioneringsmiddelen die bewezen hebben onder laboratorium- en ontwerpcondities goed te functioneren, is niet op voorhand te garanderen wat hun werking zal zijn onder de in de praktijk vaak wisselende omstandigheden. Een testopstelling, waarin onder gedefinieerde omstandigheden duurtesten met conditioneringsmiddelen uit te voeren zijn, verschaft informatie over de werkzaamheid van middelen. Een aantal grote industriële gebruikers van conditioneringsmiddelen is thans bezig met de ontwikkeling van een testmethode, die de eigenschappen van conditioneringsmiddelen onderling vergelijkt.

#### 5. *Beperkte alternatieven voor koelwater*

Luchtcooling is in veel situaties het enige reële alternatief voor koelwater. Hierbij treden problemen op met betrekking tot geluidsoverlast, ruimtebeslag en hoge investeringen. Bovendien is luchtcooling slechts toepasbaar bij cooling boven ca. 40 °C. Andere alternatieve koelsystemen, zoals benutting van lage-temperatuur afvalwarmte met behulp van warmtepompen, benutting van in de bodem opgeslagen winter-koude, en dergelijke, zijn nog onvoldoende ontwikkeld, economisch niet aantrekkelijk of worden als onvoldoende betrouwbaar beschouwd.

#### 6. *Beperkte innovatieve ontwikkelingen aan conditioneringsmiddelen*

Conditioneringsmiddelenleveranciers zijn veelal 'blenders', die een beperkte fundamentele kennis van de achterliggende fysische en chemische processen van koelwaterconditionering bezitten en die, onder andere vanwege prijsconcurrentie, weinig aan fundamentele ontwikkeling doen.

De toch al beperkte deskundigheid op koelwaterconditioneringsgebied die binnen Nederland en Europa aanwezig is bij universiteiten en onafhankelijke instituten, wordt nauwelijks toegepast bij de ontwikkeling van nieuwe conditioneringsmiddelen;

#### 7. *Stringenter regelgeving en toenemende kosten*

De regelgeving met betrekking tot de inname van grondwater en de lozing van verontreinigd koelwater wordt steeds stringenter. De overheid heeft middels haar vergunningen- en heffingenbeleid grote invloed op de mogelijkheden en de keuzes van bedrijven met betrekking tot de koelwaterbron en het koelsysteem. Bovendien nemen de kosten voor koelwater sterk toe, zowel voor de lozing van verontreinigd koelwater als voor de onttrekking van grondwater.



Er bestaat vanuit de industrie behoefte om over het beleid met de overheid te overleggen. Bedrijven worden bijvoorbeeld geconfronteerd met nieuw ontwikkelde conditioneringsmiddelen, waarvan veelal nog onvoldoende alle milieueffecten bekend zijn. Ook staan zij voor keuzes met betrekking tot het verder indikken bij open circulatiesystemen, waardoor waterbesparing wordt gerealiseerd, maar ook veranderingen in de milieubelasting door lozingen en mogelijk veranderende energieverbruiken optreden. Het ontbreken van vergelijkingscriteria, bijvoorbeeld in de vorm van een beoordelingsmethodiek ('meetlat'), wordt als een belemmering ervaren.



## 7 Mogelijke oplossingsrichtingen

Voor een aantal van de in hoofdstuk 6 gesignaleerde probleemvelden bestaan reeds oplossingen. Ook in hoofdstuk 3 is ingegaan op mogelijke verbeteringen die met bestaande technieken en technologieën nu reeds mogelijk zijn. De toepassing hiervan is veelal een kwestie van economische en praktische afweging, en wordt op grond daarvan niet altijd geëffectueerd.

Op deze oplossingen, gebaseerd op de 'state-of-the-art', is in het kader van deze studie geen nadruk gelegd. Er kan in dit verband worden opgemerkt, dat ook in andere studies concrete suggesties voor reductie van de milieubelasting door koelsystemen zijn gedaan, zie bijvoorbeeld [1] en [13]. Ter illustratie is uit het rapport van Cattoir et al [13] tabel 11 overgenomen.

In dit hoofdstuk is het accent gelegd op innovatieve oplossingsrichtingen die in het kader van het IOP-programma, door middel van (fundamenteel) onderzoek en ontwikkelingswerk, kunnen worden toegevoegd aan het bestaande scala van oplossingen.

De onderstaande suggesties en aanbevelingen voor ontwikkelingen, die de mogelijke 'oplossingsrichtingen' vormen, zijn ingedeeld naar aangrijpingspunt, te weten de generieke en de meer specifieke (op bepaalde koelsystemen gerichte) oplossingsrichtingen.

### Generieke oplossingsrichtingen

#### 1. Beoordelingssystematiek koelsystemen ('meetlat')

Ontwikkeling van een 'meetlat', waarmee koelsystemen en koelwater-conditioneringsmiddelen vergeleken kunnen worden, rekening houdend met milieubelasting naar water en lucht, energieverbruik, investerings- en andere kosten.

Een meetlat ter vergelijking van alternatieve koelsystemen heeft waarde voor de bedrijven, maar zeker ook naar overheden toe. Doordat bij vergunningverlening door overheden 'compartiment-denken' optreedt, kunnen er eisen worden gesteld die bijvoorbeeld de emissie naar oppervlaktewater reduceren, ten koste van extra energieverbruik en/of geluidsoverlast.

Een meetlat in de vorm van één gewogen getal is naar verwachting niet mogelijk. Wel lijkt het haalbaar om de criteria die bij de onderlinge vergelijking een rol spelen te definiëren en hiervoor weegfactoren te formuleren, eventueel afhankelijk van de toepassing. De levenscyclusanalyse- of LCA-methode, zoals ontwikkeld door het Centrum voor Milieukunde Leiden, kan hierbij als uitgangspunt worden gehanteerd. Hierdoor zal een beslismodel ontstaan waarbij de diverse invloeden worden meegenomen.



## 2. *Integratie van koeling in procesontwerp*

Door verdergaande integratie van koeling in het procesontwerp zal de koellast verminderen. Dit kan gerealiseerd worden door hergebruik van warmte middels warmtewisselaars, eventueel met behulp van warmtepompen, warmte-kracht koppeling, absorptiekoeling, enz. Dergelijke mogelijkheden worden bij complexere processen opgespoord middels procesintegratie-technieken.

Procesintegratie is 'common practise' bij de grote energieintensieve bedrijven. Procesintegratie vindt evenwel veelal op unit-niveau plaats, terwijl procesintegratie over unit-grenzen heen mogelijkheden biedt tot verdere reductie van energie- en koelwaterverbruik. Hetzelfde geldt voor benutting van laagwaardige afvalwarmte voor stadsverwarming, kassen, zwembaden of gebouwverwarming.

In het midden- en kleinbedrijf zal toepassing van procesintegratietechnieken tot relatief grote reducties op de koelbehoefte kunnen leiden.

## 3. *Hybride koeling*

Door luchtkoeling niet te dimensioneren op de maximale maar op een lagere buitentemperatuur, worden de installatiegrootte en de investering beperkt. Het tekort aan koelcapaciteit dat hierdoor bij extreem hoge buitentemperaturen ontstaat, kan met een beperkte waterkoeling worden aangevuld.

Dit idee moet verder worden uitgewerkt tot ontwerpaanbevelingen, waarbij de verhouding luchtkoeling - waterkoeling wordt geoptimaliseerd.

## 4. *Alternatieve scheidings- en conversieprocessen*

Door de ontwikkeling en invoering van niet-thermische scheidingsprocessen, of conversieprocessen bij lagere temperaturen, kan de koelbehoefte in industriële productieprocessen worden verminderd.

Te denken valt aan membraanprocessen en kristallisatieprocessen, in plaats van bijvoorbeeld distillatie en indampen. Ook door verdergaande ontwikkelingen aan katalysatoren en enzymen kan bereikt worden dat processen bij lagere temperaturen en drukken, bij voorkeur omgevingstemperatuur en -druk, kunnen verlopen, waardoor indirect de koelbehoefte vermindert.

## 5. *Ontwikkeling van materialen en coatings*

De ontwikkeling van hoogwaardige, gladde en/of corrosie-ongevoelige materialen en coatings, leidt tot vermindering van de behoefte aan conditioneringsmiddelen, omdat vervuiling door afzettingen en corrosie nauwelijks zullen optreden.

In het warme gedeelte van koelwatersystemen wordt soms titaan toegepast om corrosie te vermijden. Er is behoefte aan goedkopere alternatieven. Een mogelijkheid is daarbij de ontwikkeling van kwalitatief goede en gladde coatings, die de warmte-overdracht niet nadelig beïnvloeden, afzettingen vermindering en goed hechten op de ondergrond. Dit leidt tot reductie van het gebruik van koelwaterconditioneringsmiddelen. Door combinatie met hydraulische maatregelen kan eventuele vervuiling mogelijk 'mechanisch' worden bestreden c.q. voorkomen.



6. *Monitoring vervuiling*

Door de ontwikkeling van (sensoren voor) monitoring van de koelwaterzijdig optredende vervuiling kan de dosering van conditioneringsmiddelen worden geoptimaliseerd c.q. geminimaliseerd. Zie ook bijlage 9 voor een verdere uitwerking van dit onderwerp.

7. *Beslismodel onderhoud koelwatersystemen*

Door beschikbare kennis omtrent de milieubelasting van en door onderhoud aan koelsystemen, zowel preventief als curatief, te bundelen, kan een beslismodel voor onderhoud aan koelsystemen worden opgesteld.

Hierbij moet een zodanige veiligheidsmarge in acht worden genomen dat de kans op calamiteiten wordt geminimaliseerd. Calamiteiten kunnen incidenteel zeer grote milieubelasting veroorzaken.

8. *Lekkagevrije warmtewisselaars*

Een groot probleem bij veel koelwatersystemen vormt de lekkage van warmtewisselaars, waardoor procesvloeistoffen in het koelwater terecht komen. De ontwikkeling en introductie van intrinsiek veilige warmtewisselaars, naar analogie van de dubbelwandige systemen in onder meer drinkwatertoepassingen, kan hierin verbetering brengen.

Uiteraard is hierbij speciale aandacht gewenst voor het handhaven van een hoge warmteoverdracht en een acceptabele kostprijs.

9. *Vervuilingsongevoelige warmtewisselaars*

Door te koelen via een vervuilingsongevoelige warmtewisselaar, bijvoorbeeld een platen-warmtewisselaar, kan zonder of met beperkte, stootsgewijze toevoeging van conditioneringsmiddelen worden volstaan. Te denken valt aan een gesloten koelsysteem met platen-warmtewisselaars die indirect met oppervlaktewater wordt gekoeld. Onderzoek naar het vervuilingsgedrag van dergelijke warmtewisselaars onder praktijkomstandigheden moet de weg naar deze toepassing openen.

## **Koelwaterspecifieke oplossingsrichtingen**

10. *Reïnfiltratie van grondwater*

Door grondwateronttrekking voor koeldoeleinden te combineren met reïnfiltratie van het opgewarmde maar nog schone water, wordt verdroging alsmede infiltratie van vervuild oppervlaktewater naar het grondwater vermeden.

Onderzoek moet plaatsvinden naar de voorwaarden waaronder reïnfiltratie van opgewarmd maar niet vervuild grondwater mogelijk is, en naar de beveiligingsmaatregelen (inclusief eventuele nazuivering op het water) die hierbij noodzakelijk zijn.

Ook bij koude-opslag in aquifers speelt deze problematiek.

11. *Betere conditioneringsmiddelen*

Het ontwikkelen van 'anders geaarde' conditioneringsmiddelen of -methoden, zoals (biologisch) afbreekbare conditioneringsmiddelen en middelen op basis van 'template-vorming'.



Hierbij kunnen recent verworven fundamentele inzichten, bijvoorbeeld op het gebied van 'molecular modeling', worden ingezet.

12. *Fysische antikalk-methoden (FAK)*

Hoewel in milieuopzicht zeer aantrekkelijk, blijft er onduidelijkheid bestaan over de werkingsprincipes en de toepassingsgrenzen van fysische methoden ter bestrijding van hardheidsafzettingen (FAK). Onderzoek naar de achterliggende mechanismen en daarmee naar de grenzen van de werkingsgebieden, is gewenst.

13. *Niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen (onder andere  $O_3$ ,  $H_2O_2$ )*

Nader onderzoek naar werking en economische aspecten van niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen, zoals ozon en waterstofperoxyde, als biocide, al dan niet in combinatie met andere conditioneringsmiddelen, is gewenst.

Een belangrijke vraag is hierbij hoe deze middelen op de meest doelmatige wijze in het water kunnen worden gebracht en gehouden. De vraag naar het gecombineerde effect van ozon c.q. waterstofperoxyde met andere conditioneringsmiddelen vereist fundamenteel inzicht in de achterliggende werkingsprincipes. Ook relatief nieuwe middelen als perazijnzuur komen voor studie in aanmerking.

14. *Werking (nieuwe) conditioneringsmiddelen*

Van (nieuw ontwikkelde) conditioneringsmiddelen is het moeilijk om vooraf de werking vast te stellen, omdat dit sterk afhankelijk is van de lokale omstandigheden. Onafhankelijk onderzoek naar de werking en de milieu-effecten van beschikbare en nog nieuw te ontwikkelen conditioneringsmiddelen, biedt de mogelijkheid van vergelijking en beter onderbouwde keuzen, maar kan ook sturend werken op toekomstige ontwikkelingen.

Het initiatief van een aantal grote industriële gebruikers van conditioneringsmiddelen om een testmethodiek en -opstelling te ontwikkelen, die de eigenschappen van conditioneringsmiddelen onderling vergelijkt, past in dit streven. Daarnaast speelt de vraag, zeker bij nieuw ontwikkelde conditioneringsmiddelen, wat de lange termijn effecten van lozing op het milieu zijn.

15. *Voorbehandelen koelwater*

Door in te nemen koelwater (beter) voor te behandelen, kan dit langer in circulatie kan worden gehouden, waardoor er uiteindelijk minder suppletiewater en minder conditioneringsmiddelen nodig zijn.

Onderzoek is gewenst naar behandelingsmethoden van in te nemen koelwater, de af te scheiden of toe te voegen stoffen en het effect daarvan op de vervuilingssnelheid en de suppletiebehoefte.

16. *Koelwaterzuivering*

Door reiniging van het circulerende water in open koelsystemen kunnen lozing en suppletie worden verminderd. Een alternatief is de spuistroom te reinigen, waardoor de emissie van verontreinigende stoffen wordt vermeden en (laagwaardig) hergebruik van water in principe mogelijk wordt.



Hiertoe kunnen scheidingstechnieken worden ontwikkeld die bijvoorbeeld door conditioneringsmiddelen in oplossing gehouden hardheidsafzettingen of andere vervuulende stoffen afscheiden. Ook kan een gerichte ontwikkeling van conditioneringsmiddelen worden nagestreefd, die eenvoudig af te scheiden of terug te winnen zijn. Gedacht kan worden aan middelen die zouten in het koelwater preferent binden, tot colloïdale deeltjes, en die vervolgens fysisch afscheiden. Zie ook bijlage 8 voor een verdere uitwerking van dit onderwerp.

#### 17. Monitoring koelwaterconditie

Naast monitoring van de optredende vervuiling, kan ook monitoring van de koelwaterconditie, i.e. monitoring van de conditioneringsmiddelen-concentratie of van een afgeleide grootheid die maatgevend is voor de werkzaamheid, gebruikt worden als regeling van de dosering van conditioneringsmiddelen.

Daartoe moeten sensoren, voor de monitoring van de conditioneringsmiddelenconcentratie of van een afgeleide grootheid, worden ontwikkeld. Enkele leveranciers van conditioneringsmiddelen hebben hiertoe reeds eigen ontwikkelde systemen op de markt gebracht die zijn gebaseerd op de meting van tracers (extra toevoegingen).

Daarnaast is er een duidelijke behoefte gesignaleerd aan het vaststellen van de samenstelling van effluentstromen, waarbij veelal lage concentraties gedetecteerd moeten worden. Meting van de volgende componenten/indices is wenselijk: biociden, AOX, TOC, gechloreerde koolwaterstoffen, desinfectiemiddelen, toxiciteit, enz. Zie ook bijlage 9 voor een verdere uitwerking.

Tabel 11 Algemene besparingsmogelijkheden op zoet grondwater bij gebruik als koelwater (bron: [13])

| Mogelijkheid                    | Waterbesparings-potentie | Kosten-inspanning | Milieu-effecten                           |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| Intern hergebruik               | +                        | ++                | ++ energiebesparing                       |
| Vervangen door zout grondwater  | ++                       | 0                 | - lozing zout water                       |
| Vervangen door oppervlaktewater | ++                       | +                 | 0                                         |
| Vervangen door oevergrondwater  | +                        | 0                 | 0                                         |
| Koeltoren                       | +                        | -                 | - geluidhinder, chemische verbranding     |
| Luchtkoeling                    | ++                       | -                 | - geluidhinder                            |
| Koelmachine                     | ++                       | --                | -- toename energie-verbruik, koelmiddelen |
| Koude-opslag                    | +                        | --                | ++ energiebesparing                       |



## 8 Prioritering gewenste ontwikkelingen

In hoofdstuk 7 zijn de mogelijke oplossingsrichtingen aangegeven ter beperking van de milieubelasting door koelwatersystemen, zoals die zijn afgeleid uit de interviews en de Workshop in het kader van de onderhavige studie.

De 'mogelijke oplossingsrichtingen' zullen leiden tot de reductie van de koelwaterbehoefte enerzijds en reductie van de milieubelasting van koelwatersystemen anderzijds. Aangezien het doel van de studie is om aan te geven welk onderzoek op het gebied van koelsystemen gewenst is om op termijn via technologische vernieuwingen tot een vermindering van de (integrale) milieubelasting door de betreffende processen te komen, is de nadruk gelegd op innovatieve oplossingsrichtingen.

Binnen de veelheid van 'mogelijke oplossingsrichtingen' kan de volgende indeling worden gemaakt:

- A. Oplossingsrichtingen die met de huidige stand der techniek implementeerbaar zijn.
- B. Oplossingsrichtingen die bij voorkeur verder ontwikkeld moeten worden door middel van toegepast onderzoek.
- C. Oplossingsrichtingen die verder ontwikkeld moeten worden door middel van fundamenteel onderzoek; ten dele zou dit in het IOP-Milieutechnologie uitgevoerd kunnen worden.

Binnen deze indeling kan een prioritering worden aangebracht op basis van de te verwachten milieuverdiensten van de betreffende oplossingsrichting, met name met betrekking tot a) de reductie van de koelwaterbehoefte en b) de lozingen van milieubelastende stoffen. In de twee kolommen achter de genoemde oplossingsrichtingen in tabel 12 is de beoordeling op beide criteria (reductie koelwatergebruik respectievelijk lozing 'schadelijke' conditioneringsmiddelen) opgenomen. De volgorde van de mogelijke oplossingsrichtingen, binnen de subgroepen A, B en C, representeert de uit genoemde criteria afgeleide prioritering. Bij deze prioriteitstelling hebben de inzichten van de deelnemers aan de workshop sterk meegeteld (zie de scores in bijlage 3).

De 'oplossingsrichtingen' worden slechts kort aangeduid. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

De primaire thema's van het IOP-Milieutechnologie, onderdeel Preventie, zijn innovatieve scheiding- en conversietechnieken voor microverontreinigingen (toegepast binnen procesgrenzen). Op basis van tabel 12 en deze criteria lijken met name koelwaterzuivering (met hergebruik van conditioneringsmiddelen en/of water) en fysische conditioneringsmethoden (FAK) in aanmerking te komen voor onderzoek in het genoemde IOP.



*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

*Tabel 12 Milieuverdiensten en prioritering van de in drie categorieën ondergebrachte oplossingsrichtingen*

|                                                                                            | Milieuverdienste <sup>1)</sup> |                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                            | Reductie koelwater             | Conditio-<br>nerings-<br>middelen |
| <b>A: State-of-the-art oplossingsrichtingen:</b>                                           |                                |                                   |
| 3. Hybride koeling                                                                         | ++                             | ++                                |
| 2. Integratie van koeling in procesontwerp                                                 | +                              | +                                 |
| 9. Vervuilingsongevoelige warmtewisselaar                                                  | 0                              | +                                 |
| <b>B: Oplossingsrichtingen via toegepast onderzoek:</b>                                    |                                |                                   |
| 15. Voorbehandelen koelwater                                                               | +                              | + / ++ <sup>2)</sup>              |
| 1. Beoordelingssystematiek koelsystemen ('meetlat')                                        | +                              | +                                 |
| 10. Reïnfiltratie van grondwater                                                           | +                              | + <sup>3)</sup>                   |
| 5. Materiaalontwikkeling, coatings                                                         | 0/+                            | +                                 |
| 8. Lekkagevrije warmtewisselaars                                                           | 0                              | +                                 |
| 7. Beslismodel onderhoud koelwatersystemen                                                 | 0/+                            | 0/+                               |
| 14. Werking (nieuwe) conditioneringsmiddelen                                               | 0                              | 0/+                               |
| <b>C: Oplossingsrichtingen via fundamenteel onderzoek:</b>                                 |                                |                                   |
| 16. Koelwaterzuivering                                                                     | +                              | + / ++                            |
| 4. Alternatieve productieprocessen                                                         | + / ++                         | + / ++                            |
| 11. Betere conditioneringsmiddelen                                                         | 0/+                            | + / ++                            |
| 12. Fysische methoden (FAK)                                                                | 0                              | +                                 |
| 13. Niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen (O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) | 0                              | +                                 |
| 17. Monitoring koelwaterconditie                                                           | 0                              | +                                 |
| 6. Monitoring vervuiling                                                                   | 0/+                            | 0/+                               |

<sup>1)</sup> Toelichting op milieuverdiensten van de oplossingsrichtingen:

- 0 geen invloed verwacht
- + beperkte positieve invloed verwacht
- ++ grote positieve invloed verwacht

<sup>2)</sup> Geen aandacht is gegeven aan het gebruik van hulpstoffen in en de reststoffen uit deze koelwatertoebereiding.

<sup>3)</sup> Er dient te worden gegarandeerd dat geen additieven of andere stoffen het grondwater kunnen bereiken.



## 9 Conclusies en aanbevelingen

Van het totale industriële waterverbruik wordt ca. 90% gebruikt ten behoeve van koeldoeleinden. Hiervan is bijna 5% afkomstig van bronnen en ruim 1% uit het leidingwaternet, de rest uit oppervlaktewater.

In de elektriciteitsopwekking worden in doorstroomsystemen zeer grote hoeveelheden oppervlaktewater gebruikt.

Betrouwbare gegevens over het verbruik van conditioneringsmiddelen zijn niet op landelijk niveau voorhanden. Ter indicatie gelden de volgende jaarverbruikcijfers:

- 300 ton biociden (exclusief chloor);
- ca. 1.300 ton actief chloor (i.e. hypochloriet);
- 1.500 ton overige conditioneringsmiddelen.

De niet-oxyderende biociden en 'overige conditioneringsmiddelen' worden voornamelijk gebruikt in open circulatiesystemen in concentraties tussen ca. 5 en 500 mg/l. De spui uit deze systemen wordt meestal ongezuiverd geloosd op riool of oppervlaktewater.

Ter vermindering van de emissies naar met name het oppervlaktewater zijn reeds veel technische mogelijkheden bekend en beschikbaar.

Deze zijn slechts ten dele geïmplementeerd, omdat de restrictieve maatregelen in recente vergunningen ten aanzien van het gebruik en lozing van (geconditioneerd) koelwater in de regelgeving nog steeds met relatief geringe aanpassingen kunnen worden doorgevoerd. Verder is koelwater nog relatief goedkoop en zijn er uiteenlopende technologische en praktische knelpunten te overwinnen bij overschakeling op andere systemen. Voor de komende jaren wordt een doorzettende trend naar reductie van koelwatergebruik, in het bijzonder grondwater, verwacht.

In deze studie is een aantal knelpunten en probleemvelden aangegeven, die een milieutechnische optimalisatie van koel(water)systemen tegenwerkt.

Voor vele geldt eveneens dat nu reeds technologische oplossingen beschikbaar zijn. Daarnaast wordt verwacht dat door middel van onderzoek en ontwikkelingswerk nieuwe 'oplossingsrichtingen' operationeel kunnen worden gemaakt.

Deze mogelijke oplossingsrichtingen zullen leiden tot de reductie van de koelwaterbehoefte enerzijds en reductie van de milieubelasting door koelwatersystemen anderzijds.

De mogelijke oplossingsrichtingen die in het kader van het IOP-milieuprogramma, onderdeel Preventie, uitgewerkt zouden kunnen worden, betreffen:

- Koelwaterzuivering (met hergebruik).
- Fysische conditioneringsmethoden (FAK).

Andere onderwerpen zijn weliswaar interessant voor reductie van de milieubelasting, maar lijken minder goed te passen binnen de huidige IOP-omschrijving. In dit verband kunnen worden genoemd:

- alternatieve productieprocessen (niet-thermische scheidings- en conversietechnieken);
- betere conditioneringsmiddelen (bijvoorbeeld niet-chloorhoudende oxydatiemiddelen) en hun werking/effecten;
- monitoringsystemen (koelwaterconditie en vervuiling);
- voorbehandelen koelwater;
- beoordelingssystematiek koelsystemen.



## 10 Referenties

- [1] J.W. Assink; Industriële koelsystemen: milieu-aspecten en kosten; RIZA-notanummer 92.005 (augustus 1991).
- [2] ASHREA Handbook, 1983 Equipment volume; American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Inc.; Atlanta, USA 1983.
- [3] Perry's Chemical Engineers Handbook, 6th Ed, McGraw-Hill Publ. 1984.
- [4] Ullmann's Encyklopädie der technischen Chemie, 4. Auflage; Verlag Chemie, Weinheim, 1978.
- [5] E.D.D. During; De juiste waterbehandeling op de juiste plaats, III: de waterbehandeling voor koelwatersystemen; Krachtwerktuigen, circulaire nr 144, 1980.
- [6] J.M. Coulson, J.F. Richardson; Chemical engineering, vol 1: Fluid flow, heat transfer and mass transfer; Pergamon Press (1987).
- [7] Koelwater in de industrie; Papers van het Tweede Benelux Koelwatersymposium; 9-10 oktober 1991, Antwerpen ?
- [8] The Nalco Water Handbook, 2nd Ed; F.N. Kemmer (Ed); McGraw-Hill Book Compagny, 1988.
- [9] N.N.; Incline filters clear cooling-tower contamination; Chemical Engineering, November 1990, p 195-196.
- [10] W.F. Stoecker; Industrial refrigeration; Business News Publishing Compagny; Troy. Michigan, USA; 1988.
- [11] Webci/Wubo-prijzenboekje, 13e editie, Nederlandse Stichting voor Kostentechniek DACE, 1988.
- [12] N.N. Taschenbuch für Heizung und Klima Technik; Recknagel Sprenger.
- [13] F.C.A. Cattoir et al; Onderzoek industrieel watergebruik (eindrapportage); Krachtwerktuigen (510590.1607-IN/FC/kl), januari 1992.
- [14] R.J. Visser, R.J.H. Merks; Seisoenopslag van koude: techniek, toepassing en economie; Novem-rapport nr 320007, november 1988.
- [15] Ellen Brandt; Bright future for biocides. Chem. Engng. 99, 10, 57-59 (1992).
- [16] R. Burger; Colder cooling water pays off, Chem. Engng. 98, 3, 177-182 (1991).



---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

- [17] C.B.S.; Watervoorziening bedrijven 1986, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, 1988.
- [18] J.G. Knudsen; Conquer cooling-water fouling; Chem. Engng. Progress; april 1991, 42-48.
- [19] J.T. Echols, S.T. Mayne; Cooling-water cleanup by ozone; Chem. Engng. 97, 5, 163-167 (1990).
- [20] S. Farooq, M. Misbahuddin; Activated carbon adsorption and ozone treatment of a petrochemical wastewater; Environmental Technology, 12, 147-159 (1991).
- [21] F.B.J. Koops; Gevolgen van energievoorziening voor de waterkringloop, H<sub>2</sub>O, 22, 36, 796-799 (1989).
- [22] E.K.G. Faber et al.; Inventarisatie van het gebruik van bestrijdingsmiddelen in de Nederlandse industrie; TNO rapport 02253/8717-3577/MTZ (juni 1981).
- [23] L.P. Ham, J. Risselada; Koel- en ketelwatertoevoegingen: hoe gaat RIZA hiermee om?; intern RIZA-document 91.163X (november 1991).
- [24] H.E. Sweers; Overheidsnota's in verband met koelwaterlozingen; Elektrotechniek 63, 1, 57-65 (1985).
- [25] N.N.; Milieu-aspecten van het huishoudelijk gebruik van actief-chloorverbindingen; Overleggroep Deskundigen Wasmiddelen-Milieu (Zeist); Notanr 2 (juni 1989).
- [26] R.G. Rice, J.F. Wilkes; Fundamental aspects of ozone chemistry in recirculating cooling water systems - Data evaluation needs; Ozone Science & Engineering, 14, 4, 329-365 (1992).
- [27] W.F.J.M. Engelhard et al.; Inventarisatie halogeenkoolwaterstoffen in Nederland (werkdokument); RIVM-rapport 738608002 (maart 1988).
- [28] E.D.D. During; Fysische waterbehandeling werkt!; PT PolyTechnisch tijdschrift, Procestechniek, 46, 9, 44-47 (1991).
- [29] E.D.D. During; Onderzoek bewijst effectiviteit van fysische waterbehandeling; PT PolyTechnisch tijdschrift, Procestechniek, 46, 10, 38-42 (1991).
- [30] R. Burger; Cooling towers; Chem. Engng, 100, 5, 100-104 (1993).



## 11 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Senter

Postbus 30732

2500 GS 's-Gravenhage

Namen en functies van de medewerkers

Ir. J.W. Assink - wetenschappelijk research medewerker, afd. Milieutechnologie

Ir. H.C. van Deventer - werkgroep leider, afdeling Warmte- en koudetechnologie

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

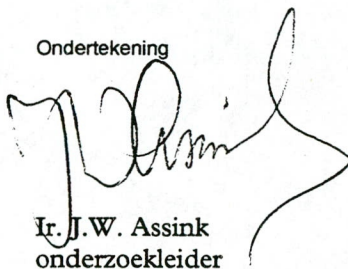
TU-Delft, Laboratorium Apparatenbouw Procesindustrie

(Prof.dr.ir. G.M. van Rosmalen)

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

mei 1992 - april 1993

Ondertekening



Ir. J.W. Assink  
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ing. H.J. van Veen  
werkgroep leider



## **Bijlage 1    Samenvattingen van interviews**

### **Interview met Ir. G.N. van Ingen en Ir. P.C. Westen (AKZO-AMC) d.d. 31 januari 1992**

De geïnterviewden zien als algemene trends op koelwatergebied:

- Doorstroomsystemen zullen verdwijnen.
- De thermische belasting van de omgeving moet worden beperkt.
- De milieubelasting van de omgeving moet worden beperkt.

Algemene inzichten:

- Het optimaliseren van koelwatercircuits middels regeling van koelwaterstromen verhoogt de kans op corrosie en vervuiling.
- Hoewel koelwater als een belangrijke processtroom is te kenschetsen, is er in het algemeen weinig aandacht voor ontwerp, onderhoud en bedrijfsvoering van koelsystemen. Investerings- en onderhoudskosten staan vaak onder druk.
- Voor koeling boven ca. 60 °C wordt veelal gewerkt met luchtkoeling, onder ca. 60 °C is koeling met water gebruikelijk.
- Corrosie en vervuiling van koelsystemen, en daarmee de levensduur, zijn sterk materiaalafhankelijk. Door de juiste keuze van materialen, eventueel coatings, kunnen de 'life-cycle costs' worden geminimaliseerd.
- Constructeurs zijn weinig vertrouwd met de corrosieproblematiek. Meer in algemene zin kan worden opgemerkt dat reeds zeer veel kennis en informatie voorhanden is, maar niet op de juiste plaats.

De volgende aspecten zouden in het kader van het IOP-milieutechniek, onderdeel Preventie, nadere aandacht verdienen:

- Er is behoefte aan een 'meetlat', waarmee alternatieve koelsystemen vergeleken kunnen worden, rekening houdend met onder meer milieubelasting, energiegebruiken, investerings- en andere kosten.
- Ontwikkelen van een methodiek voor de materiaalkeuze van koel(water)systemen (te baseren op integrale kosten).
- Koelsystemen verdergaand integreren in het procesontwerp (betere procesbeheersing).

**Interview met Ir. J.W.E.M. Meijer (Krachtwerktuigen) d.d. 11 juni 1992**

Volgens Meijer zijn de belangrijkste milieuthema's:

- a. Het gebruik van grondwater (bijna 50% wordt voor koeldoeleinden ingezet); in het bijzonder zouden laagwaardige toepassingen, zoals doorstroomkoeling, moeten verdwijnen.
- b. Het gebruik van milieubelastende additieven.
- c. De zoutlast in de spui van circulatiekoelsystemen.
- d. Geluidshinder en visuele hinder (pluimvorming). Ook kunnen in principe met de aerosolen in de pluim ziektekiemen worden verspreid (*Legionella*).
- e. Freonen als koelmiddel.

ad a.

Grondwater is een koelmedium met een lage temperatuur dat zich niet altijd zonder meer laat vervangen. Vervanging gaat onder andere gepaard met hoge investeringen/kosten en een hoger energieverbruik. De vraag is hoe de verschillende alternatieven op een rationele manier kunnen worden vergeleken.

Via NOVEM is reeds veel onderzoek gedaan naar koude-opslag in de bodem; in bepaalde situaties is dit zeker aantrekkelijk.

ad b.

NACE (USA) is bezig met het ontwikkelen van nieuwe koelwateradditieven. Overigens komen nieuwe ontwikkelingen op dit punt vrijwel uitsluitend uit de USA. Hardheidsafzettingen blijken goed te kunnen worden bestreden met FAK, hoewel het effect niet op voorhand vaststaat. Ook zou men andere fysische methoden kunnen overwegen (mechanisch?). FAK wordt momenteel hoofdzakelijk in warmtapwatersystemen gebruikt; in grote koelwatersystemen durft men dit nog niet aan vanwege het risico op down-time. Meer fundamenteel onderzoek is gewenst.

ad c.

Alternatieven voor de nog veel toegepaste ionenwisselaars (en de concentraatstromen daaruit) zouden vaker overwogen moeten worden.

ad d.

De gezondheidsraad en RIVM hebben een rapport uitgebracht over de *Legionella*-problematiek.

ad e.

Er zijn reeds diverse alternatieven ontwikkeld of in ontwikkeling. De toepassing ervan in bestaande systemen is evenwel een technisch probleem.

Verder signaleert Meijer dat:

- Provincies bij hun vergunningverlening steeds striktere voorwaarden oplegt.
- De energieniveaus van verschillende processtappen in de wat kleinere bedrijven vaak nog niet onderling zijn afgestemd; motieven hiervoor zijn de gewenste onafhankelijkheid van deelprocessen (niet-volcontinue processen) en de hoge investeringen.
- In enkele industriële gebieden het gebruik van leidingwater met een B-kwaliteit aantrekkelijk zou kunnen zijn. Gebruik van dit water voor koeldoeleinden is nauwelijks onderzocht.



*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

Suggesties voor oplossingsrichtingen en onderzoek zijn:

- Een 'meetlat' ontwikkelen voor de milieu- en energie-effecten van alternatieve koelsystemen.
- FAK beter leren begrijpen, zodat toepassing kansrijker wordt.
- De mogelijkheden voor koude-opslag in de bodem benutten.
- Waar mogelijk water van een lagere kwaliteit benutten.
- Reële eisen stellen aan proceswaterkwaliteit. Hergebruik van koelwater in productieprocessen kan soms worden overwogen, maar hier geldt als belemmering dat de minimale kwaliteitseisen voor proceswater vaak niet bekend zijn. Men kiest dan veiligheidshalve voor schoon bron- of leidingwater.

Het separaat zuiveren van spuiwater uit koelsystemen vindt Meijer tamelijk ver gezocht.

**Interview met Ing. T. Mathu (IPL-TNO, Apeldoorn) d.d. 12 augustus 1992**

De heer Mathu heeft vanuit zijn huidige en eerdere werkervaringen (onder andere bedrijfsadvisering) een goed overzicht van de metaalverwerkende bedrijven in Nederland. Er is gesproken over het (koel)watergebruik en de (koel)waterproblematiek, binnen genoemde sector.

Koelwater wordt in de metaalbedrijven benut bij:

- weerstandslasmachines;
- verspanende machines;
- snij- en zaagmachines.

Daarnaast wordt water gebruikt voor:

- afpersen tanks en vaten (bronwater);
- reinigen van metaalplaat voor en na oppervlaktebewerkingen;
- waterbakken onder laser- en plasma-snijmachines;
- waterafdukbare verven;
- watergordijnen bij straal- en verfspuitcabines;
- vullen koelsystemen van schepen;
- hydraulieksystemen (toenemend).

De (koel)waterverbruiken zijn relatief laag.

De geïnterviewde ziet als algemene trends:

- in verband met het vermijden van vervuilingproblemen kiest men vrijwel steeds voor leidingwater, ondanks de kosten;
- doorstroomsystemen komen voor, bijvoorbeeld bij lasmachines, maar verdwijnen geleidelijk;
- steeds vaker wordt met gesloten (koel)watersystemen gewerkt, waarbij het gebruikte water in bakken wordt opgevangen en slechts periodiek wordt vervangen;
- de (koel)watertemperatuur is zelden kritisch. Een gesloten systeem met opvangbak zorgt reeds voor voldoende natuurlijke afkoeling;
- door produktieverhoging (robots) neemt de warmteproduktie per tijdseenheid toe, waardoor in de betreffende unit meer koelwater gebruikt gaat worden;
- de relatief geringe hoeveelheden af te voeren water kunnen sterk vervuild zijn, bijvoorbeeld spoelwater bij oppervlaktebewerkingen;
- de lozingskosten nemen sterk toe, waardoor steeds vaker wordt overgegaan op verzamelsystemen met bezinkbakken.

De volgende aspecten zouden in het kader van het IOP-milieu programma nadere aandacht verdienen:

- onderzoek naar de minimaal benodigde (koel)waterkwaliteit;
- reiniging van circulerend water, waardoor minder frequent vervanging (en lozing) nodig is.



**Interview met Ing. J.T.G. Savelkoul (DSM Research) d.d. 21 augustus 1992**

Binnen het DSM-concern is veel aandacht voor de koelwaterproblematiek, hetgeen onder andere tot uiting komt in de uitvoering het NCC-koelwaterproject, dat bij DSM is ondergebracht. De koelwaterdeskundigheid is momenteel geconcentreerd binnen de Sektie Mechanical Plant Services.

DSM betreft al haar koel- en proceswater via het Juliana-kanaal uit de Maas. Na een voorreiniging (flocculatie) wordt ca. 4000 m<sup>3</sup>/h gebruikt als suppletiewater voor de koeltorens. De te onderscheiden processen hebben veelal eigen koelsystemen met koeltoren, in totaal ca. 50. De belangrijkste koelwatergebruikers zijn warmtewisselaars (algemeen), compressoren en turbinecondensoren. Indikkingsfactoren van 1,5 à 5 treden op, mede afhankelijk van de Maaswater-kwaliteit op dat moment ([Cl<sup>-</sup>]). Doorstroomkoelsystemen komen niet voor, tenzij in combinatie met hergebruik. De conditionering van het koelwater gebeurt volgens eigen recepturen waarmee de vervuiling- en corrosieproblematiek volledig onder controle wordt gehouden. DSM is permanent bezig met het verminderen van de milieubelasting door koelwateradditieven hetgeen tot een geleidelijke vermindering leidt, in het bijzonder richt men zich op metaal- en fosfaatvervangers. Het conditioneringsmiddelenverbruik bedraagt ca. 25 à 50 mg actieve stof per m<sup>3</sup> spui.

Algemene inzichten van de geïnterviewde in de koelwaterproblematiek:

- Bij (verplicht) afzien van bepaalde additieven moet telkens een nieuwe samenstelling worden beproefd en treden in de praktijk regelmatig problemen op.
- Additieven moeten niet alleen onder laboratorium- en ontwerpcondities goed functioneren, maar ook onder de in de praktijk vaak wisselende omstandigheden.
- Slecht werkende koelwaterconditionering leidt tot storingen in de procesvoering die veelal extra milieubelasting en energieverbruik tot gevolg heeft.
- Koelwaterconditionering is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden.
- Hoewel hierdoor de werking van conditioneringsmiddelen praktisch onvoorspelbaar is, is er wel behoefte aan een vergelijkende effectbepaling en aan het vaststellen van de parameters die de werking bepalen.
- Veel chemicaliën-leveranciers, veelal uit de USA en soms ook Duitsland, brengen niet uitontwikkelde en niet voldoende geteste producten op de markt.
- Bij vervanging van milieubelastende additieven zou het noodzakelijk moeten zijn de (lange termijn) effecten van deze nieuwe additieven te kennen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de 'all-organic'- en bromide-houdende middelen.
- Luchtkoeling wordt toegepast, onder andere als onvoldoende koelwater beschikbaar is. Hierbij treden problemen op met betrekking tot geluidsoverlast, ruimtebeslag en hoge investeringen.
- Deskundigheid op koelwaterconditioneringsgebied is binnen Nederland/Europa beperkt aanwezig, en niet bij onafhankelijke instituten.
- De wijze van opstarten van koelwatersystemen is van grote invloed op de corrosie-inhibitie.
- In de praktijk worden vaak de goedkoopste constructiematerialen gekozen die nog nèt aan de (procestechnische) eisen voldoen.

De geïnterviewde ziet als algemene trends op koelwatergebied:

- zinkhoudende additieven worden vervangen door bijvoorbeeld 'all organics';
- bij vervanging van milieubelastende additieven wordt onvoldoende rekening gehouden met de (lange termijn) effecten van de vervangende additieven;

---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

- een ontwikkeling waarbij uiteindelijk via het koelwater niets meer geloosd mag worden: de zogenaamde 'zero-discharge' Dit kan bijvoorbeeld door nog verder in te dikken en vervolgens de spui te reinigen.

De volgende aspecten zouden in het kader van het IOP-milieu programma nadere aandacht verdienen:

- ontwikkeling van 'ideale' koelwaterconditioneringsmiddelen of -methoden;
- onderzoek naar de lange termijn effecten van 'all organic'-additieven;
- de werking van (nieuw ontwikkelde) additieven volgens een gestandaardiseerde testmethode vaststellen;
- fysische methoden verdienen nader onderzoek naar de werkingsprincipes en de toepassingsgrenzen;
- nader onderzoek naar de (vermeende) giftigheid van zink is gewenst;
- ozon als additief verdient nader onderzoek.



**Interview met Ir. M.R.M. Gehéniau (Unilever Research)**  
**d.d. 31 augustus 1992**

Binnen het Unilever-concern zijn veel processen aanwezig waaraan (produkt)koeling te pas komt. Dit betreft voornamelijk mechanische koeling ten behoeve van koelen, invriezen en gekoelde opslag van bijvoorbeeld ijs, vlees, margarine. De kosten voor koeling bedragen 1,5 à 2,5% van de kostprijs van de produkten. Een probleemloze werking heeft veelal prioriteit boven minimalisatie van kosten, waterverbruik, etc.

Koelwaterverbruik treedt op bij het koelen van condensors (verdampingscondensors en shell & tube ww) en bij natte wassers, en is over het algemeen beperkt van omvang. Indien doorstroomkoeling wordt toegepast betreft dit oppervlaktewater. Voor circulatiesystemen wordt veelal leidingswater ingezet. Bronwater wordt slechts beperkt benut en geleidelijk verder teruggedrongen. Gedetailleerde gegevens over de koelwatersituatie en het koelwaterverbruik zijn bij de individuele Unilever-bedrijven beschikbaar.

Belangrijke bronnen van waterverontreiniging, bijvoorbeeld rechtstreekse condensatie bij het desodoriseren van oliën, wordt vermeden door onder meer het inzetten van mechanische koelers.

Voor koeltoren-water worden systemen van waterbehandelingsfirma's toegepast (de waterbehandelingsprogramma's verschillen per vestiging). Er worden in het algemeen polyfosfaten en biociden gebruikt. Uitgangspunten zijn het vermijden van aanslag en het afdoden van bacteriën in verband met de vereiste hygiëne en gezondheidsrisico's. Soms wordt in kritische situaties biologische vervuiling bestreden met Ultraviolet-bestraling.

De indikkingsfactoren zijn bij koeltorens maximaal ca. 2,5.

Hergebruik van proces- of koelwater ligt gevoelig in verband met contaminatiegevaar. Binnen Unilever is het beleid inzake koelsystemen primair gebaseerd op financieel-economische randvoorwaarden. Betrouwbaarheid en levensduur van systemen is daarbij belangrijk.

Voor proceswater wordt vrijwel uitsluitend leidingwater benut. Soms wordt dit water na gebruik en reiniging hergebruikt, maar in verband met contaminatiegevaar is men hier terughoudend mee.

De geïnterviewde ziet als algemene trends op koel(water)gebied:

- bij de ontwikkeling van nieuwe processen moeten ook de utilities, zoals koelwater, geïntegreerd worden beschouwd;
- indien technisch-economisch aantrekkelijk, wordt absorptiekoeling bij voldoende warmteoverschot toegepast;
- het ontdooien van luchtkoelers kost veel energie. Mogelijk dat door gladde coatings en/of hoge luchtsnelheden over de koeler vermindering van de ijsafzetting kan worden bereikt.

De volgende aspecten zouden in het kader van het IOP-milieu onderzoeksprogramma nadere aandacht verdienen:

- de ontwikkeling van corrosie-vaste materialen of coatings voor warmtewisselaars waardoor warmtewisselaars die minder corroderen en vervuilen, minder duur zijn en daardoor eerder worden toegepast;
- vermindering van de ijsafzetting in luchtkoelers door de ontwikkeling van gladde coatings die in combinatie met hoge snelheden van de koellucht;

---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

- de opwekking van koude kan mogelijk in de toekomst volgens andere principes plaatsvinden (het Eckard-Keller principe);
- filtering van media waardoor erosie in warmtewisselaars afneemt;
- de ontwikkeling van materialen en/of coatings waarop kalk niet hecht;
- fysische conditioneringsmethoden verdienen nader onderzoek naar de werkingsprincipes en de toepassingsgrenzen;
- bij milieuverbeterende maatregelen zou een integrale afweging tussen emissies naar water, lucht en energieverbruik moeten worden gemaakt;
- verdere verbetering van de energie-efficiency bij koudeopwekking.



**Interview met Dr.ir. D. Schmal (IMW-TNO) d.d. 31 augustus 1992**

Schmal is werkgroep leider van Elektrochemie. Naar zijn mening hoeven biociden op basis van chloor niet tot een bijzondere belasting van het milieu te leiden, mits correct toegepast (geen overmaat, balans tussen Na en Cl, juiste pH).

Een studie naar de verschillende mogelijke oxydantia (als biocide), hun werking/effektiviteit en effecten zou zinvol kunnen zijn, omdat oxydantia over het algemeen een beperkter milieu-effect zouden kunnen hebben dan organische biociden. Eventueel kunnen in een dergelijke studie ook andere systemen worden meegenomen (bijvoorbeeld all organics, hoog zoutgehalte?). Er kan dan tot een ranking worden gekomen van de meest aantrekkelijke alternatieven.

In diverse toepassingsgebieden, zoals privé-zwembaden, worden oxydantia in-situ, dat wil zeggen elektrochemisch gegenereerd. Mogelijk is dit ook een interessante optie voor kleine koelssystemen. Wel zijn nog de nodige ontwikkelingen nodig met betrekking tot elektrodematerialen, reactordimensionering en eventueel sensoren/regelgeving.

**Interview met Ir. J. Kooijman (IGG-TNO) d.d. 31 augustus 1992**

De huidige verdroging van hoger gelegen gebieden in Nederland is grotendeels het gevolg van ruilverkavelingsprojecten (verbeterde drainage, verdiepte sloten etc.). Daarnaast is een effect merkbaar van grondwateronttrekkingen op grote diepte: elders in de regio kan de natuurlijke kwel door deze onttrekkingen wegvallen. Soms wordt dit effect 'gecompenseerd' door zijdelingse toestroming van freatisch grondwater, waarin relatief hoge concentraties verontreinigingen voorkomen. Verdroging is in het algemeen een regionaal probleem dat het beste op Provinciaal niveau kan worden aangepakt.

Op zichzelf beschouwd is het neerslagoverschot (ca.  $10^{10}$  m<sup>3</sup>/jaar) veel groter dan het verbruik aan grondwater. Het probleem rond grondwatergebruik door bedrijven spits zich voornamelijk toe op de gewenste kwaliteit. Vrijwel alle bronnen gebruiken diep grondwater van een relatief goede kwaliteit. Het freatisch water is in het algemeen van een slechte of matige kwaliteit c.q. verontreinigd. Door de onttrekkingen wordt het diepere grondwater geleidelijk verontreinigd met freatisch water of zout water van onderliggende pakketten; dit is voor de overheid onaanvaardbaar.

Om de verdroging te beperken zijn de volgende oplossingsrichtingen denkbaar:

- Koelwater onttrekken en weer (schoon) infiltreren. Daarbij is het noodzakelijk over een uitstekend monitorsysteem te beschikken, zodat bij eventuele contaminatie van het water de infiltratie onmiddellijk kan worden gestopt.
- Grondwater van een mindere kwaliteit gebruiken voor koeldoeleinden (of andere 'laagwaardige' toepassingen), zoals freatisch of brak/zout grondwater.
- Koelwater uit andere bronnen gebruiken (bijvoorbeeld oppervlaktewater) en dit eventueel na gebruik infiltreren<sup>1)</sup>.
- Industriële benutting van water dat momenteel door de goede drainagevoorzieningen snel wordt afgevoerd (of buffers op regionaal niveau creëren).

Meer in algemene zin zou het wenselijk zijn een analyse te maken van de 'waterkringloop' en deze te screenen op belangrijke momenten voor mogelijk hergebruik.

<sup>1)</sup> Het zelfreinigend vermogen van de bodem is voor anorganische componenten gelimiteerd. Bepalend voor bijvoorbeeld het denitrificatievermogen is de hoeveelheid gemakkelijk te oxyderen materiaal, zoals pyriet. Dit soort aspecten zou bij een mogelijke infiltratie in acht moeten worden genomen.  
Het effect van een thermische belasting van de ondergrond is te verwaarlozen. Wel zou je bij ondergrondse opslag van koude of warmte er om economische redenen naar moeten streven de warmte of koude zoveel mogelijk bijeen te houden.



**Interview met Prof.dr.ir. G.M. van Rosmalen d.d. 28 juli en 18 september 1992**

Vanuit een procestechnologische en praktijkgerichte benadering is mevrouw Van Rosmalen reeds jaren betrokken bij problemen en ontwikkelingen op het gebied van koelwater en koelwateradditieven. Op het gebied van scaling en anti-scaling-maatregelen zijn door middel van (promotie)onderzoeken fundamentele inzichten opgebouwd.

*Algemene inzichten van de geïnterviewde in de koelwaterproblematiek:*

- De grote bedrijven hebben reeds veel gedaan met betrekking tot de optimalisatie van het energieverbruik; bij kleine en middelgrote bedrijven is dit in het algemeen niet het geval.
- Een 'verbod' op lozing van fosfaten zal een verschuiving naar andere middelen (zeolieten, polyacrylaten) veroorzaken, die eveneens een zekere en deels onbekende milieubelasting veroorzaken. Rond 1984 waarschuwde TNO-Rijswijk hier al tegen in verband met de wasmiddelenproblematiek.
- In de praktijk ontstaan vaak problemen in koelwatercircuits als gevolg van het feit dat een te groot temperatuurverschil over de warmtewisselaars wordt gekozen<sup>1)</sup>.
- Verlaging van de koellast van processen heeft direct effect op het koelwaterverbruik en daarmee op de milieubelasting.
- Chemicaliën-leveranciers zijn over het algemeen 'blenders', die een beperkte fundamentele kennis van de achterliggende fysische en chemische processen van koelwaterconditionering bezitten en weinig aan ontwikkeling doen.
- Additieven moeten relatief goedkoop zijn om op prijs te kunnen concurreren. Mede hierdoor vinden op dit gebied weinig fundamentele ontwikkelingen plaats en wordt opgebouwde kennis nauwelijks toegepast.
- Er is meer kennis aanwezig bij universiteiten, onder andere over 'molecular modeling', die bij de ontwikkeling van betere additieven inzetbaar zou zijn, dan thans wordt benut.
- De (lange termijn) effecten van nieuwe conditioneringsmiddelen zoals 'all-organics' op het milieu zijn onvoldoende bekend.
- Bij veel bedrijven doseert men liever te veel, dan het risico te lopen van vervuiling. Monitoren van de vervuiling en/of de additieven-concentratie en daarop gebaseerd kritisch doseren van conditioneringsmiddelen, komt nog weinig voor.
- Europese universiteiten bezitten, ook in relatie tot universiteiten in de VS, voldoende relevante kennis om ontwikkelingen op het gebied van koelwaterconditionering te trekken. Binnen Nederland zijn er echter nauwelijks vakgroepen aan te wijzen die gericht onderzoek aan koelwatersystemen uitvoeren. In de toepassingssfeer is er operationele kennis bij Krachtwerktuigen en KEMA.
- In de off-shore doen zich specifieke problemen voor met BaSO<sub>4</sub>-scaling; dit materiaal vertoont een lichte radio-activiteit.

De volgende aspecten zouden in het kader van het IOP-milieutechnologie nadere aandacht verdienen:

- ontwikkeling van betere koelwaterconditioneringsmiddelen of -methoden, waarbij recent verworven fundamentele inzichten, bijvoorbeeld op het gebied van 'molecular modeling', worden ingezet;
- de ontwikkeling van additieven die zouten in het koelwater preferent binden, tot colloïdale deeltjes, en die vervolgens fysisch afscheiden;

<sup>1)</sup> Een groot temperatuurverschil reduceert daarenegen de koelwaterbehoefte.

---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

- biologische vervuiling kan bestreden worden door hydraulische maatregelen, dimensionering leidingen, warmtewisselaars, enz.;
- beïnvloeding van nucleatieprocessen en/of de groei van afzettingen via:
  - a. chemische methoden;
  - b. fysische methoden, FAK, verdienen nader onderzoek naar de werkingsprincipes en de toepassingsgrenzen. Van Rosmalen heeft vertrouwen in de potentie van FAK, maar experimenteel onderzoek gaf tot nu toe wisselende resultaten te zien. Zij suggereert dat de zuiverheid van oplossingen in laboratorium-experimenten de werking beïnvloedt;
- ozon en waterstofperoxyde als biocide verdienen nader onderzoek, waarbij het oxyderende effect van deze middelen op bijvoorbeeld polymeren moet worden meebeschouwd.



**Interview met Dr. A. Pritchard (Harwell, UK) en Dr. N. Glen  
(NEL, Glasgow) d.d. 28 september 1992**

Naar het inzicht van de geïnterviewden wordt het koelwatergebruik in de UK nauwelijks als probleem onderkend. Voor zover bekend worden er geen ontwikkelingen gepleegd op het gebied van de ontwikkeling van conditioneringsmiddelen. Volgens geïnterviewden kan hierin verbetering worden gebracht door aan de koelwater-, de koelwateradditieven- en de koelwatervervuilingsproblematiek in technische opleidingen meer aandacht te besteden.

Naar FAK is bij Harwell onderzoek verricht met negatief resultaat. Van de zin van nader onderzoek is Pritchard niet overtuigd.

Ca. 3 jaar geleden is een inventariserende studie afgerond naar additievegebruik in de UK.

Ook in de UK loopt een initiatief om te komen tot vergelijkende tests van koelwateradditieven, vergelijkbaar met het NCC-initiatief van Savelkoul c.s. Samenwerking UK - Nederland wordt in deze zinvol geacht.

Beide geïnterviewden zijn betrokken bij onderzoek naar vervuiling van warmtewisselaar en het effect daarvan op warmteoverdrachts-coëfficiënt (Rf). Naar hun mening moet worden gestreefd naar uitbreiding van kennis en empirische relaties betreffende de Rf-waarden van vervuilde warmtewisselaars van veel voorkomende typen. Ook verdient het aanbeveling om in procesintegratie software vervuiling van warmtewisselaars in te bouwen.

Het volgende aspect zou in het kader van het IOP-milieutechnologie nadere aandacht verdienen, waarbij de voorkeur van geïnterviewden uitgaat naar samenwerking tussen Nederland en de UK:

- de ontwikkeling van (sensoren voor) monitoring van de vervuiling teneinde daarmee de dosering van conditioneringsmiddelen te regelen.

## **Bijlage 2    Workshop 'reductie milieu-effecten koelwatersystemen door innovatie'**

gehouden op woensdagmiddag 28 oktober 1992 bij  
IMET-TNO te Apeldoorn

### **Lijst van deelnemers**

- K.J. Baas, Aqua Chemie, Den Haag
- Ing. F. van Baardwijk, RIZA, Lelystad
- M.G.M. Boelaars, Nederlands Corrosie Centrum, Bilthoven
- Ing. A.J.M. Gorissen, Curtec Nederland B.V., Rijen
- T.F. Huber, IWACO, Den Bosch
- J.W. van den Herberg, RCL, Heerenveen
- Dr.ir. J. Hiddink, NIZO-Milieudienst, Ede
- A.I. van Hoorn, Hoogovens, IJmuiden
- Drs. H.A. Jenner, KEMA N.V., Arnhem
- R. Knol, Dow Benelux, Terneuzen
- Ir. F.H.M.M. Langen, Comprimo B.V., Amsterdam
- Ir. J.E.W.M. Meijer, Krachtwerktuigen, Amersfoort
- J.H. Moorman, Berghuizer Papierfabriek, Wapenveld
- S.J. Mulder, Milfac B.V., Leeuwarden
- Ir. A. Punter, Instituut voor Produktie en Logistiek TNO (IPL), Apeldoorn
- Prof.dr.ir. G.M. van Rosmalen, Technische Universiteit Delft
- J.T.G. Savelkoul, DSM Research, Geleen
- H.E. Schirmer, Nalco Chemical B.V., Tilburg
- L.H. Teunissen, Aqua Cleaning B.V., Uitgeest
- Prof.ir. H. van Veen, Rijksuniversiteit Groningen
- Drs. H.W. Venderbosch, KEMA N.V., Arnhem
- Drs. K.M. Wouterse, STiPT, Den Haag
- Ir. J.W. Assink, IMET-TNO, Apeldoorn
- Ir H.C. van Deventer, IMET-TNO, Apeldoorn

- Noot: het bleek niet mogelijk, mede door de geringe aansluiting met hun vakgebied en/of verplichtingen elders, meer vertegenwoordigers van universiteiten aanwezig te laten zijn, ondanks intensieve pogingen van de zijde van de organisatoren.

### **Doel workshop**

Het toetsen van achtergrondinformatie ten aanzien van de milieubelasting van koel-systemen c.q. koelwatersystemen en de mogelijkheden om deze belasting te verminderen. Daarnaast wordt uitdrukkelijk gestreefd naar het genereren van nieuwe ideeën voor vermindering van de milieubelasting en het aanbrengen van een prioritering in gewenst onderzoek (vooral innovatief of fundamenteel onderzoek).



## **Programma**

### **\* Inleidingen**

Opening door de dagvoorzitter

Toelichting op de gang van zaken en het doel van de bijeenkomst

— Prof. C.C. Alberts (Commercial Business Support)

Toelichting op de activiteiten van STIPT en het IOP-programma Milieutechnologie

— Drs. K.M. Wouterse (STIPT)

Milieubelasting door koelsystemen en ontwikkelingen in het overheidsbeleid

— Ing. F. van Baardwijk (RIZA)

Aanpak studie

— Ir. J.W. Assink (IMET-TNO, afdeling Milieutechnologie)

Mogelijke oplossingsrichtingen

— Ir. H.C. van Deventer (IMET-TNO, afdeling Warmte- en Koudetechniek)

### **\* Invullen scoreformulier**

### **\* Discussie in 2 groepen met verschillende thema's**

a. *Vermindering koelwaterbehoefte en thermische belasting;*  
via alternatieve processen/apparaten, alternatieve koelsystemen, energiebesparing/  
warmteterugwinning etc.

b. *Waterbehandeling en -hergebruik;*  
waterconditionering en de alternatieven, nieuwe middelen, waterkwaliteit, deel-  
stroom- en eindzuivering, hergebruikopties

### **\* Plenaire terugmelding resultaten en discussie**

### **Verslag Workshop 'Reductie milieubelasting van koelwatersystemen door innovatie'**

Na de opening door de dagvoorzitter, die het programma en het doel van de workshop belicht, wordt in de presentaties van de inleiders achtereenvolgens ingegaan op:

- De organisatie StiPT, in het bijzonder de door haar gestimuleerde onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten, alsmede de motieven om TNO en TU Delft een studie te laten uitvoeren naar de state-of-the-art en de mogelijke onderzoekssrichtingen inzake koelwatersystemen (de heer Wouterse).
- Het beleid van de overheid inzake afvalwater en koelwatergebruik (NMP+, 3de Nota Waterhuishouding, RAP en dergelijke), alsmede een overzicht van de milieuconsequenties en de getotaliseerde waterremissies van de verschillende koelwatersystemen. De inleider (de heer Van Baardwijk) geeft aan dat voor koelwatersystemen de lozings- en vergunningseisen van de overheid verscherpt zullen worden en benadrukt het belang van preventie bij de keuze van koelsystemen en conditioneringsmidelen.
- De in het project gekozen werkwijze/aanpak en een toelichting op het doel van de studie. De inleider (de heer Assink) geeft tevens aan in welke bedrijfstakken relatief veel koelwater wordt gebruikt en relateert dit onder meer aan de 'toegevoegde waarde' van de bedrijfstak.
- De in de voorstudie en de interviews naar voren gekomen knelpunten en mogelijke oplossingsrichtingen voor vermindering van de milieubelasting van koelwatersystemen (de heer Van Deventer). De mogelijke oplossingsrichtingen zijn gegroepeerd naar de twee thema's die later in twee discussiegroepen worden besproken.

Aansluitend vullen de deelnemers een tweetal scoreformulieren in. De resultaten van deze exercitie zijn verwerkt in bijlage 3.

De discussie in de hierna volgende deelsessies is hieronder samengevat in de vorm van een compilatie van opmerkingen en suggesties c.q. ideeën.

### **Sessie A: Vermindering koelwaterbehoefte en thermische belasting**

#### *Algemene opmerkingen*

- Over het algemeen is de aandacht bij de industrie voor de milieubelasting door koelwatersystemen groeiende.
- De zorg voor de 'utility' koelwater verschilt per bedrijf. Bij de grotere bedrijven bestaan hiervoor gespecialiseerde afdelingen met kennis van zaken. Hierbij treedt het verschijnsel op dat koelwaterdeskundigen weinig procestechnische expertise bezitten. Bij het middelgrote bedrijf is de aandacht beperkter. Kleine bedrijven besteden de zorg voor de koelwaterconditionering uit aan toeleveranciers van middelen.
- De overheid heeft middels haar vergunningen- en heffingenbeleid grote invloed op de mogelijkheden en de keuzes van bedrijven met betrekking tot koelwater. Er bestaat vanuit de industrie behoefte om over dit beleid met de overheid te overleggen. Een te ontwikkelen 'meetlat' kan hierbij een nuttig instrument blijken.



- Reïnfiltratie van opgewarmd maar niet vervuild grondwater is onder bepaalde voorwaarden mogelijk.

*Mogelijke oplossingsrichtingen/onderzoeksbehoeften*

- Een gesloten koelsysteem dat indirect wordt gekoeld via een platen-warmtewisselaar met bijvoorbeeld oppervlaktewater. Door toepassing van een (vervuilingson-gevoelige) platen-warmtewisselaar kan zonder of met beperkte, stootsgewijze toevoeging van conditioneringsmiddelen worden gekoeld.
- De oplossingsrichting 'Meetlat' is uitgebreid bediscussieerd. Geconstateerd wordt dat een meetlat ter vergelijking van alternatieve koelsystemen waarde heeft voor de bedrijven, maar zeker ook naar overheden toe. Doordat bij vergunningverlening door overheden 'compartiment-denken' optreedt, kunnen er eisen worden gesteld die bijvoorbeeld de emissie naar oppervlaktewater reduceren, ten koste van extra energieverbruik en/of geluidsoverlast.
- Een meetlat in de vorm van één gewogen getal is naar verwachting niet mogelijk. Wel lijkt het zinvol om de criteria die bij de onderlinge vergelijking een rol spelen te definiëren en hiervoor weegfactoren te formuleren, eventueel afhankelijk van de toepassing. Hierdoor zal een beslismodel ontstaan waarbij de diverse invloeden worden meegenomen.
- Een beslismodel voor onderhoud aan koelsystemen, zowel preventief als curatief, kan bijdragen aan vermindering van de milieubelasting en het voorkomen van calamiteiten.
- Een grote probleem bij veel koelwatersystemen vormt de lekkage van warmtewisselaars, waardoor procesvloeistoffen in het koelwater terecht kunnen komen. De ontwikkeling van dubbelwandige warmtewisselaars, naar analogie van drinkwater-toepassingen, kan hierin verbetering brengen. Uiteraard is hierbij speciale aandacht gewenst voor het handhaven van een hoge warmteoverdracht en een acceptabele kostprijs.
- Er is behoefte aan het vaststellen van de samenstelling van effluentstromen, waarbij veelal lage concentraties gedetecteerd moeten worden. Naast de reeds ten behoeve van koelwatersystemen ingezette monitoren, is het gewenst te onderzoeken welke monitoren uit andere toepassingsgebieden beschikbaar zijn voordat tot ontwikkeling van nieuwe detectiesystemen over te gaan. Meting van de volgende componenten/indices is gewenst: biociden, AOX (?), TOC (?), gechloreerde koolwaterstoffen, desinfectiemiddelen, toxiciteit, enz.
- Bij het ontwerp van luchtkoeling, veelal het alternatief voor koelwatersystemen, kan het raadzaam zijn om niet te dimensioneren op de hoogstvoorkomende buitentemperatuur maar op een lagere temperatuur. Hierdoor worden de installatiegrootte en de investering beperkt. Het tekort aan koelcapaciteit dat hierdoor bij extreem hoge buitentemperaturen ontstaat, kan met beperkte waterkoeling worden aangevuld.



- Procesintegratie, thans 'common practise' bij de grote energie-intensieve bedrijven, vindt veelal op unit-niveau plaats. Procesintegratie over unit-grenzen heen biedt nog goede mogelijkheden tot verdere reductie van energie- en koelwatergebruik.

## **Sessie B: Waterbehandeling en hergebruik**

### *Algemene opmerkingen*

- De richting waarin een oplossing moet worden gezocht is afhankelijk van de aan te leggen criteria. Deze zijn onvoldoende duidelijk. Als voorbeeld worden verschillende typen conditioneringsmiddelen genoemd die onderling strijdige of (deels) met milieudoelstelling(en) conflicterende eigenschappen bezitten.
- Gemist wordt de optie om ingenomen koelwater beter te behandelen, zodat dit langer in circulatie kan worden gehouden en er uiteindelijk minder suppletiewater (incl. conditioneringsmiddelen) nodig is.
- De grote industriële gebruikers van conditioneringsmiddelen hebben een behoefte aan een kennisbron en ontwikkeling/onderzoek onafhankelijk van de leveranciers van deze middelen. Om deze reden is door een groep van gebruikers recentelijk een testmethodiek ontwikkeld, die de eigenschappen van conditioneringsmiddelen onderling vergelijkt.
- De aanwezigen constateren dat er nog immer relatief weinig aandacht is voor het ontwerp en de uitvoering van een koelsysteem; het vormt in alle opzichten een sluitstuk. Hierdoor wordt al in het ontwerpstadium de kern voor het benodigde waterbehandelingsprogramma gelegd. Meer aandacht voor het ontwerp en een betere kennisoverdracht naar ontwerpers/ingenieursbureaus kan het gebruik van conditioneringsmiddelen en specifieke praktijkproblemen deels voorkomen.

### *Oplossingsrichtingen/onderzoeksbehoeften*

- In het warme gedeelte van koelwatersystemen wordt soms titaan toegepast om corrosie te vermijden. Er is behoefte aan goedkope alternatieven. Een mogelijkheid is daarbij de ontwikkeling van kwalitatief goede coatings, die de warmte-overdracht niet nadelig beïnvloeden en goed hechten op de ondergrond. Deze coating kan tevens gericht zijn op vermindering van afzettingen op deze warme oppervlakken.
- De behoefte aan conditioneringsmiddelen tegen biologische aangroei kan worden verminderd door zeer gladde (of toxische?) coatings te gebruiken. Hoewel deze verkrijgbaar zijn, is verdere ontwikkeling wenselijk om deze tegen aanvaardbare kosten te kunnen gaan gebruiken.



- Enkele ideeën inzake het terugdringen van ondoelmatig gebruik van (huidige) conditioneringsmiddelen zijn:
  - Het vermijden van overdosering door gerichte sensoring op deze stoffen en/of relevante procesparameters;
    - Keuze, werking en beheersing van conditioneringsmiddelen dient in onderlinge samenhang te worden gezien, vooral ook omdat corrosie, afzettingen en biologische aangroei in de praktijk veelal gelijktijdig maar in wisselende hoedanigheden voorkomen. Testmethoden dienen hierop gericht te zijn i.e. hiermee rekening te houden.
    - Een betere sturing c.q. regeling van processen, waaronder dosering van conditioneringsmiddelen.
- Diverse ideeën en suggesties worden gedaan om tot een verminderd gebruik of een verminderde lozing van relatief schadelijk geachte conditioneringsmiddelen te komen; deze kunnen tevens een positief effect hebben op het koelwatergebruik:
  - Het ontwikkelen van ‘anders geaarde’ conditioneringsmiddelen, zoals (biologisch) afbreekbare conditioneringsmiddelen en middelen op basis van ‘template-vorming’.
  - Spuiwaterbehandeling wordt vooral interessant indien de conditioneringsmiddelen zich makkelijk laten afscheiden of terugwinnen; hier zou een gerichte ontwikkeling op kunnen plaatsvinden.
  - De toeleveranciers en gebruikers zijn nog sterk gericht op het gebruik van chemische conditioneringsmiddelen; mogelijk kunnen andere behandelingsmethoden dan op basis van alléén chemische middelen worden ontwikkeld (chemische methoden zullen niet geheel te vermijden zijn, maar kunnen mogelijk zinvol worden gecombineerd met niet-chemische methoden).
  - Het chloorgebruik kan mogelijk worden verminderd door (gedeeltelijk) over te gaan op ozon; de vraag is daarbij hoe ozon op de meest doelmatige manier in het water kan worden gebracht.

Tot slot wordt geconstateerd dat de breedte van het onderwerp het niet toelaat om de genoemde discussiepunten binnen de gegeven tijd voldoende uit te diepen.

### **Plenaire terugmelding**

Tijdens de plenaire terugmelding worden de twee groepen op de hoogte gebracht van de elkaars resultaten.

De dagvoorzitter recapituleert de belangrijkste afspraken inzake rapportage en terugmelding en sluit af door een ieder dank te zeggen voor haar of zijn bijdrage.

### Bijlage 3 Resultaten scoreformulieren

De door de deelnemers aan de workshop van 28 oktober 1992 (zie bijlage 2) ingevulde scoreformulieren betreffende **A. Reductie koelwaterbehoefte** en **B. Waterbehandeling en -hergebruik**, zijn verwerkt tot de navolgende, gemiddelde scores.

Opmerkingen:

- Het betreft gewogen gemiddelden van de ingevulde scores; blanco scores zijn buiten beschouwing gelaten.
- Onderzoek - Aard: met een ster (\*) is aangegeven welke type onderzoek volgens de meeste respondenten gewenst is. Met een punt (.) zijn typen aangegeven die eveneens relatief hoog scoorden.
- Betrokkenheid - Belang/interesse en Expertise: vermeld is het aantal malen dat respondenten een 2 of een 3 hebben vermeld (oorspronkelijke scoremogelijkheden 0, 1, 2 en 3).

Uit de gemiddelde scores kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

#### A. Reductie koelwaterbehoefte

- Milieuverdiensite voor wat betreft reductie koelwaterbehoefte wordt vooral verwacht van:
  - *Verdere integratie in procesontwerp;*
  - *Ontwikkelen 'meetlat';*
  - *Secundaire benutting warmte-overschotten.*
- Milieuverdiensite voor wat betreft emissiereductie conditioneringsmiddelen wordt vooral verwacht van:
  - *Verdere integratie in procesontwerp;*
  - *Ontwikkelen 'meetlat';*
  - *Waterzuivering in open circulatiesystemen.*
- Fundamenteel onderzoek achten de respondenten vooral noodzakelijk voor *Niet-thermische scheidingsprocessen* en *Katalyse/enzymen*. Toegepast onderzoek voor *Ontwikkelen 'meetlat'*, *Verdere integratie in procesontwerp* en *Waterzuivering in open circulatiesystemen*.
- De onderzoeksomvang nodig om te komen tot de mogelijke oplossingsrichtingen wordt beperkt, soms tot middelgroot ingeschat.
- Belang stellen de respondenten vooral in *Waterzuivering in open circulatiesystemen*, *Ontwikkelen 'meetlat'* en *Verdere integratie in procesontwerp*.
- Expertise is over het algemeen slechts zeer beperkt aanwezig. Dit geldt in mindere mate voor *Verdere integratie in procesontwerp* en *Waterzuivering in open circulatiesystemen*.



Samenvattend vinden de respondenten de onderwerpen *Verdere integratie in procesontwerp*, *Ontwikkelen 'meetlat'* en *Waterzuivering in open circulatiesystemen* het belangrijkste.

## **B. Waterbehandeling en -hergebruik**

- Milieuverdiensite voor wat betreft reductie koelwaterbehoefte wordt verwacht van:
  - *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen*;
  - en in beperkte mate van *Behandeling spuistroom*.
- Milieuverdiensite voor wat betreft emissiereductie conditioneringsmiddelen wordt vooral verwacht van:
  - *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen*;
  - *Werkings en effecten conditioneringsmiddelen*;
  - *O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-toepassingen*;
  - *Behandeling spuistroom*.
- Fundamenteel onderzoek achten de respondenten vooral noodzakelijk voor *Materiaalontwikkeling* en *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen*. Toegepast onderzoek voor *Werkings en effecten conditioneringsmiddelen*, *Monitoring vervuiling*, *Behandeling spuistroom* en *Monitoring koelwaterconditie*.
- De benodigde onderzoeksomvang wordt vooral voor *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen* en *Werkings en effecten conditioneringsmiddelen* relatief groot ingeschat.
- Belang stellen de respondenten vooral in *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen*, *Behandeling spuistroom*, *Werkings en effecten conditioneringsmiddelen* en *Monitoring koelwaterconditie*.
- Expertise is over het algemeen beperkt aanwezig.

Samenvattend vinden de respondenten de onderwerpen *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen*, *Behandeling spuistroom* en *Werkings en effecten conditioneringsmiddelen* het belangrijkste.

## **Eindconclusies:**

Uit de ingevulde scoreformulieren kan samenvattend worden geconcludeerd dat de deelnemers de volgende onderwerpen primair voor nadere uitwerking in aanmerking vinden komen:

- *Ontwikkelen betere conditioneringsmiddelen*;
- *Behandeling spuistroom*;
- *Verdere integratie in procesontwerp*;
- *Waterzuivering in open circulatiesystemen*.
- *Werkings en effecten conditioneringsmiddelen*;
- *Ontwikkelen 'meetlat'*;

Gemiddelde scores tijdens de workshop 'Koelwatersystemen' d.d. 28 oktober 1992

| A. Reductie koelwaterbehoefte               | Milieuverdiens <sup>1)</sup> |                        | Onderzoek            |                    |   |   |   | Betrokkenheid <sup>2)</sup> |                          |
|---------------------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|---|---|---|-----------------------------|--------------------------|
|                                             | Koelwater-behoefte           | Emissie cond. middelen | Omvang <sup>2)</sup> | Aard <sup>3)</sup> |   |   |   | Belang/interesse            | Expertise (aantal 2 + 3) |
|                                             |                              |                        |                      | F                  | T | D | I |                             |                          |
| 1) Ontwikkelen 'meetlat'                    | 1,1                          | 1,1                    | 1,2                  | •                  | * |   |   | 1,4                         | 2*                       |
| 2) Verdere integratie in procesontwerp      | 1,3                          | 1,2                    | 1,8                  |                    | * |   |   | 1,4                         | 6*                       |
| 3) Reïnfiltratie grondwater                 | 0,5                          | 0,5                    | 0,9                  |                    |   | * |   | 0,8                         | 5*                       |
| 4) Waterzuivering in open circulatiesysteem | 0,9                          | 1,1                    | 1,7                  |                    | * | • |   | 1,8                         | 4*                       |
| 5) Niet-thermische scheidingsprocessen      | 1,0                          | 0,9                    | 1,4                  | *                  | • |   |   | 0,9                         | 3*                       |
| 6) Katalyse/enzymen                         | 0,6                          | 0,7                    | 1,0                  | *                  |   |   |   | 0,8                         | 1*                       |
| 7) Secundaire benutting warmte-overschotten | 1,1                          | 0,6                    | 1,4                  |                    | • | • | * | 1,1                         | 3*                       |

Scoremogelijkheden

- 1) 1: negatief effect  
0: neutraal  
1: beperkt positief  
2: sterk positief effect
- 2) 0: niet of nauwelijks  
1: beperkt  
2: middelgroot  
3: groot/zeer belangrijk
- 3) F: fundamenteel/wetenschappelijk  
T: toegepast/ontwikkelingsonderzoek  
D: demo- of praktijkonderzoek  
I: implementatie (geen onderzoek)



Gemiddelde scores tijdens de workshop 'Koelwatersystemen' d.d. 28 oktober 1992

| B. Waterbehandeling en -hergebruik                              | Milieuverdienste <sup>1)</sup> |                        | Onderzoek            |                    |   |   |   | Betrokkenheid <sup>2)</sup> |                          |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|---|---|---|-----------------------------|--------------------------|
|                                                                 | Koelwater-behoefte             | Emissie cond. middelen | Omvang <sup>2)</sup> | Aard <sup>3)</sup> |   |   |   | Belang/Interesse            | Expertise (aantal 2 + 3) |
|                                                                 |                                |                        |                      | F                  | T | D | I |                             |                          |
| 8) Materiaalontwikkeling (bijvoorbeeld coatings)                | 0,5                            | 0,9                    | 1,2                  | *                  | • |   |   | 1,0                         | 4*                       |
| 9) Fysische methoden (FAK)                                      | 0,1                            | 0,8                    | 1,1                  | •                  | • | * |   | 1,0                         | 3*                       |
| 10) Werking en effecten conditioneringsmidd.                    | 0,7                            | 1,4                    | 1,8                  | •                  | * | • |   | 1,8                         | 7*                       |
| 11) Ontwikkelen betere conditioneringsmidd.                     | 1,1                            | 1,5                    | 2,1                  | *                  |   |   |   | 2,0                         | 6*                       |
| 12) Monitoring vervuiling                                       | 0,7                            | 0,8                    | 1,1                  | •                  | * | • |   | 1,4                         | 5*                       |
| 13) O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -toepassingen | 0,6                            | 1,2                    | 1,3                  |                    | • | * |   | 1,4                         | 5*                       |
| 14) Behandeling spuistroom                                      | 0,9                            | 1,3                    | 1,3                  |                    | * |   |   | 1,8                         | 3*                       |
| 15) Monitoring koelwaterconditie                                | 0,8                            | 0,9                    | 1,3                  |                    | * |   |   | 1,7                         | 4*                       |

#### Scoremogelijkheden

- 1) 1: negatief effect  
0: neutraal  
1: beperkt positief  
2: sterk positief effect
- 2) 0: niet of nauwelijks  
1: beperkt  
2: middelgroot  
3: groot/zeer belangrijk
- 3) F: fundamenteel/wetenschappelijk  
T: toegepast/ontwikkelingsonderzoek  
D: demo- of praktijkonderzoek  
I: implementatie (geen onderzoek)

## **Bijlage 4    Koelwatersystemen en de beheersing van waterkwaliteit**

### **Basisbegrippen bij de beheersing van waterkwaliteit in circulatiesystemen**

In open circulatiesystemen wordt een belangrijk deel van de warmteafvoer verzorgt door verdamping van water. Naast *verdamping* (1% van het circulerend debiet per 6 à 7 °C temperatuurdaling in de koeltoren) treden waterverliezen op door zogenaamde *wind- en spatwaterverliezen* (tot maximaal 0,2% voor torens met een geforceerde trek, meestal echter ca. 0,01% of minder). Het circulerende water zal door de verdamping *indikken*, waardoor de zoutconcentratie in het koelwater toeneemt. Om de koelwaterkwaliteit op voldoende niveau te houden c.q. de indikking te beperken, dient continue of periodiek een deel van het koelwater te worden *gespuid*. De verdampings-, wind-, spat- en spui-verliezen dienen gecompenseerd te worden door aanvoer van water naar het koelsysteem. Dit water wordt *suppletie- of make-upwater* genoemd. In formulevorm geldt dus:

$$\text{Suppletie} = \text{Spui} + \text{Verdamping} + \text{Wind/spatverliezen}$$

Door de indikking neemt de concentratie aan niet-vluchtige stoffen (met name zouten) in het koelwater evenredig met de indikkingsfactor toe. De indikking van het koelwater is gelijk aan de verhouding tussen de volgende stromen:

$$\text{Indikking} = \text{Suppletie} / (\text{Spui} + \text{Wind/spatverliezen})$$

of ook wel:

$$\text{Indikking} = \text{Suppletie} / (\text{Suppletie} - \text{Verdamping})$$



## Waterbehandeling en gebruik van conditioneringsmiddelen [1]

### 1. Doorstroomkoelsystemen

#### Watertoebereiding

##### A. Gebruik van leidingwater

Er is geen toebereiding nodig, mits het water niet agressief<sup>1)</sup> of erg hard is.

##### B. Gebruik van bronwater

Men zal in het algemeen beluchting van bronwater in het koelsysteem trachten te voorkomen, omdat anders in mindere of meerdere mate een neerslag van ijzer en mangaan zal ontstaan, waardoor het gehele koelsysteem vervuult. Ook corrosie kan door beluchting worden versterkt. Kan in een bestaande situatie beluchting niet worden voorkomen, dan dient het water van ijzer en mangaan te worden ontdaan met behulp van een *ontijzeringsinstallatie*. Soms worden daarbij oxyderende chemicaliën of vlokmiddelen toegevoegd of worden speciale filtervullingen gebruikt. Ook verwijdering van gasen als kooldioxyde (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>), zwavelwaterstof en ammoniak kan noodzakelijk zijn.

##### C. Gebruik van oppervlaktewater

Oppervlaktewater wordt vrijwel altijd in grotere koelsystemen toegepast. Het oppervlaktewater is gewoonlijk niet hard of agressief. De meeste problemen worden veroorzaakt door de aanwezigheid van veel (micro)biologisch leven en onopgeloste bestanddelen (zand en dergelijke). Vaak is een *filtratie* nodig, die dan bestaat uit een grof- en een fijnfiltratie. De vereiste fijnheid van de filtratie wordt bepaald door de kwaliteit van het oppervlaktewater en de kleinste koelkanaaltjes. Inzet van flocculatiemiddelen is mogelijk, maar wordt weinig toegepast.

#### Waterconditionering

Bij doorstroomkoeling gaat het meestal om grote hoeveelheden koelwater. De kosten voor chemicaliëndosering zullen daardoor al snel prohibitief werken, terwijl ook de lozing van koelwater waar chemicaliën aan zijn toegevoegd problemen kan geven. Tevens kan het conditioneren van water in doorstroomsystemen hergebruik van het water bemoeilijken, zo niet onmogelijk maken. Daarom blijft de dosering meestal beperkt tot hypochloriet, dat gewoonlijk stootsgewijs wordt gedoseerd.

##### A. Corrosiebestrijding

In hoofdzaak wordt corrosie voorkomen door *corrosievaste* uitvoering van het koelsysteem. Met name bij koeling met oppervlaktewater wordt het systeem bij voorkeur zo *compact* mogelijk uitgevoerd. Over het algemeen wordt het koelwater uitsluitend door warmtewisselaars geleid. Bij agressief (bron)water is het mogelijk de pH-waarde van het koelwater te verhogen door dosering van loog en dergelijke, waardoor de agressiviteit van het water wordt weggenomen. Dit wordt echter vrijwel nooit toegepast, onder meer vanwege de mogelijkheid van neerslag van ijzerhydroxyden (bronwater).

<sup>1)</sup> Onder agressiviteit van het water wordt verstaan de mate waarin het water in staat is tot het oplossen van calciumcarbonaat (CaCO<sub>3</sub>). Zacht water (water met lage hardheid) is gewoonlijk agressiever dan hard water. Agressief water kan onder meer koperen leidingen aantasten.



Bij koeling met brak en zout oppervlaktewater wordt soms *ijzer(II)sulfaat* (intermitterend) gedoseerd als koper en/of koperlegeringen in het koelsysteem voorkomen. Hiermee wordt de kopererosie sterk verminderd.

**B. Voorkomen van afzettingen**

Vroeger werden polyfosfaten gedoseerd om hardheidsafzettingen te voorkomen. Hierdoor werd ook enige corrosiebescherming verkregen. Later zijn fosfonaten gebruikt. Tegenwoordig worden *polymeren* zoals *acrylaten*, maar ook weer *polyfosfaten* gedoseerd. Afzettingen worden echter primair voorkomen door een juiste *dimensionering* van het systeem. Dode hoeken dienen voorkomen te worden, terwijl handhaving van een voldoende stroomsnelheid (> ca. 1 m/s) essentieel is. Met name bij warmtewisselaars worden *mechanische schoonhoudsystemen* aangebracht, die bestaan uit borsteltjes (af en toe omkeren stromingsrichting) of balletjes (bijvoorbeeld Taprogge-systeem).

**C. Voorkomen van biologische groei**

Bij biologische groei dient met name gedacht te worden aan de groei van algen, (slijmvormende) bacteriën en schimmels. Bij oppervlaktewater dienen in deze rij ook mosselen opgenomen te worden, zowel bij zoet als brak/zout water. Bij brak en zout water komen ook andere vormen van macrobiologische groei (poliepen en dergelijke) voor. Genoemde organismen kunnen problemen veroorzaken als gevolg van vervuiling, verstopping en/of corrosie.

Meestal wordt biologische groei bestreden door één of enkele malen per dag een hoeveelheid *chloor* (natriumhypochloriet, bij uitzondering chloorgas) te doseren, zodanig dat een overmaat van tenminste 0,2 mg/l vrij chloor aan het eind van het koelsysteem beschikbaar is (breekpuntschloring). Hier en daar wordt een niet-oxyderend biocide gebruikt. Ook dosering van zogenaamde '*biodispersants*', polyelektrolieten die in bijvoorbeeld slijmlagen penetreren en zo de onderliggende bacteriën voor de biocide toegankelijk maken, komt voor. Het gebruik van oppervlaktewater verlangt een intensievere aangroeibestrijding dan bron- of leidingwater. Met name bij mosselbestrijding wordt ook wel gedurende een beperkte periode (meestal 3 weken in het voorjaar) continu chloor gedoseerd. Soms wordt, met name voor mosselbestrijding, gebruik gemaakt van een periodieke '*thermoschok*'; het vullen van het koelsysteem met warm of heet water. Deze methode dient echter in de bedrijfsvoering te passen en in het ontwerp te worden meegenomen.

**2. Open circulatiekoelsystemen met koeltoren**

In open koelsystemen met een koeltoren zal een deel van het circulerende koelwater verdwijnen door verdamping (ca. 0,15% per °C temperatuurdaling in de koeltoren) en eventuele wind- en spatwaterverliezen (meestal ca. 0,01% of minder). Door de verdamping zal het water indikken, waardoor zoutconcentraties in het koelwater toenemen. Om de opzouting te beperken en neerslagvorming te voorkomen, dient continue of periodieke een deel van het koelwater *gespuid* te worden.

Een kleine spui is gunstig in verband met de relatief geringe milieubelasting en het lage suppletiewaterverbruik. Daarvoor is een hoge indikking van het circulatiewater nodig, zodat -mede afhankelijk van de uitvoering en materialen van een koelsysteem- het te gebruiken suppletiewater van een zeer goede kwaliteit dient te zijn (bijvoorbeeld gedemineraliseerd water of stoomcondensaat).



Verder zij er op gewezen dat het koelwater in de koeltoren diverse stoffen uit de lucht kan opnemen (het ontwerp-luchtvolumedebiet is vaak ca. 300 à 1500 maal het koelwaterdebiet), waaronder  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  en stof.

#### *Watertoebereiding*

Vanwege het relatief geringe waterverbruik in kleine en middelgrote systemen wordt meestal gesuppleerd met leidingwater. Meestal wordt dit niet voorbehandeld, en ligt het accent op conditionering van het circulatiewater. Bij grotere systemen kan bronwater of oppervlaktewater als suppletiewater gebruikt worden, wat dan een behandeling moet ondergaan.

##### A. Gebruik van leidingwater

Leidingwater wordt vooral in de kleine en middelgrote koelsystemen als suppletie gebruikt. Afhankelijk van de in het systeem optredende temperaturen, de precieze watersamenstelling, de gebruikte materialen en conditioneringsmiddelen kan (deel)ontharding van het te suppleren water gewenst zijn. Dit zal gewoonlijk met een ionenwisselaar gebeuren. Ontzouting van het suppletiewater kan soms wenselijk zijn, hetgeen eveneens via ionenwisseling (demineralisatie) wordt bereikt. Tegenwoordig wordt ook wel omgekeerde osmose toegepast (ca. 60% lagere zoutlast in het concentraat). Laatstgenoemde methode is echter in veel gevallen iets duurder dan ionenwisseling.

##### B. Gebruik van bronwater

Hiervoor geldt hetzelfde als leidingwater, maar met de uitbreiding dat ontijzing en/of ontmanganing noodzakelijk is. Daarom wordt bronwater vrijwel uitsluitend in grotere koelsystemen toegepast.

##### C. Gebruik van oppervlaktewater

Voornamelijk in grote tot zeer grote koelsystemen. De voorbehandeling bestaat uit een *filtratiestap* om het zwevende materiaal te verwijderen, vaak voorafgegaan door flocculatie (bijvoorbeeld met  $\text{FeCl}_3$ ), terwijl erna nog behandelingen als precipitatie, ontharding en dergelijke (bijvoorbeeld met natronloog, kalk en/of zoutzuur) kunnen volgen.

#### *Waterconditionering*

In principe is bij de behandeling van het water een keus te maken tussen:

- I. Een 'zure' behandelingsmethode, waardoor het water licht agressief wordt en er nagenoeg geen ketelsteenvorming ontstaat. In dit geval dient relatief veel aandacht te worden gegeven aan corrosie-inhibitie. De inhibitor dosering is vaak in de orde grootte van 50 mg/l (zie ook hieronder). Daarnaast wordt ruwweg 10 mg/l aan disperseermiddelen gebruikt.
- II. Een behandeling, waarbij lichte ketelsteenvorming optreedt en de corrosie van het circuit in belangrijke mate wordt tegengegaan. Middelen tegen hardheidsafzettungen worden ingezet in concentraties rond 50 mg/l; gebruik van geringe hoeveelheden corrosie-inhibitor zijn aan te bevelen (ca. 10 mg/l). Deze methode wordt iets vaker gebruikt dan de 'zure' behandelingsmethode.



#### A. Corrosiebestrijding

Ook hier geldt dat corrosie primair door *corrosievaste uitvoering* van het koelsysteem moet worden voorkomen. Soms is dit niet mogelijk, vooral indien een koelsysteem meerdere koelwaterverbruikers omvat, danwel de materiaalkeus door apparatenbouwers wordt bepaald. Er worden dan corrosieinhibitoren gedoseerd. Vroeger werden hiervoor zinkhoudende fosfonaten, polyolesters, polyfosfaten, natriumnitriet, chromaten of silicaten (waterglas) gebruikt. Met name vanwege de milieubezwaarlijkheid bij lozing is door de waterbehandelingsfirma's gezocht naar alternatieven voor genoemde chemicaliën. Dit heeft geresulteerd in een groot aantal '*specialties*', mengsels van allerlei organische polymeren. De toegepaste polymeren zijn meestal fosfonaten, acrylaten en gesulfoneerde copolymeren. Genoemde mengsels zorgen voor corrosie- en hardheidsafzettingsbestrijding. Vaak wordt de hardheid benut om een beschermende laag op het metaal te vormen. Het onderzoek naar betere produkten richt zich met name op de synergetische werking van de diverse componenten. Recentelijk is er bij fosfaathoudende middelen een verschuiving gaande van fosfonaten naar specialties met als ingrediënt orthofosfaat, omdat deze minder milieubelastend zijn. Daarbij is de concentratie fosfaat in het water veelal minder dan 20 mg/l. Ter bescherming van koper- en/of koperlegeringen worden *azolen* (tolyltriazol en dergelijke) in de formulering opgenomen. De concentratie waarin deze specialties worden toegevoegd varieert van ca. 5 tot 500 mg/l (typerend: 100 - 200 mg/l) in het circulerende water.

Bij zacht- en demiwatersystemen wordt vaak gebruik gemaakt van *natriummolybdaat*, en in mindere mate van *nitriet*. Ook hier worden in de formuleringen steeds meer organische polymeren toegepast, waardoor de molybdaat- en nitrietconcentraties in het circulatiewater steeds lager kunnen zijn (typerende concentraties: < 10 mg/l  $\text{MoO}_4$  en 100 - 200 mg/l  $\text{NO}_2$ ).

#### B. Voorkomen van afzettingen

Met de reeds genoemde *organische polymeren* worden ook hardheidsafzettingen vermeden. Soms wordt dit gecombineerd met de dosering van een zuur. De tendens is echter dat zuurdosering verdwijnt vanwege de steeds betere hardheidsdispergerende eigenschappen van de organische polymeren. Ter verwijdering van deeltjes kan een deelstroom van het koelwater continu worden *gefiltreerd* (bijvoorbeeld met kaars- of zandfilters).

Daarnaast zijn er ook *fysische anti-kalkmethoden (FAK)* die het water een dusdanige behandeling geven dat hardheidsafzettingen worden voorkomen. De fysische behandeling kan van magnetische aard zijn (elektro- of permanente magneten), maar kan ook een ultrasone behandeling, een elektrisch veld of combinaties daarvan omvatten. During beschrijft in een tweetal artikelen de beschikbare FAK-apparatuur en hun effectiviteit [28, 29]. De precieze werking van FAK-apparatuur is niet bekend, maar er wordt geclaimd dat in plaats van aankorsting op de wanden van het koelwatersysteem er precipitatie optreedt op bijvoorbeeld agglomeraten die door de fysische behandeling worden gevormd. Het water zou daarbij enige tijd (uren) zijn bijzondere eigenschappen behouden.

Vooropgesteld dat FAK in een bepaalde situatie werkt, kan deze de gebruikelijke, niet-afbreekbare conditioneringsmiddelen vervangen en verminderd de lozing van fosfor (eutroficatie). Het voordeel is dat in principe geen spui op de hardheid van of andere slecht oplosbare mineralen in het koelwater hoeft plaats te vinden. Daarnaast is FAK bij uitstek geschikt het kalk c.q. de hardheid als deeltjes via eenvoudige filtratietechnieken uit het circulerende water af te scheiden. Hierdoor is een langdurige circulatie ofwel een grotere indikking van het water in principe mogelijk.



De inzetbaarheid van FAK-methoden is door de beperkte fundamentele kennis erover grotendeels gebaseerd op empirie, zodat de toepassingen in praktijk nog beperkt zijn gebleven.

#### C. Voorkomen van biologische groei

Biologische groei kan worden bestreden door een intermitterende chloordosering in het koelsysteem (van ca. 2 keer per dag tot ca. 2 keer per week), bij voorkeur via zogenaamde breekpuntschlorering. *Hypochloriet* is een nog veel gebruikt middel, omdat het goedkoop is. Bij hogere pH-waarden ( $> 8,0$ ), die bij dit systeem meestal voorkomen, is chloor minder effectief. Toepassing van middelen op basis van *bromide* (in combinatie met chloor) is dan aantrekkelijk (lage doseringsbehoefte) en wordt daardoor tegenwoordig in toenemende mate ingezet. Bepaalde conditioneringsmiddelen zijn niet goed bestand tegen chloor, zodat vaak *niet-oxyderende biociden* worden toegepast. De belangrijkste zijn:

- Quaternaire ammoniumverbindingen ('quats');
- Polyaminen en amiden (bijvoorbeeld DBNPA);
- Organische chloor- en broomverbindingen;
- Organische zwavelverbindingen (bijvoorbeeld isothiosoline, methyleen-bis-thiocyanaat).

Deze verbindingen zijn alle giftig, maar sommige zijn persistenter en schadelijker voor het watermilieu dan andere.

Om gewinning van met name bacteriën te voorkomen worden meestal twee verschillende biociden toegepast.

Tot slot dient te worden vermeld dat systemen op basis van *ozonisatie* en een combinatie van *UV met disperseermiddelen* op de markt worden gebracht. Of toepassing mogelijk en zinvol is, hangt van de situatie af.

*Ozon* heeft een beperkte werkingsduur (dus noodzaak tot continue dosering) en lijkt met name goed te werken bij aanwezigheid van tenminste 10 mg/l bromide (bromaatvorming). Het systeem vraagt relatief hoge investeringen en veroorzaakt bij onjuiste toepassing ozonemissies naar de lucht. Ook is ozon niet met alle conditioneringsmiddelen te combineren voor bestrijding van corrosie en afzettingen. Daartegenover staat dat ozon organische stoffen deels mineraliseert, en biocide werking heeft en in het spuiwater minder milieubezwarende componenten achterlaat (EOX-vorming is slechts mogelijk als ozon in zeer geringe hoeveelheden wordt gedoseerd). Tevens is uit de literatuur [19] bekend dat een ozonbehandeling ook corrosie (door een zekere passivering) en scaling/afzettingen kan verminderen. Dit laatste, omdat door gedeeltelijke afbraak van organische stof carbonzuren worden gevormd die calcium en andere ionen complexeren; deze complexen laten zich als slib uit het systeem afscheiden. Voor zover er geen beperkingen zijn door het zoutgehalte (bijvoorbeeld chloride), is hierdoor een verdere indikking van het water mogelijk ten opzichte van conventionele conditionering.

Ozon wordt (nog) niet veel bij koelsystemen ingezet; het bekendst zijn toepassingen in de (petro)chemische industrie als waterconditioneringsmethode in circulatiesystemen en als koelwatertoebereidingstechniek voor afvalwater. Ozon lijkt vooral geschikt te zijn voor (suppletie)water van een relatief goede kwaliteit (TOC-waarden  $< ca. 20$  mg/l, geringe hoeveelheid zouten).

De systemen op basis van *UV met disperseermiddel* worden nog niet toegepast, maar doorlopen verdere ontwikkelingen. Deze methoden zijn relatief weinig milieubezwarend (de disperseermiddelen zijn vrij goed biologisch afbreekbaar) en vormen wellicht een interessant alternatief voor de conventionele bestrijdingsmethoden voor



biologische aangroei. Het te behandelen water dient bij voorkeur goed doorlatend te zijn voor UV-straling, dat wil zeggen weinig deeltjes en opgeloste organische stoffen (beiden globaal < 50 mg/l) te bevatten.

Zowel ozon als UV worden in Nederland (nog) of nauwelijks niet bij koelsystemen toegepast, terwijl beiden vanuit milieuhygiënisch punt aantrekkelijk zouden kunnen zijn.

### ***3. Gesloten circulatiesystemen en open systemen zonder koeltoren***

Over het algemeen betreft het kleine koelsystemen en systemen die indirect worden gekoeld (bijvoorbeeld met een koelmachine; zogenaamde vloeistofkoelers).

Volledig gesloten koelsystemen, dus zonder luchttoevoer of waterverlies, behoeven in principe geen waterbehandeling, mits van een redelijke waterkwaliteit wordt uitgegaan (bijvoorbeeld zacht leidingwater, tot ca. 8 °D).

Soms is wel beluchting van het 'gesloten' systeem mogelijk, bijvoorbeeld via een atmosferische buffertank. Het systeem wordt dan gevoeliger voor corrosie, zodat aan een conditionering van het koelwater goede aandacht moet worden geschonken. De eerste vulling van het systeem kan met leidingwater gebeuren, daarna zal bij voorkeur met onthard water, demiwater of condensaat moeten worden gesuppleerd om hardheidsafzettingen te voorkomen. Het verdient aanbeveling deze kleine systemen zoveel mogelijk in corrosievast materiaal uit te voeren. Is laatstgenoemde niet mogelijk, dan is het beste om het systeem met zoutvrij water (demiwater, condensaat) te vullen waarbij het circulatiewater met behulp van wat loog gealkaliseerd wordt. Als in het koelsysteem verzinkt staal of aluminium voorkomt, is alkaliseren niet mogelijk. Vaak worden corrosie-inhibitoren op basis van molybdaat, nitriet, silicaten en azolen toegepast, waarbij in de formulering pH-stabilisatoren als boorzuur en dergelijke zijn opgenomen.

Soms wordt een stikstofkussen in een buffertank onderhouden of wordt het water via een membraan van de lucht gescheiden.



## Bijlage 5    Overzicht van de corrosiegevoeligheid van materialen en gebruik van specifieke corrosie-inhibitoren

| Constructie materialen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Veel gebruikte inhibitoren                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Corrosiearm of -vrij:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– gecoat staal (bijvoorbeeld ingebrande coatings; van epoxy- en fenolformaldehydharzen);</li> <li>– alle kunststoffen;</li> <li>– diverse hoogwaardige staalsoorten en speciale legeringen (bijvoorbeeld nikkellegeringen);</li> <li>– titaan.</li> </ul> <p><i>Corrosiegevoelig:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– onbeschermd (koolstof)staal;</li> </ul> <p><i>Tussenpositie met betrekking tot corrosiegevoeligheid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– zink of verzinkt materiaal (pH-afhankelijk, bij voorkeur tussen 6,5 en 8,5);</li> <li>– aluminium (pH-afhankelijk, bij voorkeur tussen 6,0 en 8,0);</li> <li>– koper en koperhoudende legeringen (mogelijke aantasting door agressief water, ammoniak);</li> <li>– roestvaststaal (in verband met chloride 'pitting', met name r.v.s. 304);</li> <li>– hout;</li> <li>– beton.</li> </ul> | <p>molybdaat/<br/>org. polymeren</p> <p>org. polymeren</p> <p>molybdaat</p> <p>azolen</p> |

- Noot:  
niet alle materialen zijn of worden overal ingezet. Hout en beton bijvoorbeeld worden hoofdzakelijk gebruikt in zeer grote koeltorens.

## Bijlage 6 Koelwatergebruik in de industrie

### A. Gemiddeld koelwatergebruik in de verschillende branches per toegevoegde waarde en per vestiging (bron [17])

| SBI   | Industrie              | Totaal koelwaterverbruik per             |                                      | Leiding- en grondwatergebruik per |                                      |
|-------|------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
|       |                        | TW <sup>1)</sup><br>(m <sup>3</sup> /kf) | Vestiging<br>(1.000 m <sup>2</sup> ) | TW<br>(m <sup>3</sup> /kf)        | Vestiging<br>(1.000 m <sup>2</sup> ) |
| 21/21 | Voedings- & genotmidd. | 14,1                                     | 184                                  | 5,4                               | 70,4                                 |
| 22    | Textiel                | 2,3                                      | 15                                   | 0,4                               | 2,9                                  |
| 26    | Papier & karton        | 15,5                                     | 222                                  | 3,2                               | 46,1                                 |
| 27    | Grafische              | 0,4                                      | 3                                    | 0,4                               | 2,7                                  |
| 28    | Aardolie(produkten)    | 297,0                                    | 23.034                               | 1,1                               | 83,8                                 |
| 29/30 | Chemische              | 213,6                                    | 7.581                                | 3,5                               | 123,3                                |
| 31    | Kunststofverw.         | 7,0                                      | 51                                   | 5,5                               | 40,1                                 |
| 32    | Bouwmaterialen         | 3,2                                      | 24                                   | 2,3                               | 17,4                                 |
| 33    | Basismetaal            | 87,1                                     | 4.152                                | 23,0                              | 1.095,2                              |
| 34    | Metaalprodukten        | 2,2                                      | 10                                   | 1,3                               | 6,1                                  |
| 35    | Machine                | 0,4                                      | 3                                    | 0,3                               | 1,6                                  |
| 36    | Elektrotechnische      | 1,0                                      | 27                                   | 0,8                               | 20,2                                 |
| 37    | Transportmiddelen      | 1,0                                      | 11                                   | 0,8                               | 7,9                                  |
| 1-3   | Totaal industrie       | 59,6                                     | 592                                  | 3,6                               | 35,8                                 |
| 4011  | Elektriciteitscentrale | 1.984,9                                  | 104.432                              | 0,0                               | 0,0                                  |

<sup>1)</sup> De toegevoegde waarde (TW) bedraagt ongeveer 30-50% van de omzet.



*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

**B. Zoet grondwaterverbruik in de industrie voor koeling en in totaal**  
 Alle waarden in  $10^6 \text{ m}^3$

| Jaar                        | 1962   |         | 1972   |                                | 1981   |         | 1989   |         |
|-----------------------------|--------|---------|--------|--------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| Provincie                   | Totaal | Koeling | Totaal | Koeling                        | Totaal | Koeling | Totaal | Koeling |
| Groningen                   | 24     | 4       | 27     | 9                              | 19     | 4       | 18     | 2       |
| Friesland                   | 18     | 15      | 20     | 18                             | 17     | 15      | 13     | 12      |
| Drenthe                     | 15     | 7       | 27     | 18                             | 17     | 11      | 14     | 11      |
| Overijssel                  | 38     | 18      | 32     | 19                             | 19     | 13      | 18     | 13      |
| Gelderland                  | 104    | 23      | 101    | 34                             | 59     | 22      | 83     | 28      |
| Utrecht                     | 17     | 10      | 23     | 17                             | 13     | 9       | 15     | 10      |
| Noord-Holland               | 32     | 21      | 13     | 10                             | 6      | 5       | 4      | 3       |
| Zuid-Holland                | 37     | 24      | 25     | 20                             | 11     | 8       | 9      | 6       |
| Zeeland                     | 1      |         | 1      | 1                              |        |         |        |         |
| Noord-Brabant               | 65     | 29      | 107    | 59                             | 58     | 29      | 67     | 31      |
| Limburg                     | 52     | 13      | 50     | 24                             | 28     | 13      | 47     | 14      |
| Flevoland                   |        |         |        |                                |        |         |        |         |
| Totaal                      | 403    | 164     | 426    | 229                            | 247    | 129     | 288    | 130     |
| Niet-industriële gebruikers |        |         |        | Waterleidingbedrijven          |        |         | 770    |         |
|                             |        |         |        | Land- & Tuinbouw <sup>1)</sup> |        |         | 170    |         |
|                             |        |         |        | Overig                         |        |         | ca.22  |         |
|                             |        |         |        | Totaal                         |        |         | 1.260  |         |

<sup>1)</sup> Schatting voor een gemiddeld jaar, waarbij 50% grondwater wordt ingezet (In een extreem droog jaar wordt naar schatting ca. 700 miljoen  $\text{m}^3$  grondwater onttrokken ofwel; ca.  $1460 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  inclusief oppervlaktewater (Rijtema, 1986)).

---

*Verkenning van mogelijkheden tot innovatie van koelwatersystemen, ter vermindering van milieu-effecten*

**C. Grondwaterverbruik (zoet + zout/brak) in de voedingsmiddelenindustrie**  
 Alle waarden in  $10^6 \text{ m}^3$  (bron: [17])

| SBI  | Subbedrijfsgroep                  | Koelwater | Proceswater | Totaal<br>1986 |
|------|-----------------------------------|-----------|-------------|----------------|
| 20.1 | Slachterijen en vleesverwerking   | 8,5       | 8,1         | 16,6           |
| 20.2 | Zuivelindustrie                   | 31,7      | 8,4         | 40,2           |
| 20.3 | Visbewerking                      | 0,4       | 0,9         | 1,3            |
| 20.4 | Meelfabrieken                     | 2,4       | 0,6         | 3,0            |
| 20.5 | Suikerindustrie                   | 0,8       | 0,8         | 1,7            |
| 20.6 | Margarine, vet en olie            | 1,9       | 0,2         | 2,2            |
| 20.7 | Groente- en fruitverwerking       | 4,7       | 5,3         | 10,0           |
| 20.8 | Brood en banket                   | 0,4       |             | 0,4            |
| 20.9 | Cacao, suikerwerk                 | 3,1       | 0,6         | 3,8            |
| 21.1 | Zetmeelindustrie                  | 0,7       | 4,7         | 5,4            |
| 21.2 | Veevoederindustrie                | 3,1       | 0,4         | 3,5            |
| 21.3 | Overige voedingsmiddelenindustrie | 5,3       | 2,0         | 7,3            |
| 21.4 | Alcohol en destilleerderijen      | 14,7      | 0,8         | 15,5           |
| 21.5 | Mout en bier                      | ± 6,5     | ± 6,5       | ± 13,0         |
| 21.6 | Frisdranken                       | 0,7       | 0,2         | 0,9            |
| 21.7 | Tabak                             | 0,1       |             | 0,1            |
|      | Totaal                            | 85,1      | 39,7        | 124,8          |



## **Bijlage 7    Belangrijkste criteria/aspecten voor selectie en bouw van koelsysteem**

In onderstaande lijst is aangenomen dat de mogelijkheden tot energierugwinning reeds via een exergie-analyse of Pinch technologie zijn geïnventariseerd en benut.

Hoofdtype koelsysteem, subsystemen en systeem lay-out:

- Capaciteit(en).
- De te bereiken eindtemperatuur(en); het koeltraject.
- Decentrale of centrale koeling.
- Mogelijkheden tot serieschakeling van te koelen objecten.
- Leidingaanleg.
- Risico's/gevolgen van lekkages naar en van processen/processtromen.

Koelwaterbron en koelwaterbehandeling (indien van toepassing):

- De beschikbaarheid van grondwater of oppervlaktewater, inclusief vergunningen; de mogelijkheid om eventueel condensaat óf procesafvalwater als suppletiewater te gebruiken.
- Kwaliteit van het koelmedium (pH, totaal-zoutgehalte, hardheid, agressiviteit, ijzer, mangaan, chloride etc.), in relatie met de gevoeligheid van het systeem voor vervuiling.
- Koelwaterbehandeling en/of -conditionering in relatie tot de materiaalkeuze(n) én de omvang van de spui c.q. bereikbare indikking.
- Mogelijk hergebruik van het koelwater voor procesdoeleinden en/of laag-energetische doeleinden (bijvoorbeeld ruimteverwarming).
- Lozingsmogelijkheden (WVO-vergunning; al dan niet beschikbaar zijn van een AWZI, waarop spuiwater zou kunnen worden geloosd).

Overige (milieu-)factoren:

- Omgevingsfactoren, bijvoorbeeld lokale luchtverontreinigingen, corrosie door zeewind (zout), plaatsingsmogelijkheden (ruimte), overlast (geluid, pluim, horizonvervuiling).
- Esthetische (uiterlijk) en bedrijfsculturele aspecten.

Kosten, duurzaamheid, bedrijfszekerheid:

- Betrouwbaarheid van het systeem; garantiebepalingen/service.
- Veronderstelde (technische en/of economische) levensduur van een systeem of systeemcomponenten.
- Benodigd onderhoud.
- Automatische of handmatige controle (ten aanzien van watersamenstelling en dergelijke) en regelingen.
- Kosten (investeringen en operationele kosten).

## **Bijlage 8 Waterzuivering bij koelwatersystemen**

### **Doelen koelwaterzuivering**

De behandeling van water kan gericht zijn op:

- a. verwijdering van milieubelastende stoffen;
- b. hergebruik van water, bijvoorbeeld als schrobwater elders in het bedrijf;
- c. terugwinning van waardevolle componenten (i.e. conditioneringsmiddelen);
- d. het langer in circulatie houden van koelwater;
- e. combinatie van meerdere doelen (a t/m d).

De doelen a t/m c zijn primair van toepassing op te lozen water, waardoor de behandeling feitelijk een eindzuivering is. Punt d betreft met name het koelwater in circulatiesystemen, waarvoor zowel de suppletie als het circulerende water in aanmerking komt.

### **Potentieel milieuvoordeel**

Het potentiële milieuvoordeel van koelwaterzuivering is relatief groot. Tevens kunnen er in bepaalde situaties ook economische voordelen aan zijn verbonden, met name als op het gebruik van hulpstoffen of op de kosten voor lozing/afvoer kan worden bezuinigd.

Het milieuvoordeel is direct gerelateerd aan de mate van verwijdering van stoffen uit het te lozen water en de reductie van het (netto) waterverbruik bij een bepaalde koelcapaciteit, mits gecorrigeerd voor de inspanning i.e. secundaire emissies van de waterbehandeling.

In analogie met de ervaring van waterzuiveringstechnieken in andere toepassingen, moet het in principe mogelijk worden geacht stoffen voor meer dan 90% uit het water te verwijderen. Uiteraard dienen de hiervoor te getroosten inspanningen (kosten) in redelijke verhouding te staan tot de reductie van emissies c.q. milieuverdienste (cf. waterkwaliteitsaanpak in de vergunningverlening).

Het jaarlijkse gebruik van conditioneringsmiddelen is geschat op 300 ton biociden en 1500 ton overige conditioneringsmiddelen. Bij vergaande invoering van koelwaterzuivering in Nederland wordt een vermindering van ruwweg 50 tot 80% op de emissies van deze middelen technisch haalbaar geacht. De conditioneringsmiddelen worden afhankelijk van de in te zetten zuiveringstechniek geconcentreerd tot een reststoffenstroom en/of afgebroken; dit laatste is met name mogelijk bij organische stoffen.

De mogelijkheden voor hergebruik van conditioneringsmiddelen en gezuiverd water zijn minder duidelijk en derhalve niet te kwantificeren. Voor de conditioneringsmiddelen wordt naar het onderstaande verwezen.

Gezuiverd koelwater is op uiteenlopende plaatsen in te zetten, mits van voldoende kwaliteit. Hierbij is de centrale vraag in hoeverre de gestelde kwaliteitseisen in een gegeven situatie gehaald en gegarandeerd kunnen worden, alsmede de vraag in hoeverre vraag en aanbod van gezuiverd water elkaar dekken.



## **Uitwerking 'oplossingsrichtingen'**

### **A. Koelwatertoebereiding**

In huidige circulatie koelsystemen wordt reeds per geval op economische gronden overwogen suppletiewater vooraf te behandelen. Het gaat daarbij om het verwijderen van stoffen waarvoor anders een relatief grote hoeveelheid conditioneringsmiddelen moet worden gebruikt om afzettingen en dergelijke te voorkomen. Meestal gaat het om deeltjesverwijdering (oppervlaktewater) of deelontharding (leiding- of bronwater). Verder kan bronwater eventueel worden ontijzerd of ontgast ( $H_2S$ ); zie ook bijlage 5. De vrijkomende, vaste stoffen worden in het algemeen zonder verdere behandeling gestort of geloosd.

In een dergelijk systeem met toebereid water kan met minder conditioneringsmiddelen worden volstaan en is een verdere indikking mogelijk. Spui is veelal nodig voor de zoutconcentraties die door de indikking te hoog oplopen. Een mogelijkheid is het vóór of tijdens gebruik in het koelsysteem (gedeeltelijk) ontzouten. Het systeem kan daardoor praktisch zonder spui gaan werken. Een techniek als ionenwisseling is daarbij te overwegen, maar heeft als nadeel dat door de regeneratie een extra zoutlast wordt geïntroduceerd. Omgekeerde osmose en elektrolyse lijken vooralsnog vanuit milieu-oogpunt interessanter. Onderzoek is wenselijk met betrekking tot:

- de haalbaarheid van deze technieken;
- de verenigbaarheid met huidige waterbehandelingsprogramma's;
- de combinatie met andere technieken voor waterbehandeling (deeltjesverwijdering) en de gewenste uitvoering;
- toepassingsplaats (op de suppletiestroom of op een deelstroom in het circuit).

### **B. Verwijdering en hergebruik conditioneringsmiddelen**

Hergebruik van conditioneringsmiddelen is in principe vanuit economisch oogpunt zinvol, omdat deze in de praktijk ca. 5 tot enkele honderden guldens per kg werkzame stof kosten. Relatief eenvoudige technieken kunnen voor de duurere middelen naar verwachting (vrijwel) kostendeekkend worden ingezet.

Een belangrijk aspect daarbij is de terugwinbaarheid van stoffen. Afhankelijk van de aard van de conditioneringsmiddelen en de samenstelling van het water zal mogelijk een deel niet terugwinbaar zijn. Dit is bijvoorbeeld een gevolg van irreversibele binding aan deeltjes of van (ongewenste) omzettingen waardoor de stof zijn activiteit heeft verloren. Ook is te verwachten dat sommige stoffen zich niet eenvoudig uit een mengsel van stoffen (incl. verontreinigingen) selectief laten afscheiden.

Relatief eenvoudige terugwintechnieken voor een lage concentratie, niet-vluchtige stof zijn in het algemeen gebaseerd op adsorptie of op (co)precipitatie. Dit levert een 'concentraat' dat eventueel een verdere opwerking moet ondergaan. Deze opwerking zal gezien de complexiteit van het concentraat, te weten een mengsel van allerlei stoffen, naar verwachting moeilijk op locatie ter hand kunnen worden genomen. Een mogelijke oplossing is dat de leveranciers van de conditioneringsmiddelen hiervoor geschikte systemen ontwikkelen.

Naar verwachting zal dit een impuls geven aan het ontwikkelen van stoffen die enerzijds met eenvoudige systemen uit water kunnen worden afgescheiden en anderzijds in zekere mate te hergebruiken zijn door middel van centrale opwerking.

Decentrale opwerking (bij de gebruiker) behoort eveneens tot de principiële mogelijkheden, maar hiervoor zal vermoedelijk als eis van de gebruiker gelden dat de opwerking relatief eenvoudig uit te voeren is. Het ligt dan voor de hand zoveel mogelijk een



rechtstreekse ofwel selectieve terugwinning van stoffen na te streven. Dit stelt hoge eisen aan de afscheidbaarheid van de stof én de daarvoor te gebruiken scheidingsmethode om de werkzame stof in een voldoende hoeveelheid en voldoende zuivere vorm terug te winnen. Hiervoor zullen dan ook nieuwe conditioneringsmiddelen en specifieke c.q. selectieve scheidingstechnieken ontwikkeld dienen te worden.

### C. Koelwaterhergebruik

Aangezien per situatie de eisen die aan het te hergebruiken water worden gesteld, zullen verschillen, is het niet zinvol in dit verband alle mogelijkheden in detail te bespreken. Volstaan wordt met het noemen van enkele knelpunten.

- Doorstroomsystemen laten de kwaliteit van het gebruikte water in principe ongewijzigd, omdat nauwelijks conditioneringsmiddelen worden gebruikt. Toch kan het water allerlei verontreinigingen bevatten, die bij de gekoelde apparatuur door geringe lekkages in het water terechtkomen, alsmede een verhoogde biologische activiteit. Teneinde veilig hergebruik van water mogelijk te maken, zal een monitorsysteem voor de kwaliteit van het water nodig zijn. Daarnaast verdient het de voorkeur koelsystemen uit te voeren als (of te vervangen door) een lekkage-arm systeem, waarmee verontreiniging van het water in preventieve zin wordt voorkomen.  
Voor desinfectie zijn systemen verkrijgbaar (of in ontwikkeling) die zonder chemicaliën werken, bijvoorbeeld UV-desinfectie. Een probleem van deze laatste methode is dat het alleen ter plekke van de UV-bron werkt.
- Indien een circulatiekoelsysteem wordt gebruikt zal de spuiroom relatief klein zijn en in het algemeen diverse conditioneringsmiddelen bevatten. De beperkte omvang van de stroom maakt hergebruik vaak minder interessant, mede omdat er in veel bedrijven een piekbehoefte voor (proces)water bestaat die dan slechts via bufferbassins is op te vangen. Niet bekend is hoe koelwater het best kan worden gezuiverd om de aanwezige conditioneringsmiddelen (eventueel biociden) vergaand te verwijderen. Gezien de ervaringen met waterzuiveringstechnieken kan echter worden vermoed dat de kosten voor zuivering de kosten voor leidingwater vooralsnog overtreffen, ténzij conditioneringsmiddelen kunnen worden hergebruikt (zie B). In andere gevallen verdient laagwaardig gebruik met een minder vergaande zuivering (bijvoorbeeld spoelwater toiletten, schrobwater) mogelijk de voorkeur.



## Bijlage 9    Meten en monitoren van de koelwaterconditie en de vervuiling in koelwatersystemen

### Inleiding

De belangrijkste chemische belasting van het milieu door koelwatersystemen wordt gevormd door lozing en spui van koelwater waaraan conditioneringsmiddelen zijn toegevoegd. Vermindering van deze belasting wordt bereikt door minder te lozen/spuien dan wel een lagere concentratie aan conditioneringsmiddelen toe te passen. Minder dosering van middelen heeft naast genoemd milieuvoordeel uiteraard ook economische voordelen, zodat minimalisatie steeds nagestreefd moet worden en in veel gevallen ook al nagestreefd wordt. Thans staan de beheerders van koelwatersystemen evenwel weinig verfijnde middelen ter beschikking om de dosering te optimaliseren. Optimaliseren houdt in het minimaliseren van de dosering met behoud van de werking: het op een acceptabel niveau houden van de vervuiling en corrosie.

Hiertoe zouden monitoringsystemen ontwikkeld kunnen worden:

- *monitoring van de koelwaterconditie*, i.e. monitoring van een of meerdere grootheden die maatgevend zijn voor de werkzaamheid van conditioneringsmiddelen;
- *monitoring van de koelwaterzijdig optredende vervuiling*, deze is ook van belang als er geen koelwaterconditionering wordt uitgevoerd.

Hierbij kunnen de volgende kanttekeningen worden gemaakt:

- bij monitoring van de koelwaterconditie, i.e. monitoring van de conditioneringsmiddelen-concentratie of van een afgeleide grootheid die maatgevend is voor de werkzaamheid, moet bekend zijn welke werkzaamheid minimaal noodzakelijk is om de gewenste vervuilings- en corrosie-inhibitie te realiseren;
- vervuiling-reductie c.q. -preventie is het doel van koelwaterconditionering, zodat het bewaken van de vervuilingstoestand van een warmtewisselaar direct informatie geeft over de effectiviteit van de koelwaterconditionering. Bij niet omkeerbare vervuilingsprocessen en bij het niet kunnen selecteren van een representatieve meetplaats, kan dosering van conditioneringsmiddelen op basis van monitoring van de vervuiling toch tot ongewenste vervuilingproblemen leiden.

Een consequentie van deze beide kanttekeningen is dat met elk monitoringsysteem in de praktijk ervaring moet worden opgedaan, teneinde een beter begrip te krijgen van de vervuilingsprocessen en vast te stellen wat de relatie is tussen het monitor-sigitaal en het vervuilingsgedrag van het koelwatersysteem. Kritische dosering van conditioneringsmiddelen zal op deze relaties gebaseerd moeten worden.

### Potentieel milieuvoordeel

Met de thans ter beschikking staande kennis van de werking van koelwaterconditionering en de beschikbare monitoringstechnieken mag niet verwacht worden dat altijd een minimale dosering van conditioneringsmiddelen op zal treden. Te lage dosering wordt eerst na enige tijd ontdekt doordat ontoelaatbare vervuiling optreedt. Een overschot aan middelen is 'veiliger', maar zal niet snel worden opgemerkt. Een probleem zal daarnaast altijd zijn de wisselende omstandigheden die optreden: samenstelling, temperatuur en aanwezige organismen in suppletiewater variëren, variabele, niet



voorspelbare hoeveelheden ingevangen verontreinigingen en micro-organismen (koeltorens) treden op, temperaturen van warmtewisselaars, totale koellast, enz. variëren in de tijd.

Een operator van een koelwatersysteem zal thans hierop anticiperen door een zekere overmaat aan conditioneringsmiddelen toe te voegen, teneinde een minder gevoelige conditionering te verkrijgen. Bij grote koelwatersystemen waarvoor permanent bedieningspersoneel aanwezig is, mag van een zo kritisch mogelijke dosering worden uitgegaan, bij kleinere minder bewaakte systemen, zal voor een hogere dosering worden gekozen, teneinde problemen en calamiteiten zo veel mogelijk uit te sluiten.

Door monitoring van de koelwaterconditie dan wel van de optredende vervuiling, kan tijdsafhankelijk de minimale dosering worden bepaald en daarmee kan op conditioneringsmiddelen worden bespaard. Kwantificering van het potentiële milieuvoordeel is zeer moeilijk. Een zeer globale schatting komt op een potentiële vermindering van ca. 20%.

### **Monitoring koelwaterconditie**

De ontwikkeling van een monitoringsysteem van de koelwaterconditie vereist oplossing van 2 fundamentele vragen:

- wat is een representatieve, te monitoren grootte;
- hoe is deze grootte te bepalen.

#### *Bepaling representatieve grootte*

Monitoring van de koelwaterconditie vereist inzicht in de werkzame stof, stoffen of combinatie van stoffen die de effectiviteit van de koelwaterconditionering bepalen. De veelheid van te bestrijden vervuilingstypen alsmede corrosie, die veelal gelijktijdig optreden, maken de selectie van een 'indicator-stof' naar verwachting complex. Fundamenteel inzicht in vervuilingsmechanismen en het effect van conditioneringsmiddelen daarop, moet de selectie onderbouwen.

#### *Meting representatieve grootte*

De geselecteerde 'indicator-stof' moet ten behoeve van de monitoring continue gemeten kunnen worden, in industriële koelwatersystemen. Daartoe moeten sensoren worden geselecteerd of ontwikkeld, eventueel in combinatie met de ontwikkeling van eenvoudig te monitoren conditioneringsmiddelen.

Daarnaast is er een duidelijke behoefte geïdentificeerd aan het vaststellen van de samenstelling van effluentstromen, waarbij veelal lage concentraties gedetecteerd moeten worden. Meting van de volgende componenten/indices is wenselijk: biociden, AOX, TOC, gechloreerde koelwaterstoffen, desinfectiemiddelen, toxiciteit, enz.

De ervaringen die inmiddels zijn opgebouwd met selectieve membranen en spectraal-selectieve optische detectiemethoden in vloeistoffen, kunnen hierbij worden ingezet.

### **Monitoring vervuiling**

De belangrijkste doelstelling van het toevoegen van conditioneringsmiddelen aan koelwater is de bestrijding van vervuiling van warmtewisselaars. Vervuiling veroorzaakt een verminderde warmteoverdracht, een hogere drukval en mogelijk het blokkeren van het koelwatertransport.



Door de ontwikkeling van monitoringsystemen van de koelwaterzijdig optredende vervuiling kan de vervuilingstoestand worden bewaakt, en kan het reinigingstijdstip dan wel de dosering van conditioneringsmiddelen worden geoptimaliseerd c.q. geminimaliseerd.

De thans toegepaste vervuilingsmonitoren zijn gebaseerd op het principe van afnemende warmteoverdracht door vervuiling. Andere meetprincipes, waarbij met name ook het begin van het vervuilingsproces gedetecteerd zou moeten worden, vragen om de ontwikkeling van fundamenteel nieuwe meetprincipes en -apparatuur.

Voor al de bestaande en nieuw te ontwikkelen vervuilingsmonitoren geldt:

- bij onomkeerbare vervuilingsprocessen is ieder begin van vervuiling ongewenst en vereist snelle detectie hiervan aandacht;
- bij monitoring van de vervuiling op één of slechts enkele plaatsen in koelwatersystemen met een groot aantal warmtewisselaars en verbindend pijpwerk is de keuze van representatieve plaatsen belangrijk;
- behalve bij industriële koelwatercircuits, kan een vervuilingsmonitor ook ingezet worden bij vergelijkende vervuilingstests van (nieuw ontwikkelde) conditioneringsmiddelen, andere materialen, andere warmtewisselaar-configuraties, enz.

#### *Meetprincipes vervuilingmonitoring*

Er bestaan enige meetprincipes en -apparaten voor de meting van koelwaterzijdige vervuiling. In alle gevallen betreft dit off-line meting, waarbij de vervuilingsofbouw optreedt in een by-pass van de hoofdstroom, waarin flow en temperatuur nauwkeurig constant worden gehouden [9.1].

De volgende 'meetprincipes' zijn beschikbaar:

- opstellingen, permanent of mobiel, waarin vervuiling aan verwarmde pijpen optreedt, waarvan het verloop in de tijd visueel wordt vastgesteld;
- een verwarmde testpijp, waarvan de overgedragen warmte op de vloeistof en de drukval, beide een maat voor de vervuiling, worden gemeten;
- een langzaam vervuilende testpijp wordt tot een bepaalde temperatuur verhit, waarna het afkoelgedrag na uitschakelen van de warmtetoevoer een maat is voor de warmteoverdracht en dus indirect voor de vervuiling [9.2].

#### *Referenties bij bijlage 9*

- 9.1. Bott, T.R.: Fouling Notebook; 1990.
- 9.2. Panchal, C.B.: Heat transfer monitor for measurement of fouling of industrial heat exchangers; February 1981.