

1 Inleiding

In vrijwel ieder bedrijf wordt gebruik gemaakt van water: als transportmiddel, als koelvloeistof of als warmtetransporteur. Daarnaast wordt water ook gebruikt als procesmiddel en oplosmiddel.

In het algemeen is water overal beschikbaar en is het niet al te kostbaar.

Het is ook in onze leefomgeving een essentiële stof en voor mensen niet toxisch, wat het werken ermee vergemakkelijkt. Ook is het in veel grondstoffen aanwezig en wordt het gemengd met eindproducten om zo de bruikbaarheid en toepasbaarheid ervan te vergroten.

Een unieke eigenschap van water is zijn hoge soortelijke warmte in vergelijking met andere vloeistoffen, wat het uitermate geschikt maakt voor de opslag van energie: dit kan zowel koelend zijn als verwarmend.

Ondanks deze prettige, universele eigenschappen wordt water ook vaak gedefinieerd als een verdunde oplossing van een verscheidenheid aan chemicaliën, opgeloste gassen en biologisch materiaal.

Daarom is een voorbehandeling om sommige verontreinigingen te verwijderen vaak een vereiste.

In deze brochure zal worden ingegaan op de verschillende soorten van water, toepassingsgebieden en waterbehandelingen. Tevens zullen de energetische aspecten van de behandelingsmethoden en toepassingen aan de orde komen.

2 Toepassingsgebieden

Hierboven is al aangegeven dat water veel toepassingsgebieden kent. Afhankelijk van die gebieden worden karakteristieke eigenschappen van het water verlangd.

Deze eigenschappen van het water worden meestal bereikt door het op een speciale manier te behandelen.

De meest voorkomende toepassingsgebieden zijn:

- *koelwater*

In de meeste processen komt wel ergens warmte vrij die moet worden afgevoerd om de processtroom of het product op de gewenste temperatuur te brengen. Veelal vindt deze warmte-afvoer plaats via warmtewisselaars met water als koelvloeistof. Dit houdt in dat dit koelwater geen hoge temperatuur mag hebben en de proceswarmte moet kunnen opnemen zonder dat er complicaties ontstaan in de warmtewisselaars.

In veel gevallen wordt het water teruggekoeld via een koeltoren en hergebruikt. Zie brochure "Waterkoeling". De verliezen door verdamping, spatten en spuien moeten worden aangevuld met vers water, waaraan meestal ook bijzondere eisen worden gesteld;

- *ketelvoedingwater*

Een veel gebruikte warmtebron is stoom. Zie brochure "Stoom- en condensaatssystemen". Voor de productie van stoom is ketelvoedingwater nodig dat meestal bestaat uit

retourcondensaat aangevuld met suppletiewater.

Condensaat en water dienen daartoe op de juiste manier te worden voorbehandeld om geen problemen in de stoomketel te krijgen;

- *specifiek proceswater*

Dit is een verzamelnaam voor verschillende toepassingen.

Denk bijvoorbeeld aan spoelen of wassen van producten, waarbij geen verontreinigingen uit het water in het product mogen komen, het gebruiken van water met een bepaalde zuurgraad (pH-waarde), water als oplos- of reactiemiddel (bijvoorbeeld waterstofproductie, steamreforming) en als transportmiddel (bij stoomkraken).

Warmwatercircuits kunnen hier ook onder worden gerekend;

- *spoelen*

Water voor schoonmaakdoeleinden ten behoeve van vloeren, machines, reactoren, enzovoort. Hier worden meestal geen hoge eisen gesteld, behalve in de voedings- en genotmiddelenindustrie en in farmaceutische bedrijven.

3 Energiegebruik bij waterbehandeling

Over het algemeen zijn waterbehandelingsinstallaties geen grote energiegebruikers. Omdat water veel voor transport wordt ingezet vormen pompen één van de belangrijkste energiegebruikers. Selectie van de juiste pomp met de juiste curve is daarom van groot belang. Zie brochures "Pompsystemen" en "Capaciteitsregeling roterende apparatuur".

Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste energiegebruikers bij waterbehandeling:

- pompen voor transport;
- pompen voor spoelwater;
- pompen voor regeneratievloeistoffen (relatief klein);
- ventilatoren voor beluchters (ontijzering/ontmanging, CO₂-uitdrijftoren);
- blowers voor luchtspoeling van zandfilters.

Het energiegebruik zal snel stijgen bij toename van de weerstand in apparaten en leidingen door vervuiling en corrosie en door verslechtering van de warmteoverdrachtsfactoren tengevolge van afzettingen.

Bij het kiezen van de waterbehandelingsmethode dient ook het daarmee in verband staande water- en chemicaliënverbruik geëvalueerd te worden omdat dit beschouwd kan worden als een indirecte vorm van energiegebruik.

4 Beschikbare watersoorten

In het algemeen staan er voor proceswater meerdere soorten water ter beschikking. Vaak is door de historische locatie van een bedrijf één van die soorten prominent aanwezig. Een typisch voorbeeld is rivier- of kanaalwater omdat het bedrijf in verband met aan- en afvoer van producten hier is gevestigd en dit ook als waterbron kan gebruiken.

Iedere watersoort heeft specifieke eigenschappen, waar bij de selectie op moet worden gelet om niet later voor onaangename en kostbare verrassingen gesteld te worden.

Deze soorten zijn:

- *drinkwater*

Dit kan "voor de deur" worden afgeleverd door het drinkwaterbedrijf en is vrij van zwevende stof en micro-organismen. Voor toepassing als proceswater is verdere behandeling nodig, bijvoorbeeld ontharden of demineraliseren. Contractueel is het tot op zekere hoogte in iedere gewenste hoeveelheid beschikbaar, maar daar hangt dan wel een prijskaartje aan.

De samenstelling is (per leverancier) meestal constant en de temperatuurfluctuaties gering;

- *oppervlaktewater (rivier, kanaal, meer, eventueel zee)*

De samenstelling en beschikbaarheid hiervan kan wisselen, vaak gekoppeld aan het seizoen. In de winterperiode dient rekening gehouden te worden met ijsgang.

Afhankelijk van de stroomsnelheid en het scheepvaartverkeer kan het een wisselende hoeveelheid zwevende stof (modder) bevatten die zonder voorbehandeling tot verstoppingen in de fabrieksinstallaties aanleiding kan geven.

Levende organismen, zoals vissen, moeten door roosters, zeven en dergelijke worden geweerd, bij voorkeur op een dusdanige manier dat de vis niet sterft.

Micro-organismen (bacteriën) kunnen vaak doorgroeien in de fabrieksinstallatie en hierbij slijmafzettingen (minder goede koeling) en verstoppingen veroorzaken.

Identieke problemen kunnen zich voordoen met mosselen die als larven in de installaties komen en daar uitgroeien tot grote mosselen. Naast een verhoogde stromingsweerstand en eventueel verstopping kan, door plaatselijk hoge stroomsnelheden, erosie in leidingen optreden en uiteindelijk lekkage.

Organisch materiaal (bijvoorbeeld humuszuur) kan verkleuringen geven, maar, net als bacteriën, ook leiden tot afzettingen en daardoor groeibevorderend werken voor bacteriën.

Zwevende stof en algen worden in het algemeen verwijderd met filters. Bij het dimensioneren van de filters moet worden gelet op de mogelijke variaties in de samenstelling van het oppervlakte water.

Wanneer het oppervlaktewater dient voor de bereiding van ketelvoedingwater, dan is filtratie en ontharding (of gedeeltelijke ontharding) een veel toegepaste behandeling.

Ten behoeve van demineralisatie is een behandeling met een zandfilter en demininstallatie nodig.

Wanneer membraan-technologie wordt toegepast voor de zuivering van oppervlaktewater zal bij gebruik van microfiltratie het water ook worden ontdaan van micro-organismen;

- *grond- of bronwater*

Het gebruik van grond- of bronwater wordt steeds meer gebonden aan zeer strenge overheidseisen, waardoor de

beschikbaarheid voor industriële doeleinden zeer wordt beperkt. Dit geldt in het bijzonder voor laagwaardige toepassingen zoals proceskoeling.

Wanneer echter het gebruik is toegestaan, is de lage temperatuur (5 - 10°C) voor koel-doeleinden een voordeel.

Vaak bevat grond- of bronwater mangaan- en ijzerverbindingen die hardnekkige afzettingen in de apparatuur kunnen geven. De bruine kleur van bronwater kan bij contact met producten aanleiding tot problemen geven. Daarom moet dit water ontdaan worden van ijzer en mangaan. De klassieke methode hiervoor is beluchten waardoor het ijzer en mangaan oxideren tot onoplosbare verbindingen die te verwijderen zijn door filtratie.

Alternatief kan het nog anaerobe water met membraan-technologie (nanofiltratie) ontdaan worden van de meeste Fe²⁺- en Fe³⁺- en Mn²⁺- ionen (ijzer en mangaan zijn dan in opgeloste vorm).

Bij toepassing als ketelvoedingwater kan de lage temperatuur van bronwater een nadeel zijn. In dat geval is het energetisch aantrekkelijk om het bronwater eerst als koelwater te gebruiken in andere processen;

- *"grijs" of E water*

Hieronder wordt oppervlaktewater verstaan waarop door een drinkwaterbedrijf een ruwe voorbehandeling is toegepast. Meestal is slechts zwevende stof verwijderd.

Afhankelijk van de contractuele afspraken kan het ook verder worden voorgezuiverd, wat uiteraard consequenties voor de kosten heeft. In het algemeen is deze watersoort goedkoper dan drinkwater;

- *retourcondensaat*

Bij het gebruik van stoom in het bedrijf ontstaat schoon condensaat. Het is efficiënt om zoveel mogelijk schoon condensaat op te vangen en te retourneren. De temperatuur is vaak 80 - 100°C en het ligt voor de hand dit water en de daaraan gebonden energie te hergebruiken als warm proceswater of als ketelvoedingwater.

Eventuele verontreinigingen moeten worden verwijderd, afhankelijk van het toegepaste keteltype en de stoomdruk. Hoe hoger de stoomdruk, des te strenger zijn de eisen die gesteld worden aan de samenstelling van het ketel(voeding)water.

De verontreinigingen zijn meestal ontstaan tengevolge van het productieproces waar de stoom is gebruikt. Er dient dan te worden nagegaan of deze stoffen schadelijk kunnen zijn voor de stoomketel, of, als het om vluchtige stoffen gaat, schadelijk kunnen zijn voor de stoomkwaliteit en de gebruikers van de stoom.

Sterk zure stoffen kunnen de ketel aantasten of leiden tot een verhoogd gebruik aan alkali voor neutralisatie.

Alkalische en organische verbindingen kunnen opkoken ("schuimen") van het ketelwater veroorzaken, waardoor de stoom wordt verontreinigd.

Indien het retourcondensaat geringe hoeveelheden calcium- en magnesiumionen bevat, kan dit in de stoomketel leiden tot ketelsteenafzettingen wat de warmteoverdracht, dus het energetisch rendement, vermindert. In het meest extreme geval kan hierbij oververhitting van het ketelmateriaal optreden, leidend tot ketelschade;

- *water afkomstig uit proces*
Soms heeft het bedrijf een (afval)waterstroom die afkomstig is uit een processtap. Het is dan aantrekkelijk om na te gaan of het water opnieuw te benutten is of eventueel de energie-inhoud ervan.
In voorkomende gevallen zullen aanwezige verontreinigingen op identieke wijze als beschreven bij “ 5.2.5 Retourcondensaat” moeten worden verwijderd met filters, membranen of ionenwisselaars.
- *gereinigd afvalwater*
Afvalwater van een gemeentelijke rioolwaterzuivering heeft meestal geen verhoogd zoutgehalte of hoge hardheid. Wanneer het water is ontdaan van micro-organismen en zwevende stof is het vaak gelijkwaardig aan “grijs water” en bruikbaar voor veel industriële toepassingen. Afhankelijk van de toepassing zal nog een verdere reiniging moeten plaatsvinden. Of dit bij de rioolwaterzuivering of bij de afnemer moet plaatsvinden, zal van de kosten en het aantal afnemers afhangen.

5 Proceswater en de voorbehandeling

5.1 Algemeen

Wanneer bekend is wat voor soort(en) water voor het bedrijf beschikbaar is/zijn en wat hiervan de samenstelling is, kan worden nagegaan welke voorbehandelingen nodig zijn om het geschikt te maken voor de bedrijfstoepassingen.

Dit is vooral van belang voor andere soorten water dan drinkwater. Die soorten zijn in eerste instantie relatief goedkoop en het beleid van de Nederlandse overheid er is opgericht om het industriële gebruik van drinkwater te ontmoedigen door hoge drinkwatertarieven.

Alhoewel water er in het algemeen “schoon” uitziet, kan het door zwevende stof en opgeloste stoffen problemen in bedrijfsinstallaties veroorzaken. Dit komt tot uiting door:

- vervuiling door zwevende deeltjes;
- afzettingen;
- microbiologische vervuiling;
- corrosie.

Door het uitvoeren van een op het proces afgestemde waterbehandeling kunnen deze problemen meestal voorkomen worden.

5.1.1 Vervuiling door zwevende deeltjes

Vervuiling van warmteoverdragende wanden en leidingen door zwevende deeltjes is een fenomeen dat in velerlei vormen kan optreden. Het kan ontstaan door meegevoerd zand, zwevende deeltjes uit oppervlaktewater, roestafzettingen en dergelijke.

Ter illustratie het volgende voorbeeld:

Bij een zwevend stofgehalte in het water van 10 mg/l en een watergebruik van 25 m³/h, gedurende 6000 h/a, zal per jaar door het systeem 1500 kg “vuil” gevoerd worden.

Er hoeft maar een klein deel in het systeem te blijven hangen om een forse vervuiling te veroorzaken.

Vervuilde warmtewisselaars hebben een slechtere warmteoverdracht wat onder andere tot koelproblemen kan leiden.

Juist in de chemische industrie is de continue beschikbaarheid van voldoende koeling van essentieel belang om de veiligheid van de processen te kunnen garanderen (zie brochure “Conditiebewaking van Warmtewisselaars”). De onderhoudskosten van het systeem zullen hoger liggen vanwege periodieke schoonmaakwerkzaamheden. Dit zal tevens de beschikbare productietijd nadelig kunnen beïnvloeden.

Een vervuild leidingsysteem heeft een ruwer oppervlak en een iets kleinere doorlaat. Door de toegenomen stromingsweerstand zal het energiegebruik sterk stijgen.

5.1.2 Afzettingen

De opgeloste zouten in het water kunnen onder invloed van temperatuurgradiënten afzettingen vormen op de wanden van apparatuur en in leidingen. De warmteoverdracht wordt daardoor sterk gehinderd en meestal zal meer energie benodigd zijn om de processtroom op een gewenste temperatuur te brengen.

5.1.3 Microbiologische vervuiling

Microbiologische vervuiling ontstaat door de groei van micro-organismen op de wanden van warmtewisselaars en leidingen, vooral daar waar de stromingssnelheden laag zijn en waar voldoende hechtingsmogelijkheden zijn. Onder micro-organismen worden verstaan bacteriën, algen, gisten, schimmels en protozoën, aanwezig in water.

Door de groei van micro-organismen ontstaan algen en tevens een slijmlaag in het systeem die hetzelfde effect heeft als vervuiling. Onder de slijmlaag kan corrosie optreden. De uitscheidingsproducten van de meeste micro-organismen zijn agressief.

Micro-organismen kunnen bovendien een nadelige invloed hebben op de gezondheid van de mensen. Bij gebruik van koeltorens zal een microbiologisch verontreinigd suppletiewater de controle in de koeltoren bemoeilijken. Tevens zal de kans op groei van Legionellabacteriën groter zijn.

5.1.4 Corrosie

Corrosie van leidingen, warmtewisselaars en andere apparatuur ontstaat door opgeloste zuurstof of corrosieve elementen in het water of door een lage pH-waarde. Het verkort de levensduur van de apparatuur, verhoogt de onderhoudskosten en kan het rendement van de installatie verlagen. De gevormde corrosieafzettingen zullen, net als bij vervuiling, de stromingsweerstand verhogen. Lekkages zijn op langere termijn niet uitgesloten.

Er kunnen corrosiebestendige materialen toegepast worden, maar dit is vaak een kostbare oplossing, zeker voor een leidingsysteem. Hier moet meestal met gewoon koolstofstaal kunnen worden gewerkt.

In doorstromsystemen (“once through” systeem) kan het toepassen van coatings worden overwogen. Deze hebben als voordelen de corrosiebestendigheid te verhogen en een gladder oppervlak van de leidingwand te creëren. Het gladdere oppervlak verkleint de kansen op aangroei (bijvoorbeeld mosselen) en zal door de lagere stromingsweerstand het energiegebruik gunstig beïnvloeden.

5.2 Waterbehandelingen

Afhankelijk van de mate waarin de behandeling van ruw proceswater plaatsvindt, worden één of meerdere van de hiervoor genoemde effecten van de componenten in water verminderd.

Een goede waterbehandeling kan leiden tot een lager chemicaliëngebruik in het achterliggende systeem, bijvoorbeeld een doorstroomkoeling, een koeltorencircuit of een stoomketel.

De benodigde investering in de waterbehandeling moet worden afgezet tegen de operationele kosten en kosten van onderhoud, waaronder vervangen van gecorrodeerde onderdelen en reinigen van het systeem.

Van de meest gangbare behandelingen van proceswater zal nu een korte omschrijving worden gegeven:

- gefiltreerd water;
- onthard water;
- gedeeltelijk onthard water;
- deminwater;
- retourcondensaat;
- gedestilleerd water.

5.2.1 Gefiltreerd water

Met deze methode worden zwevende deeltjes uit het water verwijderd. De daarbij toegepaste methode is afhankelijk van de deeltjesgrootte.

Voor zeer grove deeltjes die bijvoorbeeld in oppervlaktewater voorkomen, worden roosters en zeven gebruikt. Zeven kunnen met gaas of doek worden uitgevoerd. Afhankelijk van de benodigde capaciteit kan er worden gekozen voor trommelfilters of in-line filters.

De trommelfilters zijn uitgerust met een roterende trommel die continu wordt schoongespoten.

In-line filters zijn er in diverse uitvoeringen, meestal ook met een automatische reinigungsstap. Er moet dan worden gelet op het spoelwatergebruik en of gedurende de spoelfase de levering van gefiltreerd water wel of niet wordt onderbroken of verminderd. Er is een ruim scala aan maaswijdtes: afhankelijk van het soort verontreiniging van 10-3000 micron (trommelfilters) en 25-1000 micron voor in-line filters. Bij deze filters is het filterelement meestal makkelijk te verwisselen voor een andere filtermaat.

Voor de verwijdering van fijner (zwevend, gesuspendeerd) materiaal worden zandfilters toegepast in de vorm van drukketels gevuld met een laag filterzand dat op een doppenbodem (een plaat die het zand draagt en via zogenaamde doppen het water doorlaat) ligt. Bij het overschrijden van een instelbare drukval wordt het filter automatisch gespoeld, meestal met lucht en water.

Een variant op deze filters zijn de cycloonfilters. Hierin wordt het vervuilde zand continu in een cycloon gespoeld en weer teruggevoerd naar het filtratiegedeelte. Er is bij deze filters dus geen onderbreking in de productie door een aparte spoelgang.

Wel komt er continu een kleine vuilwaterstroom vrij, die naar het riool afgevoerd wordt. Deze stroom is ook te

beschouwen als spuiwater en mag in mindering gebracht worden op de benodigde spuihoeveelheid.

Bij een conventioneel zijstroomfilter, dat één of twee maal per week gespoeld wordt, dient het spoelwaterverlies ook te worden verrekend met de spui verliezen door de normale (dis)continue spui hierop te corrigeren.

5.2.2 Onthard water

De in het water aanwezige hardheidsionen, calcium en magnesium, worden in een ionenwisselaar uitgewisseld tegen natriumionen. Wanneer de ionenwisselaar verzadigd is met Ca en Mg wordt het hars geregenereerd met een pekelpoetsing.

Tegenwoordig worden ook membranen toegepast, die calcium- en magnesiumionen verwijderen. (Nanofiltratie, zie paragraaf 7.3)

Onthard water wordt veel gebruikt als ketelvoedingwater voor stoomketels tot een druk van 20 bar. Wel is het vaak nodig, afhankelijk van de watersamenstelling, nog een aparte koolzuuruitdrijfstep gecombineerd met een zuurdosering te installeren.

Soms is het voldoende als slechts een deel van de hardheid wordt verwijderd. Via een eenvoudige bypassregeling is dit in te stellen.

5.2.3 Gedeeltelijk onthard (gedecarboniseerd) water

In natuurlijk water komt hardheid meestal voor in de vorm van blijvende en tijdelijke hardheid. Blijvende hardheid ontstaat door CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 en tijdelijke hardheid door $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

Hierboven is reeds aangegeven dat bij de productie van ketelvoedingwater dan een aparte koolzuurverwijdering nodig is. Een alternatief is om met een tweede kationhars, een zwakzure, de tijdelijke hardheid te verwijderen en achter het filter het koolzuur uit te blazen zonder een afzonderlijke zuurdosering. Deze dosering heeft al plaatsgevonden in het filter (de zwakzure hars wordt met zuur geregenereerd). Het rendement van deze methode is ook hoger dan uitsluitend ontharding met pekelpoetsing. Omdat bij deze methode de tijdelijke, bicarbonaathardheid wordt verwijderd, wordt het ook wel decarbonitatie genoemd.

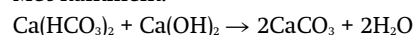
Door uitsluitend met een zwakzure kationhars te werken krijgt men deelonthard water.

Decarbonitatie is ook mogelijk zonder ionenwisselaars.

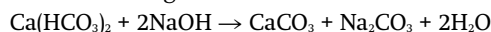
Wanneer men het water laat reageren met kalkmelk of natronloog, zal door de pH-verhoging het $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ overgaan in onoplosbaar CaCO_3 en neerslaan.

Tegenwoordig wordt deze reactie meestal uitgevoerd in *pellet-* of *korrelreactors* waarbij aan het binnenkomende water een kleine hoeveelheid fijn zand wordt toegevoegd dat dienst doet als kristallisatiekern voor het CaCO_3 . De keuze natronloog of kalkmelk bepaalt of het geproduceerde water dezelfde of een lagere ionenconcentratie krijgt. Dit is afhankelijk van het gebruiksdoel van het geproduceerde water:

Met kalkmelk:



Met natronloog:



Bij gebruik van natronloog zal voor de toepassing als ketelvoedingwater het restkoolzuur in de soda alsnog moeten worden verwijderd tenzij met zeer lage keteldrukken wordt gewerkt.

Wanneer de ontharding met kalkmelk of natronloog wordt uitgevoerd in een *korrelreactor*, wordt in dezelfde stap ook een gedeelte van de zwevende stof verwijderd. Het nageschakelde zandfilter verwijdert de meegesleurde kalkkristalletjes en resten zwevende stof.

In plaats van een korrelreactor kan ook een klassieke *clarifier* worden toegepast. Het neergeslagen CaCO_3 vormt een dunne, waterige sludge (vaste stof gehalte 1 – 2%). Het afvoeren of lozen van deze sludge is meestal een probleem. De korreltjes uit een korrelreactor daarentegen zijn vaak makkelijk in de landbouw af te zetten. En omdat ze bijna geen aanhangend water bevatten, zijn de transportkosten relatief laag.

5.2.4 Deminwater

Wanneer het water volledig vrij moet zijn van ionen, dus volledig gedemineraliseerd, worden stapsgewijs de ionen verwijderd in verschillende ionenwisselaars.

In het kationfilter worden alle kationen (positief geladen ionen) zoals Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ verwijderd. Wanneer het filter volledig is beladen, wordt het geregenereerd met een zuur. Meestal wordt hiervoor in Nederland gewerkt met zoutzuur, soms met zwavelzuur. Bij gebruik van zwavelzuur moet gelet worden op de zuurconcentratie: Wanneer deze te hoog is, kan met de vrijkomende calciumionen calciumsulfaat worden gevormd, wat neerslaat op de harskorrels die daardoor worden gedeactiveerd.

In het tweede filter, het anionfilter, worden de anionen Cl^- , SO_4^- verwijderd. Afhankelijk van de harssoort kan ook silica en koolzuur worden verwijderd. Meestal wordt koolzuur verwijderd in een uitdrijftoren die achter het kationfilter is geplaatst. Het water is daar zuur waardoor de oplosbaarheid van CO_2 gering is.

Wanneer het filter is beladen, wordt het geregenereerd met een natronloogoplossing.

Ionenwisselreacties zijn evenwichtsreacties. Sporen natrium slippen door het kationfilter en nemen uit het anionfilter een equivalente hoeveelheid chloride-ionen mee. De geleidbaarheid achter het anionfilter bedraagt meestal 1-5 $\mu\text{Siemens/cm}$. Het water is nog niet volledig gedemineraliseerd. Daarom wordt meestal nog een mengbed of monobedfilter nageschakeld. Hierin zit een mengsel van kation- en anionhars. Men kan het zien als een oneindig aantal achter elkaar geschakelde kation- en anionfilters die de laatste ionen uit het water halen (politiefilter). De geleidbaarheid is daarna meestal in de orde grootte van 0,1-0,5 $\mu\text{Siemens/cm}$. Voor de regeneratie van een mengbed worden de twee harssoorten gescheiden, (door gebruik te maken van hun dichtheidsverschillen), in een anion- en kationlaag die apart worden geregenereerd met loog en zuur. Hierna worden de twee

harslagen weer gemengd door een water- en luchtstroom door het filter te voeren.

Met de huidige membraantechniek is het ook via omgekeerde osmose mogelijk alle ionen in een stap uit het water te verwijderen (zie paragraaf 7.3) Soms wordt dan voor alle zekerheid nog een monobedfilter nageschakeld.

5.2.5 Retourcondensaat

Controle op de kwaliteit van het retourcondensaat is belangrijk, omdat door eventuele lekkages in warmtewisselaars en andere procesapparatuur het condensaat vervuild kan raken. Naast incidentele controles op laboratoriumschaal kan deze controle ook continu met automatische meetapparatuur worden uitgevoerd.

De belangrijkste parameters zijn de zuurgraad en het totaal zoutgehalte.

De ionogene stoffen kunnen eenvoudig worden gemeten met een in-line pH- meter en een geleidbaarheidsmeter.

Wanneer het condensaat ook organische stoffen kan bevatten, is te overwegen hiervoor een TOC- (Total Organic Carbon) analyser te installeren. Dit zijn over het algemeen kostbare apparaten.

Om het retourcondensaat te reinigen staan de volgende methoden ter beschikking:

- *Niet-ionogene verbindingen* (meestal organische stoffen) kunnen worden verwijderd met actief koolfilters. In opbouw vergelijkbaar met zandfilters en ionenwisselaars, maar dan gevuld met korreltjes actieve kool. Met het condensaat meegekomen zwevende stof (vaak kleine roestpartikeltjes) dient periodiek te worden verwijderd door het koolfilter te spoelen. Opgenomen organisch materiaal wordt tijdens het spoelen niet verwijderd. Wanneer het filter volledig beladen is, dient het koolbed te worden vervangen. De levensduur is sterk afhankelijk van de organische belasting en kan variëren tussen enkele maanden en vele jaren.
- *Ionogene verbindingen* kunnen worden verwijderd met ionenwisselharsen. Omdat bij de meeste ionenwisselharsen de mate van hechting door de actieve groepen aan het hars beneden 60°C optimaal is (bij kationharsen wat hoger dan 60°C) dient met een warmtewisselaar het condensaat te worden afgekoeld. In het algemeen wordt die warmte het meest energie-efficiënt aan het ketelvoedingwater overgedragen.

Met de toepassing van membraanfilters voor het reinigen van retourcondensaat is nog weinig ervaring. De condensaattemperatuur kan hier ook een belangrijke (beperkende) factor zijn.

5.2.6 Gedestilleerd water

Dit is meestal water van een hoge kwaliteit, vergelijkbaar met deminwater uit een ionenwisseling, maar tevens bacterievrij. Voor de productie is energie nodig op een temperatuurniveau van $80 - 120^\circ\text{C}$, om zuiver destillaat door koken, condenseren en afkoelen te verkrijgen.

Door met restwarmte en dus lagere drukken te werken en de destillatie in meerdere stappen uit te voeren, kan het een energie-efficiënt proces zijn.

In het algemeen is dit proces alleen aantrekkelijk als het bedrijf over grote hoeveelheden laagwaardige (rest)warmte beschikt en het beschikbare water een (zeer) hoog zoutgehalte heeft. Ionenwisseltechnieken zijn dan te kostbaar. Het is raadzaam om dan ook membraantechnieken te overwegen en een serieuze evaluatie van de mogelijkheden uit te voeren. Met de huidige membraankwaliteiten kan men waarschijnlijk voordeliger uitkomen.

Een zeer energie-efficiënte methode voor de bereiding van gedestilleerd water is die met een vacuümdampcompressiesysteem. Door onder vacuüm stoom op te wekken en middels een elektrisch gedreven compressor de ontstane damp te comprimeren en te condenseren, wordt zuiver en bacterievrij water met een hoge energie-efficiency geproduceerd. Dit proces verloopt zonder gebruik te maken van een verwarmingsmedium. Tevens wordt de elektrische energie voor de compressor grotendeels omgezet in warmte voor het verdampingsproces.

6 Belangrijkste watertoepassingen

6.1 Algemeen

De belangrijkste toepassingen van water zijn als koelwater in koeltorencircuits en als ketelvoedingwater voor stoomketels. Om de energie-efficiency van het watergebruik in deze toepassingen te verbeteren, worden in dit hoofdstuk enige adviezen gegeven.

6.2 Koeltorens

Wanneer het suppletiewater, dat de verdampings-, spat- en spui verliezen moet compenseren, bestaat uit voorbehandeld water (met laag zwevend stofgehalte, vrij van micro-organismen) zal dit minder kans geven op vervuiling van het koeltoerenpakket en slibopbouw in het bassin.

Dit komt het rendement van de koeltoren ten goede door een meer efficiënt gebruik van het koeltoerenpakket wat een gunstige invloed zal hebben op de afmetingen en het energiegebruik van de koeltorenventilator.

Wanneer in de voorbehandeling ook een (deel)onthardingsstap is opgenomen, kan de indikkingsfactor worden verhoogd, waardoor besparing op watergebruik en koelwaterchemicaliën mogelijk is.

6.3 Stoomketels

Door de keuze van de ketelvoedingwaterbehandeling wordt indirect ook bepaald wat de spui verliezen zullen zijn.

Wanneer het water alleen wordt onthard, wat voor ketels tot een werkdruk van 20 bar voldoende is, zullen de spui verliezen groter zijn dan wanneer gedemineraliseerd water of omgekeerde osmose water wordt gebruikt.

Indien voor de lage- en middendruk ketels een dergelijk hoogwaardige waterkwaliteit worden gebruikt omdat het bijvoorbeeld reeds voor het proces vereist is, dan moet hiermee bij de richtlijnen voor de ketelwatersamenstelling ook rekening worden gehouden in overleg met de ketelfabrikant of een waterdeskundige.

De warmte-inhoud van het ketelspuiwater kan grotendeels worden teruggewonnen met een spui koeler waarbij het ketelvoedingwater wordt voorgewarmd.

Bij voldoende hoge druk van het retourcondensaat is het toepassen van een flashvat aantrekkelijk indien er een toepassing gevonden kan worden voor de bijbehorende lage stoomdruk, zie ook brochure "Stoom- en condensaatssystemen".

7 Belangrijke waterbehandelingsprocessen

7.1 Algemeen

De meest toegepaste waterbehandelingsprocessen zijn:

- ionenwisseling;
- membraantechnologie;
- koelwaterbehandeling;
- ketelwaterbehandeling;
- condensaatbehandeling.

In de volgende paragrafen wordt ingegaan op enige belangrijke aspecten van deze processen.

7.2 Ionenwisseling

Bij de hiervoor genoemde waterbehandelingsmethoden is meerdere malen gesproken over ionenwisselaars. Hieronder een beknopte uiteenzetting over de werking van deze stoffen.

7.2.1 Ionenwisselharsen

Ionenwisselharsen zijn kunststofkorrels waar actieve groepen in zijn aangebracht die de eigenschap hebben om te reageren met in water aanwezige ionen.

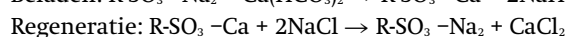
Afhankelijk van het soort actieve groep worden kationen of anionen uit het water opgenomen en uitgewisseld tegen een ion uit de actieve groep. Vandaar de naam ionenwisselaars. De samenstelling van de groep bepaalt de activiteit: hoe makkelijk kan het ion worden uitgewisseld. Bij kationharsen is dit een sterkzure groep of een zwakzure groep, bij anionharsen een sterke of zwakke base.

Wanneer alle actieve groepen zijn bezet met de opgenomen ionen wordt de hars geregeneerd. Door de hoge concentratie van het regenerant worden de opgenomen ionen weer vervangen door actieve ionen en het hars is weer gebruiksklaar.

In onderstaande reactievergelijkingen is één en ander met voorbeelden verduidelijkt. De kunststofkorrel wordt door R (Resin) voorgesteld. Vaak bestaat de harskorrel uit een polystyreen.

- Kationhars

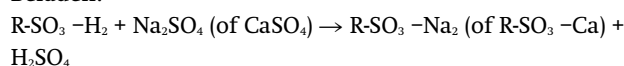
Ontharden:



Voor de regeneratie wordt een 5-10% NaCl-oplossing gebruikt.

Demineraliseren:

Beladen:



Regeneratie: $R-SO_3 - Na_2$ (of Ca) + $2HCl \rightarrow R-SO_3 -H_2 + 2NaCl$ (of $CaCl_2$)

Voor de regeneratie wordt meestal een 5-8% HCl-oplossing gebruikt.

Een zogenaamde zwakzure hars reageert voornamelijk met calcium gebonden aan bicarbonaat:

Beladen: $R-COO-H_2 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow R-COO-Ca + 2H_2CO_3$
Regeneratie: $R-COO-Ca + 2HCl \rightarrow R-COO -H_2 + CaCl_2$

- Anionhars

Demineraliseren:

Beladen: $R-NH_3-(OH)_2 + 2HCl \rightarrow R-NH_3-Cl_2 + 2H_2O$
Regeneratie: $R-NH_3-Cl_2 + 2NaOH \rightarrow R-NH_3-(OH)_2 + 2NaCl$

Voor de regeneratie wordt meestal een 2-5% NaOH-oplossing gebruikt.

Ook bij anionharsen werkt men met verschillende soorten actieve groepen.

De zwakbasische harsen nemen alleen ionen zoals chloride, sulfaat en nitraat op. Deze harsen hebben een hoog regeneratierendement (zie ook 7.2.2).

De sterkbasische harsen nemen ook koolzuur en silicaat op, belangrijk voor toepassing in demineralisatie-installaties. Het regeneratierendement van deze harsen ligt een stuk lager wat leidt tot een hoger looggebruik.

Er bestaan ook harsen die aan één korrel beide groepen verenigen en een gunstig regeneratierendement hebben.

Na de regeneratie worden de restanten regenerant en uitgedreven ionen verwijderd door de harskolom te spoelen. Alle reacties zijn evenwichtsreacties. Om tijdens de regeneratie de opgenomen ionen zo goed mogelijk te verdrijven, is een grotere hoeveelheid zout, zuur of loog nodig dan theoretisch vereist is. Hoe groter deze overmaat, hoe lager het regeneratierendement. De hoogte van deze overmaat (meestal 1,1 tot 1,5) bepaalt de slip van ionen door het filter.

De overmaat regenerant spoelt meestal weg en wordt niet opgevangen voor hergebruik, maar verdwijnt naar de afvalwaterzuiveringsinstallatie, eventueel via een neutralisatiebassin om sterke pH-fluctuaties van de overmaat regeneranten uit te vlakken.

7.2.2 Apparatuur

In principe houden de afmetingen van de installatie verband met het ionengehalte (zoutgehalte) van het te reinigen water. Wordt gekozen voor een lange looptijd tussen twee regeneraties, dan betekent dit een grote installatie, maar met minder tijdverlies voor regeneratie dan bij een kleine installatie. De kapitaalkosten voor een kleine installatie zullen lager liggen, maar niet evenredig. Voor iedere installatie is nu eenmaal bijvoorbeeld een identieke set afsluiters nodig.

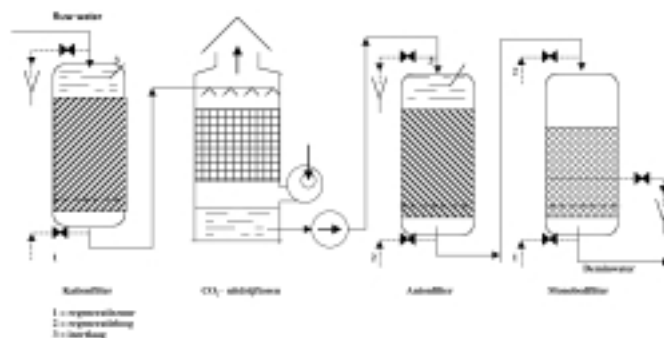
Hierboven is al even gesproken over het regeneratierendement, ook wel regeneratieniveau genoemd.

Bij het beoordelen van aanbiedingen moet hierop worden gelet om te kunnen bepalen wat de jaarkosten zijn voor regeneranten en hoe groot het opvangbassin moet zijn voor neutralisatie van de overmaat regenerant voordat dit mag wor-

den geloosd op het riool of een zuiveringsinstallatie.

Voor een goede evaluatie van aangeboden installaties is de beste manier om het water- en chemicaliënverbruik uit te drukken in m^3 spoelwater/ m^3 geproduceerd water, respectievelijk kg regenerant/ m^3 geproduceerd water.

Bij een demineralisatie wordt vaak een CO_2 -uitdrijftoren toegepast achter het kationfilter, *figuur 1*.



Figuur 1. Demineralisatie, basisopstelling

Afhankelijk van het CO_2 -gehalte kan worden nagegaan of een dergelijke uitdrijftoren of een anionhars met zowel sterkbasische als zwakbasische groepen aantrekkelijker is om toe te passen en zo de uitdrijftoren te vermijden. Daarmee vervalt een stuk equipment en een ventilator met het bijbehorende energiegebruik. Tevens is het regeneratierendement van een dergelijke hars hoger, met een gunstiger looggebruik als gevolg.

Bij de tegenwoordig algemeen toegepaste tegenstroomregeneratie wordt meestal op het harsbed een laag inert materiaal (polytheen- of polypropyleenkorrels) aangebracht om zo het harsbed te fixeren tijdens de regeneratie. De praktische uitvoering kan verschillen per fabrikant.

Een alternatief voor demineralisatie met ionenwisselaars is de toepassing van *Omgekeerde Osmose*, met eventueel een nageschakeld mengbed voor polishing, zie ook de volgende paragraaf.

7.3 Membraantechnologie

7.3.1 Algemeen

De laatste vijf jaar is de membraantechnologie de kinderschoenen ontgroeid. Er zijn nu veel toepassingen op grotere schaal, zowel bij drinkwaterbedrijven als industriële installaties, zie brochure "Membraantechnologie".

7.3.2 Membraansoorten

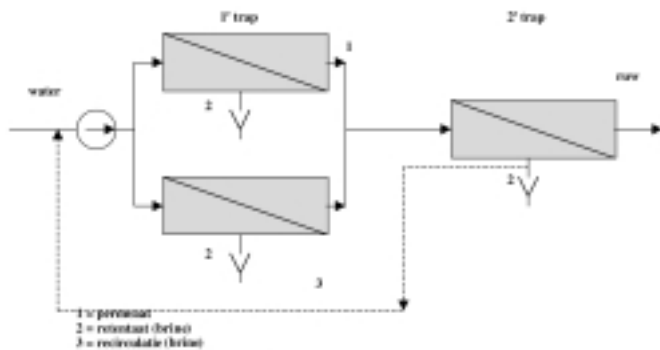
In tegenstelling tot ionenwisselaars heeft het zoutgehalte van het te behandelen water vrijwel geen invloed op het benodigde membraanoppervlak.

Bij watersoorten met een hoog zoutgehalte kan het voordeliger zijn om met membraantechnologie te werken. Bij lage zoutgehaltenes kan ionenwisseling voordeliger zijn.

In twijfelgevallen moet daarom een vergelijking worden gemaakt tussen de twee systemen, waarbij ook goed moet worden gekeken naar het energie- en watergebruik.

Als richtlijn voor het waterverbruik van een demineralisatie kan gerekend worden met 5 tot 10% van het influent, terwijl dit voor omgekeerde osmose op 10 tot 25% ligt.

Het verlies aan ionenwisselaarharsen bedraagt circa 5% per jaar, het membraan voor de omgekeerde osmose heeft een standtijd van 3 à 4 jaar. In *Figuur 2* is een schema weergegeven van een tweetrapssysteem met omgekeerde osmose.



Figuur 2. Tweetrapssysteem omgekeerde osmose

De laatste jaren is er een snelle ontwikkeling in soorten membranen en is de betrouwbaarheid en levensduur toegenomen. Tevens is er een dalende tendens in het energiegebruik, wat toepassing ook aantrekkelijker maakt.

Afhankelijk van de poriëngrootte in de membranen kan een klassering worden opgesteld naar de grootte van de deeltjes die verwijderd kunnen worden.

Klasse	Deeltjes μ	Poriën μ	Voordruk Bar	Toepassing
Microfiltratie	> 0,08	> 0,1	0,1 - 0,3	Ruwwaterzuivering
Ultrafiltratie	0,008	< 0,1	3 - 10	Ruwwaterzuivering/desinfectie
Nanofiltratie	0,0008	<< 0,1	10 - 30	Verwijdert ook 2+ en 3+ ionen
Omgekeerde Osmose	0,0004	<< 0,1	20 - 60	Demineralisatie

Belangrijk bij membraantechnologie is het voorkomen van vervuiling van de membranen. Een regelmatige spoeling en periodieke reiniging met chemicaliën zijn essentieel en moeten bij de evaluatie van alternatieven worden opgenomen. Luchtspoeling wordt steeds veelvuldiger toegepast als een energiezuinige en milieuvriendelijke reinigingsmethode. Bij relatief weinig verontreinigingen wordt wel “dead end”-filtratie toegepast. Wanneer het water meer verontreinigingen bevat is “cross flow”-filtratie aantrekkelijker. Het geeft minder membraanvervuiling, maar heeft wel een hoger energiegebruik.

Een tussenstap met een lager energiegebruik is “Semi Dead End”-filtratie. Het wordt meestal gecombineerd met luchtspoeling van de verticaal opgestelde membraanmodules.

Micro- en ultrafiltratie worden al op meerdere plaatsen ingezet voor de directe reiniging van oppervlaktewater dat dan als uitgangsbasis dient voor het bedrijfswater.

Soms wordt het gecombineerd met een coagulatiestap om zo de membranen schoner te houden.

Desinfectie gaat goed met microfiltratie, echter beter met ultrafiltratie. Dan is desinfectie met chloorbleekloog niet nodig of het gebruik is een stuk minder.

Er zijn inmiddels ook installaties waarbij in één stap met behulp van nanofiltratie een goede kwaliteit water uit oppervlaktewater wordt geproduceerd voor verdere verwerking tot demi-, ketelvoeding- en proceswater. Het is een energiezuinige techniek met een laag chemicaliëngebruik.

Voor de directe bereiding van proceswater uit afvalwater van een communale afvalwaterzuivering is de toepassing van microfiltratiemembranen in een vergevorderd stadium. Het geproduceerde permeaat is vrij van zwevende stof en microorganismen.

7.3.3 Enkele praktijkvoorbeelden

Een bedrijf in Drenthe schakelde over van drinkwater naar oppervlaktewater. Het water wordt hoofdzakelijk gebruikt voor de productie van ketelvoedingwater voor enkele hoge drukketels.

In de oude situatie werd het drinkwater via een demininstallatie gezuiverd. Deze was echter sterk verouderd.

In de nieuwe situatie wordt het oppervlaktewater in drie stappen gezuiverd:

- voorzuivering door continu zandfilters;
- ultrafiltratie in combinatie met een vlokvorming;
- omgekeerde osmose.

In de installatie is een warmtewisselaar opgenomen om het oppervlaktewater op een constante temperatuur van 20°C te brengen (in de winterperiode) om zo optimale resultaten te

bereiken bij de vlokingsstap en in de membraanunits.

De installatie heeft een capaciteit van uiteindelijk 75 m³/hr en is in 2000 in bedrijf genomen.

Een bedrijf in Amsterdam wilde overschakelen van drinkwater, dat gebruikt wordt voor proceswatervoorziening, naar oppervlaktewater.

Pilotproeven gaven aan dat gebruik kon worden gemaakt van IJ-water dat als koelwater door het bedrijf werd gebruikt. In plaats van dit water te lozen, wordt het nu hergebruikt en de opgenomen warmte is geen afvalwarmte meer.

Het koelwater wordt door een Ultrafiltratie-unit gevoerd en vervolgens verder gezuiverd via een omgekeerde osmose-unit.

Met de pilotunit is vastgesteld wat de beste condities zijn ten aanzien van de voorzuivering (zandfiltratie en dosering van permanganaat) en de membraanconfiguratie en spoelprocedures van de Ultrafiltratie modules. Op grond van deze gegevens is in 2001 de definitieve installatie gebouwd met een capaciteit van 150 m³/hr.

7.4 Koelwaterbehandeling

Om vervuiling en aantasting van het koelsysteem te voorkomen is het nodig om het koelwater te behandelen. Meestal gebeurt dit door het doseren van chemicaliën.

7.4.1 Microbiologische controle

In het relatief warme water van een koelsysteem, dat in de koeltoren perfect wordt belucht en daglicht ziet, willen micro-organismen makkelijk groeien zowel in de koeltoren als in het koelsysteem-, in de warmtewisselaars.

Om groei van micro-organismen tegen te gaan, wordt veelal een biocide toegevoegd. Het meest gebruikte is chloorbleekloog, ook wel natriumhypochloriet genoemd. Het is een waterige oplossing, die in verse toestand omgerekend 150 mg/l actief chloor bevat.

Omdat chloorbleekloog een instabiele verbinding is, loopt het gehalte aan actief chloor langzaam terug. Hier moet bij het dimensioneren van de opslag rekening mee worden gehouden. Door de leveranciers van chloorbleekloog wordt aanbevolen niet meer op te slaan dan in één maand wordt gebruikt.

Afhankelijk van de grootte van het koelsysteem vindt opslag plaats in jerrycans van 25-40 liter of bulk opslagtanks vanaf 0,5 m³. Dosering geschiedt met een plunjer/membraanpomp. De te doseren hoeveelheid hangt af van de verontreiniging van het koelwater, dat wil zeggen of het gemakkelijk reageert met chloorbleekloog omdat het bijvoorbeeld veel organisch materiaal bevat. Voor een effectieve reactie is 30 minuten na de dosering een restgehalte van vrij chloor van 0,1-0,5 mg/l voldoende. Hogere concentraties zijn meestal niet nodig en zijn formeel vaak niet toegestaan in verband met de lozing van het spuiwater. In de praktijk komt dit erop neer dat een dosering van 1-2 mg/l chloor wordt aangehouden voor het berekenen van de dosering. De doseerfrequentie hangt ook weer sterk af van de eigenschappen van het systeem en kan variëren van 3x per etmaal tot enkele malen per week. De doseerpomp is dan meestal tijdgestuurd. In plaats van deze zogenaamde "stootdosering", wordt ook wel eens continu chloorbleekloog gedoseerd, waarbij de concentratie op 0,1-0,2 mg/l vrij chloor wordt gehandhaafd. Dosering is dan vaak gekoppeld aan een chloor-analyser. Meestal gaat het dan om grote koeltorensystemen.

Naast chloorbleekloog, een oxiderend biocide, bestaan er niet-oxiderende biocides, meestal organische verbindingen, op de markt gebracht door de waterbehandelingsfirma's. Enkele bekende actieve stoffen zijn isothiazolines, glutaaraldehyde, methyleenbisthiocyanat (MBT), quaternaire ammoniumverbindingen (quats). Deze verbindingen hebben meestal specifieke eigenschappen om de groei van algen, bacteriën, schimmels of gisten te bestrijden. De selectie wordt gemaakt in nauw overleg met de waterbehandelingsfirma, die ook de aanbevolen doseerconcentratie opgeeft. Voor deze en andere hier niet genoemde verbindingen moet een toelatingsnummer zijn afgegeven voor toepassing in Nederland. Het zijn verbindingen die in de wet worden vergeleken met bestrijdingsmiddelen. De voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen moeten worden gebruikt en de richtlijnen om hiermee te werken strikt worden opgevolgd.

Dosering vindt vrijwel altijd stootgewijze plaats. De doseermethode is net als bij chloorbleekloog met een doseerpompje, dat tijdgestuurd is.

7.4.2 Controle van corrosie en fouling

Hoewel corrosie en fouling twee verschillende begrippen zijn, hebben de toegepaste chemicaliën vaak gecombineerde functies.

Fouling is nog verder onder te verdelen in neerslagen van ketelsteen, calciumverbindingen en neerslagvorming van ijzeroxides en zwevende stof gevormd in het systeem (dode micro-organismen, ingewaaid stof) en wat is meegekomen met onvoldoende behandeld suppletiewater.

Vroeger werd zwavelzuur gedoseerd om zo de pH-waarde laag te houden als methode om ketelsteenvorming door calciumcarbonaat tegen te gaan en daarbij een inhibitor tegen corrosie. Dit soort behandelingsmethodes wordt tegenwoordig steeds minder toegepast.

Vaak wordt een combinatieproduct toegepast waarin de corrosie-inhibitor uit fosfaat of een fosfaatverbinding bestaat met daarnaast een organische polymeerverbinding die dispergerende eigenschappen heeft. Deze verbinding verhindert neerslagvorming van calciumverbindingen, zwevende stof en ijzeroxides. De meeste van dit soort producten werken bij een pH-waarde van ± 8 (soms ook wat hoger). De m-alkaliteit* in het systeem moet tenminste 4 megeq/l bedragen, wat de eerder genoemde zuurdosering overbodig maakt. De juiste keuze wordt in nauw overleg met een waterbehandelingsfirma gemaakt, die daarbij onderzoekt wat de watersamenstelling is, de verblijftijd in het systeem, de temperaturen van warmtewisselaars meeweegt en probeert de hoogst mogelijke indikkingsfactor (laagste spui verliezen en chemicaliënverbruik) te bereiken.

Door de eigenschappen van deze producten is er een relatief nauwe speelruimte in de samenstelling van het koelwater. Komt de samenstelling daarbuiten, dan is er een verhoogde kans op vervuiling of corrosie. Een goede controle is daarom essentieel.

De benodigde chemicaliën kunnen op de klassieke manier per drum worden ingekocht, wat het probleem van restemballage geeft. Tegenwoordig wordt steeds meer overgeschakeld op vast opgestelde (mini)containers, die ter plaatse worden bijgevuld door de leverancier met een tankwagen of vanuit een wisselcontainer. Naast de lagere kosten van deze systemen zijn ze ook betrouwbaarder en milieuvriendelijker. NB: Ook voor de dosering van niet-oxiderende-biocides worden deze containersystemen toegepast.

Om te voorkomen dat door het onjuist toepassen of doseren van chemicaliën afzettingen of vervuilingen van warmtewisselaars in het koelwatersysteem optreden, is het raadzaam om de waterbehandelingsfirma niet alleen de chemicaliën te laten leveren maar ook de controle te laten uitvoeren in combinatie met het geven van een doseringsadvies.

* De m-alkaliteit geeft de concentratie van HCO₃⁻ ionen of CO₃²⁻ ionen weer. De term is afkomstig van de vroegere analysemethode waarbij een titratie met zuur plaatsvond tot het omslagpunt met de indicator methyl-oranje (pH waarde $\pm 4,5$). Bij koelwater wordt het ook wel de tijdelijke hardheid genoemd.

7.5 Ketelwaterbehandeling

Afhankelijk van het type stoomketel (werkdruk, vlampijp- of waterpijpketel) wordt een ketelwaterbehandeling voorgeschreven. Zoals hierboven al vermeld zijn uit het voedingwater de niet gewenste ionen verwijderd en wordt het water vervolgens ontgast (meestal thermisch) om de zuurstof te verwijderen.

7.5.1 Zuurstofverwijdering

Na de ontgassing worden de laatste spoortjes zuurstof meestal verwijderd door ze chemisch te binden.

Voor ketels tot een werkdruk van 20-25 bar wordt gekatalyseerd sulfiet gebruikt.

Voor hogere werkdrukken is sulfiet minder geschikt en worden organische verbindingen gebruikt. Nu hydrazine in verband met vermeende toxische eigenschappen niet meer wordt gebruikt (tenzij onder zeer strenge condities), wordt het wel in "gebonden" vorm toegepast (carbohydrazide), waarbij in de ketel de hydrazine weer vrijkomt en de zuurstof bindt.

Naast deze stof zijn verschillende andere verbindingen in gebruik die ook zuurstof binden: methylethylketoxim (MEKO), diethylhydroxylamine (DEHA), hydrochinon. Hierbij bestaan risico's dat het organische molecuul uiteenvalt en er een carbonzuur wordt gevormd (dat de ketelwater pH ongunstig beïnvloedt) of al dan niet vluchtige organische verbindingen.

7.5.2 Alkaliteitsregeling

Om aantasting van het ketelstaal te voorkomen, is het nodig dat het ketelwater alkalisch wordt gehouden. Afhankelijk van keteltype en druk is dit meestal een pH-waarde tussen 9 en 11. Deze waarde kan op verschillende manieren bereikt worden. De eenvoudigste methode is het doseren van een geringe hoeveelheid natronloog.

Zijn er geen andere chemicaliën in het ketelwater (behalve wat sulfiet), dan moet worden gelet op de kans van aantasting door loogbroosheid in spleten. Vroeger was dit een berucht fenomeen in geklonken ketels. In moderne ketels zitten echter talloze flensverbindingen, dus mag dit mechanisme niet over het hoofd worden gezien. Zou het ketelwater opkoken en worden meegesleurd met de stoom, dan bestaat er ook in de stoomleidingen kans op aantasting door loogbroosheid.

Een andere methode is het doseren van fosfaatmengsels. Trinatriumfosfaat reageert sterker alkalisch dan di- of mononatriumfosfaat. Door de waterbehandelingsfirma's worden mengsels op de markt gebracht om de juiste alkaliteit in te stellen. Vaak is aan de formulatie ook nog een anti-schuimmiddel toegevoegd, dat opkoken van het ketelwater tegengaat.

Toepassing van fosfaat heeft tevens het voordeel dat kleine spoortjes hardheid die nog in het voedingwater kunnen zitten, worden gebonden tot een zacht slib, dat makkelijk spuisbaar is.

In hogedrukketels wordt wel ammoniak als alkaliseermiddel toegepast. Omdat dit een vluchtige stof is, zal slechts een geringe hoeveelheid in het ketelwater blijven. De rest gaat mee met de stoom en helpt mee het condensaatnet te beschermen, zie ook 7.6.

7.5.3 Sludge conditioners

Hoewel het ketelvoedingwater, en ook het eventuele retourcondensaat, er ogenschijnlijk schoon uitziet, kunnen toch op de lange termijn afzettingen in de ketel worden gevormd die de warmteoverdracht negatief beïnvloeden.

Het in 7.5.2 genoemde fosfaat kan tot op zekere hoogte deze sludge in dispersie houden. Hiernaast zijn door de waterbehandelingsfirma's diverse organische verbindingen ontwikkeld die dispergerende eigenschappen hebben en zo afzettingen van calcium- en ijzerverbindingen tegengaan.

7.5.4 Dosering

De meeste van de hierboven genoemde stoffen worden toegevoegd aan het ketelvoedingwater; de zuurstofbinders meestal na de thermische ontgassingsstap, de alkaliseermiddelen en sludgeconditioners kunnen vóór de ontgasser worden gedoseerd met een plunjerpomp.

Net als bij koelwaterchemicaliën worden ook ketelwaterchemicaliën steeds meer in wisselcontainers of plaatselijk navulbare containers geleverd.

7.6 Condensaatbehandeling

Condensaat kan zeer corrosief zijn wanneer het geringe hoeveelheden zuurstof en/of koolzuur bevat die via een buffertank of onderweg in het retourleidingsstelsel door beluchting zijn opgenomen. Corrosieschade aan de condensaatleidingen en een verhoogd ijzergehalte in het retourcondensaat zijn de gevolgen.

Om de invloed van zuurstof te minimaliseren, is een goede ontgassing en zuurstofbinding bij het ketelvoedingwater de eerste stap.

Na de stoomverbruikers dient de temperatuur van het condensaat zo hoog mogelijk te worden gehouden, bij voorkeur boven 85°C, omdat daarbij:

- het geringste energieverlies optreedt;
- de laagste opname van zuurstof plaatsvindt.

Daarom zijn goede isolatie en gesloten systemen een eerste vereiste bij condensaatssystemen.

Om de invloed van koolzuur te neutraliseren, worden wel aan het condensaat alkaliserende amines toegevoegd die de pH-waarde verhogen. De meest bekende amines zijn morfoline en cyclohexylamine.

Hiernaast wordt nog een groot aantal andere amines op de markt gebracht. Afhankelijk van de layout van het stoom- en condensaatnet wordt een keuze gemaakt uit een amine of mengsel van meerdere amines om de optimale bescherming te geven. Meestal wordt een pH-waarde van 8-8,5 nagestreefd in het condensaat.

Soms wordt ook wel met ammoniak gewerkt; er moet dan wel op worden gelet dat niet gelijktijdig zuurstof aanwezig is, anders kan aantasting van koper(legeringen) optreden.

De amines worden meestal aan het ketelvoedingwater toegevoegd en omdat ze vluchtig zijn gaan ze als gas mee met de stoom. Bij het condenseren van de stoom lossen de amines weer op in het gevormde condensaat. De snelheid waarmee dit gebeurt, is afhankelijk van het type amine. De selectie wordt gemaakt in overleg met de waterbehandelingsfirma.

8 Renovatie

Vaak moet een bedrijf, ter vervanging van een verouderde zuiveringsinstallatie die drinkwater als voeding gebruikt, een keuze maken tussen een identieke installatie of een nieuw concept.

In veel gevallen kan overschakeling op oppervlaktewater, gecombineerd met een membraanzuivering, voordeliger zijn. Dit kan eventueel in de vorm van levering door het drinkwaterbedrijf als een grijs- of E-water unit via een leverings- en onderhoudscontract.

Naast de besparing door over te schakelen op een goedkopere watersoort, die misschien dichterbij kan worden gewonnen dan de nu gebruikte, is er soms ook een besparing op de transportkosten van het drinkwater. Daarmee is een directe energiebesparing mogelijk.

Een praktijkvoorbeeld is een bedrijf met een waterverbruik van 700.000 m³/a, dat op deze wijze een energiebesparing van 275.000 kWh/a realiseerde.

9 Referenties

Te raadplegen literatuur:

1. Watersymposium 2001, NCC Bilthoven.
2. EEG IPPC document Best Available Techniques to industrial cooling systems 2000