
SAMENVATTING

Dit referentiedocument betreffende de beste beschikbare technieken voor industriële koelsystemen (BREF) is de schriftelijke neerslag van een informatie-uitwisseling die heeft plaatsgevonden overeenkomstig artikel 16, lid 2, van Richtlijn 96/61/EG van de Raad inzake IPPC. Het document dient te worden beschouwd in het licht van de inleiding, waarin het doel en het gebruik van het document worden beschreven.

Binnen het kader van de IPPC is de industriële koeltechniek aangemerkt als een horizontale kwestie. Dat houdt in dat de ‘beste beschikbare technieken’ in dit document worden beschreven zonder diep in te gaan op het te koelen productieproces. Niettemin worden de beste beschikbare technieken voor koelsystemen gezien tegen de achtergrond van de koelbehoefte van het productieproces. Het bepalen van de beste beschikbare techniek voor het koelen van een proces is een complexe materie. Implementatie van de desbetreffende techniek moet economisch en technisch haalbaar zijn en daarvoor moet worden gekeken naar de koelbehoefte van het proces, de locatiespecifieke factoren en de milieueisen.

De term ‘industriële koelsystemen’ heeft betrekking op systemen waarmee overmatige warmte wordt onttrokken aan een medium. Daarbij wordt water en/of lucht gebruikt om de temperatuur van het medium op het niveau van de omgeving te brengen.

In dit document worden de beste beschikbare technieken beschreven voor koelsystemen die fungeren als hulpsystemen binnen gangbare productieprocessen. Erkend wordt dat een goed functionerend koelsysteem het productieproces betrouwbaarder maakt. Er wordt in dit BREF-document echter geen aandacht geschonken aan de werking van een koelsysteem in relatie tot de veiligheid van het proces.

Dit document geeft een geïntegreerde benadering voor de bepaling van de beste beschikbare technieken voor industriële koelsystemen, maar erkent dat de uiteindelijke techniek dikwijls per locatie zal verschillen. Wat betreft de keuze voor een bepaald koelsysteem kan dit document niet meer doen dan bespreken welke elementen verband houden met de milieuprestaties van het koelsysteem. Het kan niet een keuze maken voor een van de toegepaste koelsystemen of bepaalde systemen (on)geschikt verklaren. Voor zover reductiemaatregelen worden toegepast, zal bij deze benadering de nadruk liggen op de cross-media-effecten, waarmee duidelijk wordt gemaakt dat het terugdringen van de verschillende soorten uitstoot bij koelsystemen een zaak is die afweging behoeft.

De vijf hoofdstukken van het hoofddocument beschrijven de gekozen benadering, de hoofdpunten en principes ervan, de koelsystemen en de milieuaspecten daarvan, alsmede de belangrijkste bevindingen en conclusies ten aanzien van de beste beschikbare technieken, en bevatten aanbevelingen voor toekomstige werkzaamheden. In elf bijlagen wordt achtergrondinformatie gegeven over bepaalde aspecten van het ontwerpen en de werking van koelsystemen en daarnaast worden er voorbeelden genoemd om de gekozen benadering te illustreren.

1. Geïntegreerde benadering

Bij de geïntegreerde benadering wordt naar de milieuprestaties van een koelsysteem gekeken binnen de context van de totale milieuprestatie van een productieproces. Het doel van deze benadering is het minimaliseren van de indirecte en directe effecten van de werking van een koelsysteem. De ervaring leert namelijk dat de milieuprestaties bij het koelen van een proces grotendeels afhangen van het soort koelsysteem en het ontwerp van dat systeem. Om die reden is de aanpak bij nieuwe installaties in eerste instantie gericht op het voorkomen van emissies door een goede configuratie voor het koelsysteem te kiezen en ervoor te zorgen dat constructie

en ontwerp van het koelsysteem deugdelijk zijn. Voorts kan de uitstoot nog worden teruggebracht door de dagelijkse werking te optimaliseren.

Voor bestaande koelsystemen zijn de mogelijkheden voor preventie via technische maatregelen op de korte termijn geringer. De nadruk ligt daarom op het terugdringen van de emissie via optimalisering van de werking en systeemcontrole. Voor bestaande systemen kan een groot aantal parameters (ruimte, beschikbaarheid van exploitatiemiddelen en wettelijke beperkingen) al vastliggen. In dat geval is weinig ruimte voor veranderingen. De algemene benadering ten aanzien van de beste beschikbare technieken die hier wordt gevolgd, is echter veeleer een langetermijnbenadering, waarbij ruimte is voor de periodieke vervanging van de apparatuur bij bestaande installaties.

Bij de hier gekozen benadering wordt erkend dat koeling een essentieel onderdeel van tal van productieprocessen vormt en als een belangrijk element binnen het energiebeheersysteem in zijn geheel moet worden beschouwd. Een efficiënt gebruik van energie binnen productieprocessen is zeer belangrijk uit het oogpunt van milieu en rentabiliteit. Gebruik van de beste beschikbare technieken houdt in de eerste plaats in dat er aandacht moet worden besteed aan de algehele energie-efficiëntie van productie- en fabricageprocessen voordat er maatregelen worden genomen ter optimalisering van het koelsysteem. Om de algehele efficiëntie op energiegebied te verbeteren, streeft de bedrijfstak naar een vermindering van de hoeveelheid niet-terugwinbare warmte door een goed energiebeheersingsbeleid en door gebruik te maken van een aantal geïntegreerde energiebesparingsprogramma's. Daarbij gaat het zowel om de uitwisseling van energie tussen de verschillende eenheden binnen het te koelen productie- of fabricageproces als om externe verbindingen met naburige processen. Toenemende populariteit geniet het concept voor warmteterugwinning op industrieterreinen. Verschillende locaties worden aan elkaar gekoppeld of gekoppeld aan stadsverwarmingsprojecten of broeikasen. Als hergebruik of terugwinning van warmte niet mogelijk is, moet de warmte wellicht aan de omgeving worden vrijgegeven.

Niet-terugwinbare warmte wordt onderscheiden in diverse niveaus: laag (10-25°C), midden (25-60°C) en hoog niveau (60°C). Over het algemeen worden natte koelsystemen toegepast voor warmte van laag niveau en droge koelsystemen voor warmte van hoog niveau. Voor het middenniveau is er niet één koelsysteem dat de voorkeur verdient en worden verschillende configuraties gebruikt.

Na optimalisering van de algehele energie-efficiëntie van het productie- of fabricageproces blijft er een bepaalde hoeveelheid niet-terugwinbare warmte van een bepaald niveau over. Bij het kiezen van een koelconfiguratie waarmee deze warmte kan worden afgevoerd, kunnen de volgende factoren in aanmerking worden genomen:

- de koelbehoefte van het proces,
- de beperkingen van de locatie (inclusief lokale wetgeving) en
- de milieueisen.

Met het oog op de betrouwbaarheid van het proces moet altijd worden voldaan aan de koelbehoefte van een gegeven productie- of fabricageproces, inclusief aanloop en stopzetting. De vereiste minimale procestemperatuur en de vereiste koelcapaciteit moeten te allen tijde worden gegarandeerd. Alleen zo kan de efficiëntie van het productie- of fabricageproces worden verbeterd, het productverlies worden teruggedrongen en de uitstoot in het milieu worden verminderd. Des te temperatuurgevoeliger deze processen zijn, des te belangrijker dit wordt.

De locatie bepaalt welke ontwerpmogelijkheden er zijn en hoe een koelsysteem kan werken. De opties zijn afhankelijk van het klimaat, de beschikbaarheid van water voor koel- en afvoerdoeleinden, de beschikbare ruimte voor bepaalde constructies en de vraag hoe gevoelig de omringende omgeving is voor emissies. Naar gelang de procesvereisten en de vereiste

koelcapaciteit is het kiezen van de juiste locatie voor een nieuwe installatie van groot belang (bijv. grote koudwaterbronnen). Als de keuze voor een bepaalde locatie wordt bepaald door andere criteria of als het gaat om bestaande koelsystemen, liggen de koelbehoefte en de locatiekenmerken vast.

Voor koelprocessen is het plaatselijke klimaat van belang omdat dat invloed heeft op de temperatuur van de uiteindelijke koelmedia water en lucht. Het plaatselijke klimaat wordt gekenmerkt door het patroon van natte en droge boltemperaturen. Koelsystemen zijn doorgaans zo geconstrueerd dat ze voldoen aan de koelvereisten onder de minst gunstige klimatologische omstandigheden die ter plaatse mogelijk zijn, d.w.z. met de hoogste natte en droge boltemperaturen.

De volgende stap bij de keuze voor een bepaald koelsysteem en een bepaald ontwerp heeft betrekking op de vereisten voor de beste beschikbare technieken. Deze moeten worden afgestemd op de eisen die het te koelen proces stelt, en op de beperkingen van de locatie. Dat betekent dat de nadruk ligt op de keuze van het juiste materiaal en de juiste apparatuur om de onderhoudsvraag te beperken, de werking van het koelsysteem te vergemakkelijken en milieueisen te realiseren. Naast de afgifte van warmte aan de omgeving kunnen zich nog andere milieueffecten voordoen zoals de uitstoot van additieven die voor de conditionering van koelsystemen worden gebruikt. Benadrukt wordt dat, als de hoeveelheid en het niveau van de af te voeren warmte kan worden gereduceerd, de milieueffecten van het industriële koelsysteem geringer zullen zijn.

De principes van de benadering met betrekking tot de bepaling van de beste beschikbare technieken kunnen ook worden toegepast op bestaande koelsystemen. Technologische opties, zoals wijzigingen in de koeltechniek of wijziging van de bestaande apparatuur of de gebruikte chemicaliën, zijn niet uitgesloten maar kunnen slechts in beperkte mate worden toegepast.

2. Toegepaste koelsystemen

Koelsystemen zijn gebaseerd op thermodynamische principes en bevorderen de uitwisseling van warmte tussen proces en koelmedium en zorgen ervoor dat niet-terugwinbare warmte wordt afgegeven aan de omgeving. Industriële koelsystemen kunnen worden onderverdeeld naar ontwerp en naar hoofdkoelprincipe: water of lucht, of een combinatie van water en lucht als koelmedium.

De uitwisseling van warmte tussen procesmedium en koelmedium wordt versterkt door warmtewisselaars. Vanaf de warmtewisselaar transporteert het koelmedium de warmte naar de omgeving. In open systemen staat het koelmedium in contact met de omgeving. In gesloten systemen circuleert het koel- of procesmedium in buizen of slangen en is er geen direct contact met de omgeving.

Open koelwatersystemen worden veel toegepast bij installaties met een grote capaciteit op plekken waar voldoende koelwater en ontvangend oppervlaktewater beschikbaar is. Als er geen betrouwbare waterbron beschikbaar is, wordt er gebruik gemaakt van recirculatiesystemen (koeltorens).

In open recirculatietorens koelt het koelwater af door contact met een luchtstroom. De torens zijn voorzien van apparatuur om het contact tussen water en lucht te bevorderen. De luchtstroom kan mechanisch worden opgewekt met ventilatoren. Soms wordt er ook gebruik gemaakt van een natuurlijke luchtstroom. Koeltorens met ventilatoren zijn veelal te vinden in kleine en grote toepassingen. Koeltorens met een natuurlijke luchtstroom worden doorgaans gebruikt voor grote installaties (bijv. energiecentrales).

In gesloten systemen worden de buizen of slangen waarin het koelmedium of procesmedium circuleert, gekoeld. De buizen koelen op hun beurt weer de stof die erdoorheen loopt. Bij natte

systemen worden de buizen of slangen besproeid met water. Door een luchtstroom verdampt het water en koelen de buizen/slangen af. Bij droge systemen loopt er alleen een luchtstroom langs de buizen/slangen. In beide gevallen kunnen de slangen zijn uitgerust met koelvinnen die het koeloppervlak en daarmee ook het koeffect vergroten. Gesloten natte systemen worden veel gebruikt voor kleinere capaciteiten. Het principe van de droge-luchtstroomkoeling wordt gebruikt voor kleinere industriële toepassingen en in grote elektriciteitscentrales als er niet voldoende water beschikbaar is of water erg duur is.

Open en gesloten hybride koelsystemen zijn speciale mechanische torens voor natte en droge toepassingen waarmee de vorming van zichtbare waterdamppluimen kan worden verminderd. Het systeem kan als droog systeem (met name kleine celachtige eenheden) worden gebruikt als de omgevingstemperatuur laag is. Het jaarlijkse waterverbruik neemt daardoor af en ook de zichtbare waterdamppluim wordt gereduceerd.

Tabel 1: Voorbeelden van de technische en thermodynamische kenmerken van diverse koelsystemen voor industriële toepassingen (anders dan elektriciteitscentrales)

Koelsysteem	Koel-medium	Hoofd-koelprincipe	Minimale koelgrens-afstanden (K) ⁴⁾	Minimale eindtemperatuur van het procesmedium ⁵⁾ (°C)	Capaciteit van het productieproces (MW _{th})
Open koelsysteem - direct	water	conductie/convectie	3 – 5	18 – 20	<0,01 - > 2.000
Open koelsysteem - indirect	water	conductie/convectie	6 – 10	21 – 25	<0,01 - > 1.000
Open recirculatie-koelsysteem - direct	water ¹⁾ lucht ²⁾	verdamping ³⁾	6 – 10	27 – 31	< 0,1 - >2.000
Open recirculatie-koelsysteem - indirect	water ¹⁾ lucht ²⁾	verdamping ³⁾	9 – 15	30 – 36	< 0,1 - > 200
Gesloten nat koelsysteem	water ¹⁾ lucht ²⁾	verdamping + convectie	7 – 14 ⁷⁾	28 – 35	0,2 – 10
Gesloten droge-luchtkoeling	lucht	convectie	10 – 15	40 – 45	< 0,1 – 100
Open hybride koeling	water ¹⁾ lucht ²⁾	verdamping + convectie	7 – 14	28 – 35	0,15 – 2,5 ⁶⁾
Gesloten hybride koeling	water ¹⁾ lucht ²⁾	verdamping + convectie	7 – 14	28 – 35	0,15 – 2,5 ⁶⁾
Opmerkingen:					
1) Water is het secundaire koelmedium en wordt doorgaans gerecirculeerd. Als water verdampt, wordt de warmte aan de lucht afgegeven.					
2) Lucht is het koelmedium waarin warmte wordt afgegeven aan de omgeving.					
3) Verdamping is het belangrijkste koelprincipe. De warmte wordt ook overgedragen door conductie/convectie maar op kleinere schaal.					

- | | |
|----|---|
| 4) | Koelgrensafstanden in verhouding tot droge of natte boltemperaturen
Koelgrensafstanden van warmtewisselaar en koeltoren moeten opgeteld |
| 5) | Eindtemperaturen zijn afhankelijk van het plaatselijke klimaat (de gegevens zijn geldig voor gemiddelde Midden-Europese klimatologische omstandigheden)
30°/21°C voor droge / natte boltemperatuur en 15°C voor max. water temperatuur |
| 6) | Capaciteit van kleine eenheden – bij een combinatie van verschillende eenheden of speciale koelsystemen kan een hogere capaciteit worden bereikt. |
| 7) | Als er sprake is van een indirect systeem of als er tevens convectie plaatsvindt, moet de koelgrensafstand in dit voorbeeld worden verhoogd met 3-5K, wat leidt tot een hogere procestemperatuur |

De tabel toont de eigenschappen van in gebruik zijnde koelsystemen onder bepaalde klimatologische omstandigheden. De eindtemperatuur van het procesmedium dat na koeling de warmtewisselaar verlaat, is afhankelijk van de temperatuur van het koelmedium en het ontwerp van het koelsysteem. Water heeft een hogere soortelijke warmte dan lucht en is daarom een geschikter koelmedium. De temperatuur van het koelmedium lucht en water is afhankelijk van de plaatselijke droge en natte boltemperaturen. Hoe hoger de boltemperaturen zijn, hoe moeilijker het is om de eindtemperaturen van het proces door afkoeling naar beneden te krijgen.

De eindtemperatuur van het proces is de som van laagste omgevingstemperatuur (koelmedium) en het minimaal vereiste verschil in temperatuur tussen koelmedium (bij binnenkomst van het koelsysteem) en het procesmedium (bij verlaten van het koelsysteem) voor de warmtewisselaar, ook wel (thermische) koelgrensafstand genoemd. Technisch gezien kan de koelgrensafstand heel gering zijn, maar de kosten zijn omgekeerd evenredig aan de omvang. Hoe kleiner de koelgrensafstand, des te lager de eindtemperatuur van het proces kan zijn. Bij elke warmtewisselaar hoort een bepaalde een koelgrensafstand en als sprake is van extra in serie geschakelde warmtewisselaars moeten alle koelgrensafstanden bij de temperatuur van het koelmedium worden opgeteld (bij binnenkomst van het koelsysteem) om de haalbare eindtemperatuur van het proces te kunnen berekenen. Extra warmtewisselaars worden gebruikt bij indirecte koelsystemen waar een extra koelcircuit is toegepast. Dit secundaire circuit en het primaire koelcircuit zijn met elkaar verbonden via een warmtewisselaar. Indirecte koelsystemen worden toegepast als er absoluut geen stoffen uit het proces in het milieu mogen lekken.

Bij koelsystemen die doorgaans voor elektriciteitscentrales worden toegepast, gelden iets andere minimale koelgrensafstanden en koelcapaciteiten dan bij andere toepassingen omdat het stoomcondensatieproces speciale eisen stelt. De verschillende koelgrensafstanden en relevante stroomopwekkingscapaciteiten worden in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2: Voorbeelden van de capaciteit en de thermodynamische kenmerken van verschillende koelsystemen voor toepassingen bij elektriciteitscentrales

Koelsysteem	Toegepaste koelgrensafstanden (K)	Capaciteit stroomopwekkingsproces (MW_{th})
Open koelwatersystemen	13-20 (eindverschil 3-5)	< 2.700
Open natte koeltoren	7-15	< 2.700
Open hybride koeltoren	15-20	< 2.500
Droge-luchtgekoelde condensor	15-25	< 900

3. Milieuaspecten van de in gebruik zijnde koelsystemen

De milieuaspecten van koelsystemen zijn afhankelijk van het soort koelconfiguratie, maar de nadruk ligt vooral op verbetering van de algehele energie-efficiëntie en vermindering van emissies in het aquatisch milieu. Het verbruik en de emissiewaarden zijn sterk afhankelijk van de locatie en voor zover ze kwantificeerbaar zijn, vertonen ze grote verschillen. Volgens de

filosofie achter de geïntegreerde benadering ten aanzien van de beste beschikbare technieken moet rekening worden gehouden met cross-media-effecten bij het beoordelen van de afzonderlijke milieuaspecten en de terugdringingsmaatregelen die daarmee samenhangen.

- **Energieverbruik**

Het specifieke directe en indirecte energieverbruik is een belangrijk milieuaspect dat betrekking heeft op alle koelsystemen. Het specifieke indirecte energieverbruik is het energieverbruik van het te koelen proces. Dit indirecte energieverbruik kan stijgen als gevolg van een niet optimale koelprestatie van de in gebruik zijnde koelconfiguratie die ertoe kan leiden dat de temperatuur van het proces stijgt (ΔK) en wordt uitgedrukt in $kW_e/MW_{th}/K$.

Het specifieke directe energieverbruik van een koelsysteem wordt uitgedrukt in kW_e/MW_{th} en heeft betrekking op de hoeveelheid energie die door alle stroomverbruikende apparatuur (pompen, ventilatoren) van het koelsysteem wordt verbruikt voor elke MW_{th} die het afgeeft.

Maatregelen om het specifieke indirecte energieverbruik terug te dringen, zijn:

- het kiezen van een koelconfiguratie met het laagste specifieke indirecte energieverbruik (doorgaans open koelwatersystemen),
- het toepassen van een ontwerp met kleine koelgrensafstanden en
- het verminderen van de weerstand tegen warmteoverdracht door goed onderhoud van het koelsysteem.

Bij elektriciteitscentrales bijvoorbeeld betekent een overgang van open koeling naar recirculatiekoeling dat er meer energie wordt verbruikt voor hulpapparatuur en dat de efficiëntie in de thermische cyclus afneemt.

Het directe specifieke energieverbruik kan worden verminderd door pompen en ventilatoren met een hoger rendement te gebruiken. Weerstands- en drukdalingen in het proces kunnen worden verminderd door het ontwerp van het koelsysteem aan te passen en door gebruik te maken van drift-eliminators en een torenvulling met een lage weerstand. Wanneer de mechanische of chemische reiniging van de oppervlakken goed wordt uitgevoerd, blijft de lage weerstand behouden als de installatie in bedrijf is.

- **Water**

Water is als voornaamste koelmedium van groot belang voor natte koelsystemen, maar het speelt ook een belangrijke rol als ontvangende omgeving voor de afvoer van koelwater. Als het water in grote hoeveelheden wordt toegevoerd, kunnen er vissen of andere waterorganismen worden meegesleept. Als er grote hoeveelheden warm water worden geloosd kan dat ook gevolgen hebben voor het aquatisch milieu. Dat effect kan echter worden beperkt door de locatie voor de wateropname en lozing goed te kiezen en onderzoek te doen naar de getij- of riviermondstromingen om ervoor te zorgen dat het warme water goed mengt en er advectieve dispersie plaatsvindt.

Het waterverbruik varieert van $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/MW_{th}$ voor een open hybride toren tot $86 \text{ m}^3/\text{h}/MW_{th}$ voor een open koelwatersysteem. Voor een reductie van de grote watertoevoer bij open koelsystemen moet er worden omgeschakeld op recirculatiekoeling. Dan neemt ook de lozing van grote hoeveelheden warm koelwater af en kan de uitstoot van chemicaliën en afval worden beperkt. Bij recirculatiesystemen kan het waterverbruik worden teruggedrongen door het aantal cycli op te voeren, de kwaliteit van het suppletiewater te verbeteren of door het gebruik van de beschikbare afvalwaterbronnen op of buiten de locatie te optimaliseren. Voor beide opties is een complex koelwaterbehandelingsprogramma nodig. Bij hybride koeling kan gedurende een aantal periodes per jaar droge koeling worden toegepast als de koelbehoefte kleiner of de luchttemperatuur laag is. Op die manier kan het waterverbruik, met name voor kleine celachtige

eenheden, worden teruggedrongen.

Het ontwerp en de plaats van de inlaat en diverse onderdelen (schermen, keringen, licht, geluid) worden zodanig gekozen dat er minder waterorganismen worden meegesleept. Het effect van de speciale onderdelen hangt van de diersoort af. De kosten zijn hoog en dit soort maatregelen wordt bij voorkeur toegepast bij nieuwe projecten. De uitstoot van warm koelwater in het ontvangende oppervlaktewater kan worden teruggebracht door de vereiste koelcapaciteit te verlagen, waar dat mogelijk is. Een middel om dit te bereiken, is hergebruik van warmte.

- **Emissies van warmte in het oppervlaktewater**

Zoals reeds vermeld kan de emissie van warmte in het oppervlaktewater gevolgen hebben voor het milieu van het ontvangende oppervlaktewater. De factoren die daarbij een rol spelen, zijn o.a. de beschikbare koelcapaciteit van het ontvangende oppervlaktewater, de temperatuur en de ecologische status van het oppervlaktewater. De emissie van warmte kan leiden tot overschrijding van de MKN voor temperatuur in warme zomers omdat het koelwater te veel warmte afgeeft aan het oppervlaktewater. Voor twee ecologische systemen (water voor zalmachtigen en water voor karperachtigen) zijn thermische eisen opgenomen in Richtlijn 78/659/EEG. Voor het milieueffect van de warmte-uitstoot is niet alleen de daadwerkelijke temperatuur van het water van belang, maar ook de temperatuurstijging op de grens van het gebied waar de vermenging plaatsvindt als gevolg van de afgifte van warmte aan het water. Hoeveelheid en niveau van de warmte die wordt afgegeven aan het oppervlaktewater, en de afmetingen van het ontvangende oppervlaktewater bepalen de ernst van de gevolgen voor het milieu. Als er warmte wordt afgegeven aan een relatief klein oppervlaktewater en de warmwaterpluim de overkant van de rivier of het kanaal bereikt, kan dat een belemmering vormen voor de migratie van zalmachtigen.

Afgezien van deze effecten kan een hoge temperatuur door de uitstoot van warmte ook resulteren in een verhoogde gasstofwisseling en biologische productie (eutrofiëring), hetgeen leidt tot een lagere zuurstofconcentratie in het water.

Bij de bouw van een koelsysteem moet aandacht worden geschonken aan bovengenoemde aspecten en aan mogelijkheden om de warmteafgifte in het oppervlaktewater tegen te gaan.

- **Emissies van stoffen in het oppervlaktewater**

Emissies in het oppervlaktewater worden bij koelsystemen veroorzaakt door:

- koelwateradditieven en de reactanten daarvan,
- uit de lucht afkomstige stoffen die via een koeltoren binnenkomen,
- corrosieproducten die worden veroorzaakt door corrosie van de koelsysteemapparatuur
- het lekken van proceschemicaliën (product) en hun reactieproducten.

Soms moet het koelwater voor een goed functionerend koelsysteem worden behandeld tegen corrosie van de apparatuur, afschilfering en micro- en macrofouling. Er zijn een aantal verschillen tussen de behandelingen bij open koelwatersystemen en recirculatiekoelsystemen. Bij recirculatiekoelsystemen kan het behandelingsprogramma zeer complex zijn en wordt soms een groot aantal verschillende chemicaliën gebruikt. Als gevolg daarvan zijn er grote verschillen in de emissieniveaus in het spuiwater van deze systemen en zijn er nauwelijks representatieve emissieniveaus te geven. Soms wordt het spuiwater behandeld voordat het wordt geloosd.

De uitstoot van oxiderende biociden in open koelsystemen, gemeten als vrije oxidanten bij de uitlaat, ligt tussen 0,1 [mg FO/l] en 0,5 [mg FO/l], naar gelang het patroon en de frequentie van de dosering.

Tabel 3: Chemische bestanddelen bij koelwaterbehandelingen die worden toegepast in open en natte recirculatiekoelsystemen

Voorbeelden van chemische behandeling *	Waterkwaliteitsproblemen					
	corrosie		afschilfering		(bio-)fouling	
	open koelsystemen	recirculatiesystemen	open koelsystemen	recirculatiesystemen	open koelsystemen	recirculatiesystemen
zink		X				
molybdaten		X				
silicaten		X				
fosfonaten		X		X		
polyfosfonaten		X		X		
polyolesters				X		
natuurlijke organische stoffen				X		
polymeren	(X)		(X)	X		
niet-oxiderende biociden						X
oxiderende biociden					X	X

* chromaat wordt niet veel meer gebruikt vanwege de verstrekende gevolgen voor het milieu

Door bij de keuze voor koelapparatuur en de toepassing ervan te kijken of het materiaal geschikt is voor de omgeving waarin het gebruikt gaat worden, kan het gevaar voor lekkage en corrosie worden verminderd. Deze omgeving wordt omschreven aan de hand van:

- de procesvoorwaarden, zoals temperatuur, druk, stroomsnelheid,
- de media die worden gekoeld, en
- de chemische eigenschappen van het koelwater.

Materiaal dat normaal gesproken wordt gebruikt voor warmtewisselaars, leidingen, pompen en behuizingen, is koolstofstaal, koper-nikkel en verschillende kwaliteiten roestvrij staal, maar ook titanium (Ti) wordt steeds meer toegepast. Er worden ook coatings en verflagen aangebracht om het oppervlak te beschermen.

• Gebruik van biociden

Bij open koelwatersystemen worden voornamelijk oxiderende biociden gebruikt tegen macrofouling. Hoeveel er wordt verbruikt, kan worden uitgedrukt in de hoeveelheid oxiderend additief dat in een jaar wordt verbruikt (in chloor-equivalent per MW_{th}) in combinatie met het fouling-niveau in of vlakbij de warmtewisselaar. De milieubelasting die wordt veroorzaakt door het gebruik van halogenen als oxiderende additieven in open koelsystemen, houdt in eerste instantie verband met de productie van gehalogeneerde bijproducten.

In open recirculatiesystemen wordt het water voorbehandeld tegen afschilfering, corrosie en microfouling. Bij de relatief geringere volumes van natte recirculatiesystemen slaan alternatieve behandelingsmethoden, zoals ozon en UV-straling goed aan. Deze methoden vereisen echter wel speciale procesvoorwaarden en kunnen behoorlijk prijzig zijn.

Operationele maatregelen voor het verminderen van de schadelijke effecten van de lozing van koelwater zijn het sluiten van de aftapklep gedurende de schokbehandeling en de behandeling van het spuiwater voordat het in het ontvangende oppervlaktewater wordt geloosd. Bij de

behandeling van spuiwater in een installatie voor afvalwaterzuivering moet de resterende biocidale activiteit worden bewaakt omdat die gevolgen kan hebben voor de microbiële populatie.

Om de emissies in het geloosde water te verminderen en de gevolgen voor het aquatisch milieu te beperken, wordt bij de keuze van de biociden rekening gehouden met de eisen van het koelsysteem en tegelijkertijd ook met de gevoeligheid van het ontvangende aquatisch milieu.

- **Emissies in lucht**

De lucht die wordt uitgestoten door droge koeltorens wordt doorgaans niet gezien als een van de belangrijkste aspecten van het koelproces. Er kan vervuiling optreden als er stoffen vrijkomen door lekkage, maar dat kan met goed onderhoud worden voorkomen.

De druppeltjes in de lucht uit natte koeltorens kunnen zijn verontreinigd met chemicaliën voor de waterbehandeling, met microben of met corrosieproducten. Door de toepassing van drift-eliminators en een geoptimaliseerd waterbehandelingsprogramma kunnen de risico's beperkt worden.

Er wordt naar pluinvorming gekeken als er sprake is van horizonvervuiling of wanneer het gevaar bestaat dat de pluim het grondniveau bereikt.

- **Geluid**

De emissie van geluid is een plaatselijk probleem dat zich voordoet bij grote koeltorens die gebruik maken van een natuurlijke luchtstroom en bij alle mechanische koelsystemen. In niet-afgezwakte vorm liggen de waarden tussen 70 voor natuurlijke-luchtstroominstallaties en circa 120 [dB(A)] voor mechanische torens. De verschillen zijn te wijten aan variaties in de apparatuur en de plaats waar de meting heeft plaatsgevonden, en ook is er een verschil tussen luchtinlaat en luchtuitlaat. Het meeste geluid is afkomstig van ventilatoren, pompen en vallend water.

- **Risicoaspecten**

Risicoaspecten van koelsystemen houden verband met lekken in warmtewisselaars, de opslag van chemicaliën en microbiologische vervuiling (zoals de veteranenziekte) van natte koelsystemen.

Preventief onderhoud en bewaking zijn de methoden die worden toegepast om lekkage en microbiologische vervuiling te voorkomen. Als er bij lekkage het gevaar bestaat dat er grote hoeveelheden schadelijke stoffen in het aquatisch milieu terechtkomen, zijn er indirecte koelsystemen of speciale preventieve maatregelen nodig.

Om te voorkomen dat de *Legionellae pneumophila (Lp)* zich kan ontwikkelen, wordt een afdoende waterbehandelingsprogramma geadviseerd. Men heeft geen maximale concentratiewaarden voor *Lp* kunnen vaststellen, gemeten in kolonievormende eenheden [CFU per liter], waaronder elk risico zou kunnen worden uitgesloten. Dit risico moet speciale aandacht krijgen bij onderhoudswerkzaamheden.

- **Residuen ontstaan bij de werking van koelsystemen**

Er is weinig gemeld over residuen of afvalstoffen. Het slib ontstaat bij de voorbehandeling van het koelwater of uit het bekken van koeltorens moet worden beschouwd als afval. Dit slib wordt

op verschillende manier behandeld en afgevoerd, naar gelang de mechanische eigenschappen en chemische samenstelling. De concentratieniveaus verschillen per koelwaterbehandelingsprogramma.

De uitstoot in het milieu wordt verder nog beperkt door de toepassing van minder schadelijke conserveringsmethoden voor apparatuur en door materiaal te kiezen dat na ontmanteling of vervanging van de apparatuur kan worden hergebruikt.

4. Voornaamste conclusies omtrent de beste beschikbare technieken

De beste beschikbare technieken of de belangrijkste benadering in dat verband voor nieuwe en reeds bestaande systemen worden beschreven in hoofdstuk 4. De bevindingen kunnen als volgt worden samengevat.

Erkend wordt dat de uiteindelijk oplossing per locatie zal verschillen. Toch is voor een aantal zaken vastgelegd wat in het algemeen de beste beschikbare technieken zijn. Voor alle situaties geldt dat men eerst moet bekijken wat de mogelijkheden zijn om warmte te hergebruiken. Vervolgens moeten deze mogelijkheden worden uitgetoetst om zo de hoeveelheid en het niveau van de niet-terugwinbare warmte terug te dringen. Pas daarna komt de afgifte van de warmte van een productieproces aan de omgeving aan de orde.

Voor alle installaties geldt als beste beschikbare techniek de technologie, methode of procedure en het resultaat van een geïntegreerde benadering waarmee de milieueffecten van industriële koelsystemen op het milieu worden verminderd en waarbij directe en indirecte gevolgen met elkaar in balans zijn. Bij reductiemaatregelen moet op zijn minst de efficiëntie van het koelsysteem gewaarborgd blijven of mag een efficiëntieverlies optreden dat verwaarloosbaar klein is vergeleken met de positieve uitwerking op de milieueffecten.

Voor een aantal milieuaspecten zijn technieken vastgesteld die binnen de gekozen benadering als de beste beschikbare technieken kunnen worden beschouwd. De beste beschikbare techniek voor het verminderen van afval of voor afvalverwerkingstechnieken waarbij milieuproblemen, zoals de verontreiniging van bodem en water of, bij verbranding, van de lucht, vermeden kunnen worden, heeft men niet duidelijk kunnen vaststellen.

- **Eisen aan proces en locatie**

Bij de keuze van de koeltechniek die voldoet aan de eisen van het proces en de locatie, hetzij natte, droge of nat/droge koeling, moet altijd worden gestreefd naar de hoogst mogelijke energie-efficiëntie van het gehele proces. Als er sprake is van grote hoeveelheden met een warmte van laag niveau (10-25°C), zal koeling met open koelsystemen de beste beschikbare techniek zijn. Bij nieuwe projecten kan dit de keuze voor een (kust)locatie rechtvaardigen, waar grote hoeveelheden betrouwbaar koelwater beschikbaar zijn en waar de capaciteit van het oppervlaktewater zodanig is dat het grote hoeveelheden geloosd koelwater kan opvangen.

Als er gevaarlijke stoffen worden gekoeld die (als ze worden uitgestoten door het koelsysteem) een ernstig gevaar voor de omgeving vormen, zijn indirecte koelsystemen en een secundair koelcircuit de beste beschikbare techniek.

In principe dient het gebruik van grondwater voor koeldoeleinden tot een minimum te worden teruggebracht, bijvoorbeeld als de grondwaterbronnen uitgeput zouden kunnen raken.

- **Terugdringing van het directe energieverbruik**

Een laag direct energieverbruik door het koelsysteem kan worden bereikt door de weerstand tegen water en/of lucht in het koelsysteem met behulp van energiezuinige apparatuur te verminderen. Als het te koelen proces variabele koeling behoeft, kan de stroom lucht en water worden gereguleerd. Deze techniek is al met succes toegepast en kan worden beschouwd als de beste beschikbare techniek.

- **Terugdringing van het waterverbruik en terugdringing van de uitstoot van warmte in water**

De terugdringing van het waterverbruik en de reductie van de uitstoot van warmte in water hangen nauw samen en kennen dezelfde technische mogelijkheden.

De hoeveelheid water die nodig is voor koeldoeleinden, is gerelateerd aan de hoeveelheid warmte die moet worden afgegeven. Naarmate er meer koelwater wordt hergebruikt, neemt de hoeveelheid benodigd koelwater af.

Het laten circuleren van koelwater in een open of gesloten nat recirculatiesysteem is de beste beschikbare techniek als er weinig water beschikbaar is of de kwaliteit van het water onbetrouwbaar is.

In recirculatiesystemen kan verhoging van het aantal cycli de beste beschikbare techniek zijn, maar de eisen die aan de behandeling van het koelwater worden gesteld, kunnen een beperkende factor vormen.

De toepassing van drift-eliminators is de beste beschikbare techniek voor het reduceren van de drift tot minder dan 0,01% van de gehele recirculatiestroom.

- **Terugdringing van de hoeveelheid meegesleepte dieren**

Er zijn tal van technieken ontwikkeld om te voorkomen dat dieren worden meegesleept of om de schade te beperken indien dit toch gebeurt. De successen zijn wisselend en afhankelijk van de locatie. Men heeft niet een duidelijke beste beschikbare techniek kunnen vaststellen, maar het is vooral van belang de biotoop te analyseren, omdat de mate van slagen of falen sterk afhangt van het gedrag van de betreffende diersoort en van de juiste constructie en plaatsing van de inlaat.

- **Terugdringing van de uitstoot van chemische stoffen in water**

Volgens de hier gekozen benadering luiden de technieken voor terugdringing van de uitstoot in het aquatisch milieu in volgorde van belangrijkheid:

1. keuze voor een koelconfiguratie met geringere emissies in het oppervlaktewater,
2. gebruik van corrosiebestendiger materiaal voor de koelapparatuur,
3. voorkomen en beperken van het lekken van stoffen uit het productieproces naar het koelcircuit,
4. toepassing van alternatieve (niet-chemische) koelwaterbehandelingen,
5. keuze voor koelwateradditieven waarmee de gevolgen voor het milieu kunnen worden beperkt en
6. geoptimaliseerde toepassing (bewaking en dosering) van koelwateradditieven.

Beste beschikbare techniek is het terugdringen van de behoefte aan conditionering van het koelwater door een deugdelijk ontwerp waardoor fouling en corrosie minder voorkomen. In open koelsystemen moeten stilstaande zones en turbulenties worden vermeden en dient een minimumwatersnelheid te worden aangehouden (0,8 [m/s] voor warmtewisselaars, 1,5 [m/s] voor condensoren).

Als beste beschikbare techniek geldt bij open koelsystemen in sterk corroderende omgevingen materiaal waar Ti of roestvrij staal van hoge kwaliteit in is verwerkt of ander materiaal met vergelijkbare eigenschappen wanneer vanwege een reducerende omgeving Ti minder goed te gebruiken is.

Bij recirculatiesystemen is de beste beschikbare techniek, naast constructieve maatregelen, het bepalen van de concentratiecycli en de corrosiviteit van de processtof, om zo een materiaal met de juiste corrosiebestendigheid te kunnen selecteren.

Voor koeltorens is de beste beschikbare techniek het gebruik maken van de juiste soorten vulling en het aandacht schenken aan factoren als de waterkwaliteit (gehalte vaste stoffen), verwachte fouling, temperaturen en erosieweerstand en om constructiemateriaal te gebruiken dat zonder chemische conservering kan.

Bij het VCI-concept van de chemische industrie gaat het erom de risico's voor het aquatisch milieu bij lekkage van stoffen uit het productieproces tot een minimum te beperken. Dit concept legt een verband tussen de ernst van het milieueffect van een bepaalde processtof en de vereiste koelconfiguratie en bewaking. Bij een groter risico voor de omgeving in geval van lekkage leidt het concept tot een verbeterde corrosiebescherming, een ontwerp voor indirecte koelsystemen en verhoogde bewaking van het koelwater.

- **Terugdringing van de uitstoot door geoptimaliseerde koelwaterbehandeling**

Optimalisering van de toepassing van oxiderende biociden in open koelsystemen heeft te maken met het tijdstip en de frequentie van de biocidedosering. De beste beschikbare techniek is het reduceren van de toevoer van biociden door een doelgerichte dosering in combinatie met onderzoek naar het gedrag van diersoorten die macrofouling veroorzaken (bijv. de klepbeweging van mosselen) en gebruikmaking van de verblijftijd van het koelwater in het systeem. Voor systemen waar verschillende koelstromen in de uitlaat worden gemengd, is de beste beschikbare techniek puls-alternerende chlorering, waarmee zelfs de vorming van concentraties vrije oxidanten in het geloosde water kan worden teruggedrongen. Over het algemeen geldt dat bij open koelsystemen onderbroken behandeling volstaat om antifouling te voorkomen. Afhankelijk van de diersoort en de temperatuur van het water (boven 10-12°C) is soms continue behandeling op een laag niveau noodzakelijk.

Voor zeewater zijn de niveaus bij gebruik van de beste beschikbare technieken voor vrije restoxidanten (FRO) in de lozing afhankelijk van de methode van dosering (continu en onderbroken), het concentratieniveau van de dosering en de configuratie van het koelsysteem. Ze liggen tussen $\leq 0,1$ [mg/l] en 0,5 [mg/l], met een waarde van 0,2 [mg/l] als 24-uursgemiddelde.

Belangrijk element binnen de hier gekozen benadering voor waterbehandelingsinstallaties, met name voor recirculatiesystemen die gebruik maken van niet-oxiderende biociden, is dat er op basis van informatie beslissingen worden genomen over de waterbehandelingsprocedure en over hoe die procedure moet worden toegepast, gecontroleerd en bewaakt. Het kiezen van een geschikte behandelingsprocedure is een complexe zaak, waarbij rekening moet worden gehouden met een groot aantal plaatselijke en locatiespecifieke factoren die moeten worden gerelateerd aan de eigenschappen van de additieven die voor de behandeling worden gebruikt en aan de hoeveelheden en combinaties waarin ze worden toegepast.

Om het besluitvormingsproces ten aanzien van de beste beschikbare technieken voor koelwateradditieven op een lokaal niveau te ondersteunen, wil dit BREF-document de plaatselijke autoriteiten die verantwoordelijk zijn voor de afgifte van een IPPC-vergunning, een richtsnoer geven voor een beoordeling.

In Richtlijn 98/8/EG betreffende het op de Europese markt brengen van biociden vormen de biociden die in koelsystemen worden gebruikt, een aparte categorie. De informatie-uitwisseling laat zien dat er in een aantal lidstaten speciale beoordelingsprocedures voor de toepassing van koelwateradditieven in het leven zijn geroepen.

De discussie in het kader van de informatie-uitwisseling over industriële koelsystemen heeft twee concepten voor koelwateradditieven opgeleverd. Deze kunnen door de vergunningverlenende instanties als extra instrument worden gebruikt:

1. Een screening-beoordelingsinstrument gebaseerd op bestaande concepten, waarmee een relatief eenvoudige vergelijking kan worden gemaakt tussen koelwateradditieven en de mogelijke gevolgen ervan voor het aquatisch milieu (de vergelijkende beoordeling, bijlage VIII.1).
2. Een locatiespecifieke beoordeling van de verwachte effecten van biociden die in het ontvangende water worden geloosd, aan de hand van de uitkomsten van de richtlijn betreffende biociden, waarbij de methodologie voor de opstelling van de kwaliteitsnormen voor het milieu (MKN's) van de toekomstige Waterkaderrichtlijn het belangrijkste element vormt (de lokale beoordeling van biociden, bijlage VIII.2).

De vergelijkende beoordeling kan worden gezien als methode voor het vergelijken van de milieueffecten van verschillende alternatieve koelwateradditieven. De lokale beoordeling van biociden geeft een maatstaf voor het bepalen van de beste beschikbare technieken voor biociden in het bijzonder (PEC/PNEC <1). Het gebruik van lokale beoordelingsmethodologieën als instrument voor het beheersen van industriële emissies is al gemeengoed.

- **Terugdringing van de uitstoot in lucht**

Het terugdringen van de effecten van de uitstoot uit koeltorens in lucht hangt samen met het optimaliseren van de conditionering van het koelwater om de in de druppels aanwezige concentraties te reduceren. Als drift het belangrijkste transportmechanisme is, wordt de toepassing van drift-eliminators beschouwd als de beste beschikbare techniek, omdat ze ervoor zorgen dat minder dan 0,01% van de recirculatiestroom als drift verloren gaat.

- **Terugdringing van geluid**

Primaire maatregelen worden gevormd door de toepassing van geluidsarme apparatuur. De bijbehorende reductieniveaus gaan tot maximaal 5 [dB(A)].

Secundaire maatregelen bij de in- en uitlaat van mechanische koeltorens worden gekenmerkt door bijbehorende reductieniveaus van minimaal 15 [dB(A)] of meer. Er dient te worden opgemerkt dat de terugdringing van geluid, met name bij toepassing van secundaire maatregelen, kan leiden tot drukdalingen, die moeten worden gecompenseerd door extra energie te gebruiken.

- **Terugdringing van lekkage en microbiologische risico's**

Beste beschikbare technieken zijn het voorkomen van lekken door middel van het ontwerp, door binnen de grenzen van het ontwerp te werken en door het koelsysteem regelmatig te inspecteren.

Met name voor de chemische industrie geldt toepassing van het VCI-veiligheidsconcept als de beste beschikbare techniek. Dit concept voor de terugdringing van de uitstoot in water is hier al eerder ter sprake gekomen.

Er bestaan geen methoden om *Legionella pneumophila* in koelsystemen volledig te voorkomen.

Als beste beschikbare technieken gelden de volgende maatregelen:

- vermijd stilstaande zones en zorg voor voldoende snelheid van het water,
- optimaliseer de koelwaterbehandeling om groei en uitbreiding van fouling, algen en amoeben te voorkomen,
- zorg ervoor dat het koeltorenbecken regelmatig wordt schoongemaakt en
- bescherm de ademhalingsorganen van operators door hen neus- en mondbescherming te laten dragen als zij een in bedrijf zijnde eenheid betreden of als de toren onder hoge druk wordt gereinigd.

5. Onderscheid tussen nieuwe en bestaande systemen

Alle belangrijke conclusies omtrent de beste beschikbare technieken zijn van toepassing op nieuwe systemen. Als er technologische veranderingen nodig zijn, kan de toepassing beperkt blijven tot reeds bestaande koelsystemen. Voor kleine, in serie gemaakte koeltorens, wordt een technologische wijziging als technisch en economisch haalbaar beschouwd. Dergelijke wijzigingen zijn bij grote systemen vaak zeer kostbaar en vergen een gecompliceerde technische en economische beoordeling waarbij tal van factoren moet worden betrokken. Betrekkelijk kleine wijzigingen aan grote systemen, zoals het vervangen van een deel van de apparatuur, zijn in sommige gevallen wel haalbaar. Als het gaat om uitgebreidere technologische wijzigingen kunnen een gedetailleerde beschouwing en beoordeling van de milieueffecten en de kosten noodzakelijk zijn.

Over het algemeen komen de beste beschikbare technieken voor nieuwe en bestaande systemen in grote lijnen overeen, voor zover het accent ligt op de terugdringing van schadelijke milieueffecten door verbeteringen in de werking van het systeem. Dit omvat:

- optimalisering van de koelwaterbehandeling door gecontroleerde dosering en het gebruik van koelwateradditieven waarbij de schadelijke effecten op het milieu beperkt zijn,
- periodiek onderhoud van de apparatuur,
- bewaking van de bedrijfsparameters, zoals de corrosie van het oppervlak van de warmtewisselaar, de chemische eigenschappen van het koelwater en de mate van fouling en lekkage.

Voorbeelden van technieken die worden beschouwd als de beste beschikbare technieken voor bestaande koelsystemen, zijn:

- toepassing van de geschikte vulling om fouling tegen te gaan,
- het vervangen van roterende apparatuur door geluidsarme apparatuur,
- het voorkomen van lekkage door de buizen van de warmtewisselaar te controleren,
- biofiltratie van de aftapstroom,
- verbetering van de kwaliteit van het suppletiewater, en
- doelgerichte dosering in open koelsystemen.

6. Conclusies en aanbevelingen voor toekomstige werkzaamheden

Dit BREF-document heeft veel bijval gekregen van de technische werkgroep (TWG). Het beoordelen en vaststellen van de beste beschikbare technieken voor industriële koelprocessen wordt over het algemeen beschouwd als een zeer complexe en sterk locatie- en procesgebonden aangelegenheid, waarmee tal van technische en financiële aspecten samenhangen. Niettemin bestaat er duidelijke steun voor het concept van algemene beste beschikbare technieken voor koelsystemen gebaseerd op de algemene BREF-inleiding en de inleiding op de beste beschikbare technieken in hoofdstuk 4.

Gedurende de informatie-uitwisseling is gebleken dat een aantal kwesties verdere uitwerking behoeft als dit BREF wordt herzien. Voor de lokale beoordeling van koelwaterbehandelingen is

het nodig dat nader onderzoek wordt verricht naar de vraag hoe met alle relevante factoren en chemische kenmerken van een bepaalde locatie rekening kan worden gehouden. Tegelijkertijd moeten echter ook duidelijke richtsnoeren en een werkbare procedure worden opgesteld. Andere aandachtsgebieden zijn alternatieve technieken voor de behandeling van koelwater, minimalisering van microbiologische risico's en het belang van uitstoot in lucht.