

Dit rapport vormt de basis van
het standstillbeleid.

DHV

DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV

Bewaren! 

Provincie Noord-Brabant
Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer

PROVINCIE NOORD-BRABANT AFDELING WATER
no. 1845
code 42-153

Studie naar het gebruik en de mogelijkheden voor besparing van zoet
grondwater voor koeldoeleinden in Noord-Brabant

juli 1988

dossier C-0447-01-001



INHOUD	BLZ.
1. INLEIDING	3
2. DOELSTELLING EN DEFINITIES	4
3. KOELSYSTEMEN MET GEBRUIK VAN KOELWATER	6
4. BESPARINGSMOGELIJKHEDEN VAN ZOET GRONDWATER VOOR KOELDOELEINDEN	11
5. KOSTENINDICATIE	24
6. ANALYSE GRONDWATERVERBRUIK T.B.V. KOELDOELEINDEN	30
7. CONCLUSIES	37

BIJLAGEN

1. Cumulatieve frequentiekrommen van de oppervlaktewater-temperatuur en de nattebol temperatuur, gemiddeld in Nederland
2. Berekeningen van de indicatie van de investeringen en de jaarlijkse kosten van de verschillende alternatieven
3. Lijst van telefonisch geraadpleegde bedrijven
4. Checklist

1. INLEIDING

1.1. Opdracht

Op 11 maart 1988 ontving DHV Raadgevend Ingenieursbureau opdracht van de afdeling Water van de Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer van de Provincie Noord-Brabant tot het uitvoeren van een studie naar mogelijke besparingen op het gebruik van grondwater voor koeldoeleinden in Noord-Brabant.

1.2. Indeling en inhoud van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt de doelstelling van de studie weergegeven en worden enkele veel voorkomende begrippen gedefinieerd. In hoofdstuk 3 wordt een beknopt overzicht gegeven van de koelsystemen in het algemeen en de plaats die het grondwater daarbij inneemt.

In hoofdstuk 4 wordt aangegeven welke alternatieven in aanmerking komen voor de besparing op het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden. Bij de uitwerking van de meest zinvolle alternatieven wordt de toepassing beschreven. Vervolgens wordt waar mogelijk van elk alternatief aangegeven aan welke voorwaarden moet worden voldaan en met welke kwaliteits- en temperatuursaspecten rekening moet worden gehouden. Uit de algemene beschrijving zijn zeven voorbeeld-alternatieven gegenereerd waarvoor een kostenindicatie is opgesteld in hoofdstuk 5.

In hoofdstuk 6 is het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden in de provincie Noord-Brabant kwalitatief uitgewerkt. Na een beknopte beschouwing van het verleden en de huidige situatie wordt ingegaan op de bepaling van de koelbehoefte voor de bedrijven.

1.3. Checklist

Een onderdeel van de studie vormt het opstellen van een checklist waarmee de mogelijke besparingen op het verbruik van grondwater voor koeldoeleinden van een bedrijf kan worden nagegaan en worden geëvalueerd.

Deze checklist is te vinden in bijlage 4.

2. DOELSTELLING EN DEFINITIES

2.1. Doelstelling

Het doel van de studie is:

- het inventariseren en onderzoeken van de technische mogelijkheden en beperkingen ter besparing van grondwater door
 - . betere procesbeheersing
 - . alternatieve koeltechnieken
 - . hergebruik en/of infiltratie van koelwater en de kosten hiervan
- het verkrijgen van inzicht in de omvang en de toepassingen van grondwater voor koeldoelinden in de verschillende industrie- en bedrijfstakken in Noord-Brabant
- het opstellen van een checklist, te gebruiken bij verguningsaanvragen, waarmee de mogelijke besparingen op het gebruik van grondwater effectief geëvalueerd kunnen worden

2.2. Begrippen

Waternutverbruik: het zodanig gebruik van water dat het zijn oorspronkelijke kwaliteit verliest en afvalwater wordt of zelfs geheel verdwijnt.

Het industrieel waternutverbruik kan worden onderverdeeld naar toepassing:

- koelwater
- ketelvoedingwater
- proceswater
- sanitairwater
- schoonmaakwater en overig water

Voor de toepassingen gelden de volgende definities:

- koelwater.
Het water dat dient voor afvoer van warmte, voornamelijk in thermo-dynamische processen doch ook bij andere processen zoals bijvoorbeeld het steriliseren (CBS 1972).
- ketelvoedingwater.
Het water dat gebruikt wordt voor stoomproduktie en verwarming.
- proceswater.
Het water dat in rechtstreeks contact komt met grondstof en/of produkt in één of andere fase van het proces; dit omvat tevens het water dat een onderdeel van het produkt gaat vormen.
- sanitair water.
Het water dat door werknemers voor hygiënische doeleinden wordt gebruikt en het water, gebruikt in kantines e.d.

- schoonmaakwater en overig water.
Dit houdt in het verbruik voor het schoonhouden van ruimten, transportmiddelen en verpakkingsmaterialen alsmede de kleine incidentele verbruiken voor niet eerdergenoemde doeleinden. Het schoonmaken van machines dient veelal met proceswater te geschieden in verband met het mogelijke rechtstreekse contact met produkten. Dit verbruik wordt dan ook onder proceswater gerekend.

Bij deelstroommetingen wordt vaak slechts het koelwaterverbruik apart geregistreerd zodat het niet bij elk bedrijf mogelijk is de overige verbruiken te specificeren.

In deze studie is uitgegaan van de tweedeling:

- koelwater
 - overig water (vaak proceswater genoemd)
- Hergebruik van water: het gebruik van water voor één of ander doel, nadat het reeds eerder is gebruikt, zonder te zijn afgevoerd.

Bedrijven: in dit rapport zal de Standaard Bedrijfs Indeling (SBI) van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) worden aangehouden. De SBI kent de volgende indelingen:

- Bedrijfstakingen (1 digit), namelijk:
 - 0 Landbouw en visserij
 - 1 Delfstoffenwinning
 - 2/3 Industrie
 - 4 Openbare nutsbedrijven
 - 5 Bouwnijverheid en -installatiebedrijven
 - 6 Handel, hotel- en restauratiewezen
 - 7 Transport-, overslag- en communicatiebedrijven
 - 8 Bank- en verzekeringswezen
 - 9 Overige dienstverlening
- Bedrijfsklassen (2 digits), zoals:
 - 20 Voedings- en genotmiddelen industrie
 - 33 Basismetaalindustrie
- Bedrijfsgroepen (3 digits), zoals:
 - 20.2 Zuivel- en melkproduktenindustrie
 - 21.5 Bierbrouwerijen en mouterijen
 - 33.4 Non-ferro metaalindustrie
- Bedrijfssubgroepen (4 digits); zoals
 - 20.22 Consumptiemelk en melkproduktenfabrieken
 - 21.51 Bierbrouwerijen
 - 33.41 Non-ferro metaalertsvoorbewerking
 - 33.43 Non-ferro metaalsmelterijen, ontinningsfabrieken

3. KOELSYSTEMEN MET GEBRUIK VAN KOELWATER

3.1. Inleiding

Water wordt door de industrie en de nutsinstellingen o.a. gebruikt voor de volgende koeldoeleinden:

- koeling van produktie-apparatuur in de olie-, petrochemische-, chemische-, metaal-, papier-, voedings- en genotmiddelenindustrie (bijvoorbeeld warmtewisselaars, walsen, kalenders, tempereermachines, autoclaven, continu-sterilisatoren etc.)
- koeling van diverse condensors, zoals condensors van turbines (voor energieopwekking met stoom), barometrische condensors (b.v. van vacuümdampinstallaties) en condensors en koelmachines
- koeling van pakkingbussen van pompen voor media met hoge temperatuur (heet water, thermische olie etc.)
- koeling van compressoren
- koeling van vacuümpompen
- koeling voor luchtbehandeling, o.a. airconditioning

Goed koelwater moet aan de volgende eisen voldoen:

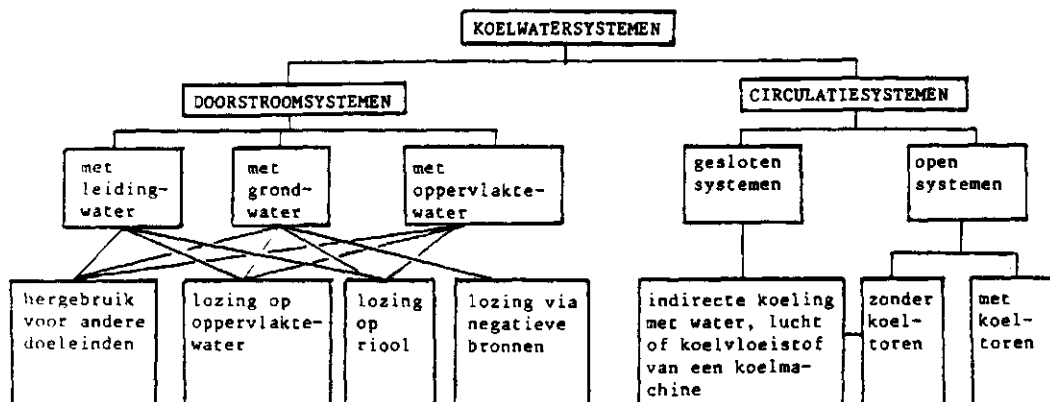
- zo schoon mogelijk zijn, d.w.z. vrij van onopgeloste stoffen
- zo weinig mogelijk corrosief zijn, tenzij het koelsysteem geheel corrosievast is uitgevoerd
- geen afzettingen vormen bij de in het koelsysteem heersende omstandigheden (temperatuur, indikking)
- weinig biologische activiteit bevatten
- het effluent van het koelwatersysteem moet ecologisch acceptabel zijn

Ter voorkoming van problemen tengevolge van afzettingen, corrosie of biologische groei, dienen derhalve tijdig adequate maatregelen te worden getroffen in de vorm van een goede waterbehandeling en de juiste keuze van het type koelsysteem en de toe te passen materialen.

Ter vergroting van het inzicht in de mogelijkheden van koelinstallaties volgt een beknopt overzicht van de diverse koelsystemen waarbij de nadruk wordt gelegd op de rol van het grondwater.

3.2. Overzicht koelwatersystemen

De koelwatersystemen zijn onder te verdelen in doorstroomkoelsystemen en circulatiekoelsystemen (fig.3.1)



Figuur 3.1. - Overzicht koelwatersystemen

In dit verband is het belangrijk te wijzen op koelsystemen die berusten op het principe van luchtkoeling. Hoewel dit in feite geen koelwatersystemen zijn wordt in de beschrijving van de systemen luchtkoeling beschouwd als een indirect gesloten circulatiesysteem.

3.2.1. Doorstroomkoelsystemen

Doorstroomkoelsystemen kunnen worden onderverdeeld naar de herkomst van het gebruikte water. Mogelijke gebruiksbronnen zijn: grondwater, leidingwater en oppervlaktewater.

Doorstroomkoeling met grondwater

De belangrijke voordelen van de toepassing van grondwater als koelwater zijn:

- de constante, lage temperatuur
- de gemakkelijke en betrekkelijke goedkope winning
- de hygiënische betrouwbaarheid
- het ontbreken van de noodzaak tot voorafgaande bewerking

Anderzijds zijn er een aantal nadelen aan het gebruik van grondwater als koelwater verbonden. Zo is grondwater slechts in beperkte mate aanwezig en daarnaast een primaire bron voor de bereiding van drink- en proceswater.

De winning van grondwater wordt steeds duurder ten gevolge van de heffingen op het onttrekken ervan. Vervolgens kan door verlaging van de grondwaterspiegel schade aan de landbouw veroorzaakt worden.

Tenslotte kan door een te hoog zout- of ijzergehalte of een te lage zuurstof concentratie de lozing van grondwater voor problemen zorgen.

Doorstroomkoeling met leidingwater

Gebruik van leidingwater is vanwege de betrekkelijk hoge prijs voor doorstroomkoeling een kostbare aangelegenheid. Hierdoor zal het gebruik van leidingwater voor koelwaterdoeleinden meestal beperkt blijven tot kleine hoeveelheden.

Doorstroomkoeling met oppervlaktewater

Deze methode van koeling is alleen toepasbaar indien in de nabijheid van een bedrijf open water aanwezig is. In dat geval is de beschikbaarheid over het algemeen onbeperkt.

3.2.3. Circulatiekoelsystemen

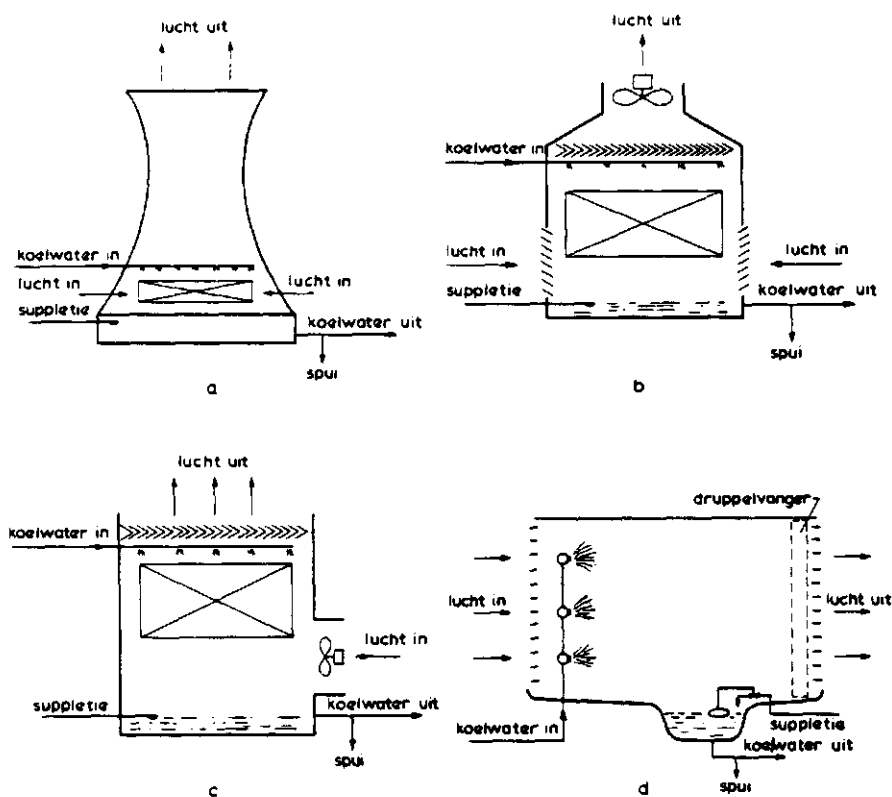
De circulatiekoelsystemen kunnen worden onderscheiden in gesloten systemen, waarbij geen luchttoetreding plaatsvindt en in open systemen, met luchttoetreding.

Open systemen

De open systemen betreffen meestal systemen met een koeltoren. Men onderscheidt 4 typen koeltorens (fig. 3.2.).

- de atmosferische koeltorens met natuurlijke trek, dikwijls in hyperbolische uitvoering, voor zeer grote koelsystemen
- de mechanische koeltorens met geïnduceerde trek
- de mechanische koeltorens met geforceerde trek
- de ejectie-koeltorens, waarbij de lucht met het versproeide koelwater wordt meegezogen

De warmte-energie van het koelwater wordt hierbij voornamelijk omgezet in verdampingsenergie van een gedeelte van het koelwater. Een klein gedeelte wordt omgezet in verwarming van de lucht (convectief).



Figuur 3.2. - Diverse typen koeltorens

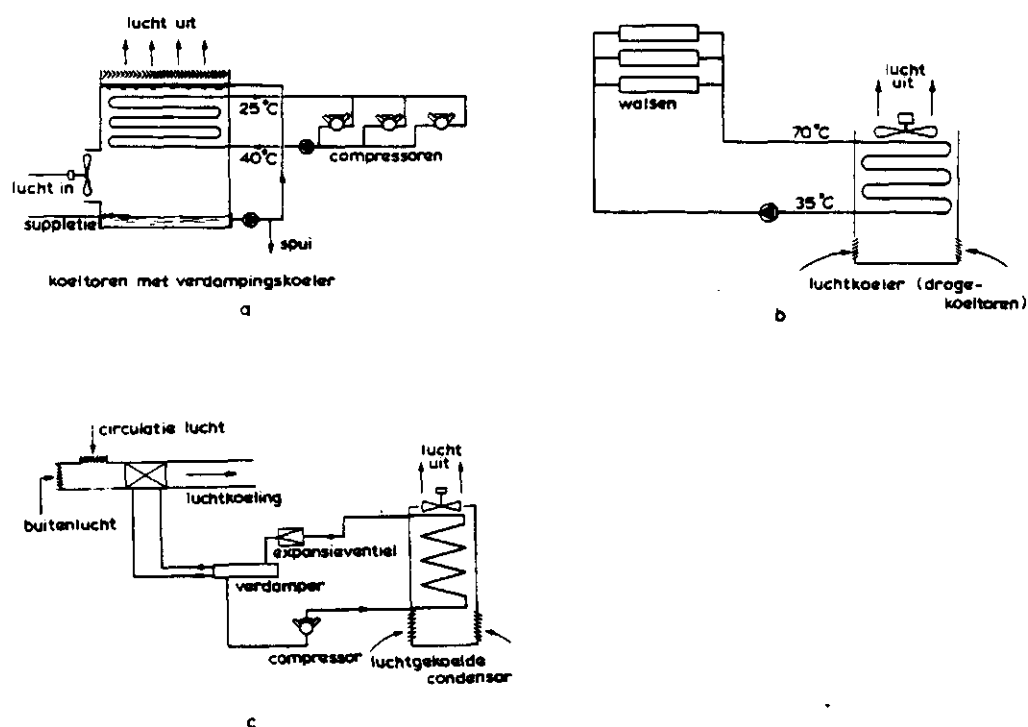
- a. met natuurlijke trek
- b. met geïnduceerde trek
- c. met geforceerde trek
- d. met ejectie

Gesloten systemen

De werking van gesloten koelsystemen berust op het principe van indirecte koeling van het koelmedium. Hierbij treedt dus geen verdamping van koelwater op (figuur 3.3.).

Koeling vindt plaats door middel van:

- water via een warmtewisselaar of via een koeltoren d.m.v. een ingebouwde koelspiraal
- lucht via een luchtkoeler
- de koelvloeistof van een koelmachine



Figuur 3.3. - Diverse methoden van indirectie koeling van gesloten en open koelsystemen

- a. met water via een koeltoren
- b. met lucht via een koeltoren
- c. met de koelvloeistof van een koelmachine

Bij systemen waar met lucht gekoeld wordt is met name de gemiddelde zomertemperatuur van belang.

4. BESPARINGSMOGELIJKHEDEN VAN ZOET GRONDWATER VOOR KOELDOELEINDEN

4.1. Inleiding

In figuur 4.1. is het verbruiksproces van zoet grondwater voor koeling schematisch weergegeven.



Figuur 4.1. - Schematische voorstelling verbruiksproces zoet grondwater voor koeling

Bij elke stap in dit proces zijn alternatieven of verbeteringen aan te geven ten opzichte van de minst voordelige situatie. Dit is de situatie waarbij opgepompt zoet grondwater na gebruik als koelwater wordt geloosd in het riool of op het oppervlaktewater. Handhaving van deze situatie wordt in het vervolg van dit rapport beschouwd als de nul-optie.

4.2. Overzicht van alternatieven en verbeteringen

Alternatieven en verbeteringen onttrekken zoet grondwater

- gebruik leidingwater (in doorstroomkoelsysteem)
- onttrekken brak grondwater (in doorstroomkoelsysteem)
- gebruik oppervlaktewater (in doorstroomkoelsysteem)

De eerste twee alternatieven worden verder niet beschouwd vanwege respectievelijk de economische onaantrekkelijkheid (leidingwater kost circa f 0,60/m³ voor groot verbruikers) en de afwezigheid van brak grondwater op winbare diepte in het grootste deel van Noord-Brabant.

Alternatieven en verbeteringen van koelsysteem

- toepassen recirculatiekoeling (i.p.v. doorstroomkoeling) met koeltoren
- toepassen luchtkoeling (gesloten systeem)
- verbeteren procesbeheersing; afstemmen koelwaterverbruik op de koelbehoefte
- verhogen eindtemperatuur van het koelwater
- algemene verbeteringen koelproces binnen bedrijf

Met name de eerste twee alternatieven zullen een grote besparing van het grondwaterverbruik (tot 100% bij luchtkoeling) tot gevolg hebben. Dit zijn tevens de minst goedkope alternatieven. Het derde en vierde alternatief kunnen op goedkope en eenvoudige wijze tot grote besparingen leiden. Bij het laatste alternatief kan worden gedacht aan:

- toepassen trapsgewijze koeling

- gebruik koelmachines met hoger rendement
- verbeteren inrichting koelruimten
- algehele isolatie koelleidingen en -ruimten

Op deze laatste mogelijkheden zal niet verder worden ingegaan onder andere omdat ze sterk bedrijfsafhankelijk zijn en zowel kosten als besparingen moeilijk te kwantificeren zijn. Het blijft natuurlijk tot de aanbeveling strekken de koelinrichting van een bedrijf te optimaliseren.

Alternatieven lozingen

- hergebruik voor andere doeleinden dan koelen
- terugvoeren in de ondergrond (injectie)

Bij hergebruik van koelwater is te denken aan hergebruik als proceswater of als drinkwater.

Hergebruik als koelwater valt onder de alternatieven voor koelen.

Deze alternatieven kunnen leiden tot een volledige besparing van het grondwaterverbruik van koelwater.

Van de alternatieven en verbeteringen uit het bovenstaande overzicht zijn de volgende nader beschouwd:

- overschakeling van zoet grondwater op oppervlaktewater
- overschakeling van doorstroomkoeling op circulatiekoeling met koeltoren
- vervangen doorstroomkoeling door luchtkoeling (gesloten systeem)
- verbeteren koelprocesbeheersing, afstemmen koelwaterverbruik op koelbehoefte
- verhogen eindtemperatuur van het koelwater
- hergebruik voor andere doeleinden dan koeling
- injectie

De resultaten hiervan worden beschreven in de volgende paragrafen. Gekeken is naar de voor- en nadelen en de criteria voor toepasbaarheid van de verschillende alternatieven. Verder is bekeken in hoeverre het grondwaterverbruik kan worden gereduceerd met het betreffende alternatief en welke ingrepen noodzakelijk zijn om 100% besparing mogelijk te maken.

In de beschrijving van elk alternatief zijn de gevolgen voor de kwaliteit van het water en het milieu aangegeven. Tenslotte is een indicatie en vergelijking gegeven van de investerings- en jaarlijkse kosten van de alternatieven.

4.3. Overschakeling van zoet grondwater op oppervlaktewater

4.3.1. Toepassing

Vervanging van grondwaterkoeling door oppervlaktewaterkoeling lijkt in eerste instantie niet zo ingrijpend. In plaats van uit de bodem wordt water uit een rivier, kanaal of meer gepompt, over de koelcondensoren geleid en weer geloosd op het open water.

De belangrijkste criteria zijn:

- de beschikbaarheid van oppervlaktewater in de nabije omgeving van de koelinstallatie
- de waterkwaliteit (corrosie, scaling (afzettingen in het leidingsysteem), biologische groei)
- de mogelijkheid voor het open water de thermische belasting af te dragen zonder een te grote temperatuursstijging

Bij het toepassen van oppervlaktewater is vrijwel altijd een filtratie met microzeven nodig om zand en zwevend materiaal uit het water te verwijderen om te voorkomen dat leidingen en condensors dichtslibben.

In de meeste gevallen wordt daarnaast een warmtewisselaar toegepast. Dit heeft als voordeel dat het oppervlaktewater niet in contact komt met de proceskant van de koelinstallatie en als nadeel dat over de warmtewisselaar een rendementsverlies optreedt.

4.3.3. Wettelijke eisen

Bij de overweging tot het gebruik van oppervlaktewater moet rekening worden gehouden met de wettelijk gestelde eisen (WVO 1984) en de normen van Rijkswaterstaat en het betreffende waterschap. De gestelde voorwaarden zijn:

- aan het oppervlaktewater mag niet meer dan 0,1 m³/s worden onttrokken (RWS)
- binnen het koelsysteem mag het water niet warmer worden dan 40°C
- $\Delta t_{\max} = 7^\circ\text{C}$ in de zomer en 25°C in de winter
- de concentratie ijzer moet beneden de 5 mg/l blijven en de zuurstofconcentratie moet groter zijn dan 5 mg/l
- lozingstemperatuur van waterschappen (vaak 27°C)

4.3.4. Kwaliteitsaspecten

Met name in de voedings- en genotmiddelenindustrie zal, daar waar het grondwater voor de koeling in het bedrijfsproces is toegelaten vanwege de goede kwaliteit, overschakeling op oppervlaktewater niet zonder meer kunnen plaatsvinden vanwege de kwaliteitswaarborg voor de voedingsprodukten.

In milieuhygiënisch opzicht is, indien de thermische verontreiniging niet wordt meegeteld, het gebruik van oppervlaktewater gelijk aan dat van grondwater. Evenals bij grondwater moet bij lozing op oppervlaktewater vervuiling van het geloosde water worden voorkomen.

4.3.5. Temperatuursaspect

Bij de toepassing van oppervlaktewater moet rekening worden gehouden met het feit dat in ons land de gemiddelde oppervlaktewatertemperatuur in de zomer over de jaren circa 20°C is en dat de zomertemperatuur soms wel 25°C is.

Daarnaast moet nog het temperatuursverlies over de warmtewisselaar in acht worden genomen.

Om op economische wijze met tussenschakeling van een warmtewisselaar water van 12°C te verkrijgen is (oppervlakte)water nodig van circa 8°C. De Δt voor de gemiddelde warmtewisselaar is 4°C.

In bijlage 1 is de cumulatieve frequentieverdeling van de temperatuur van het water in de Rijn bij Lobith gegeven, met de spreiding over enkele jaren gemeten. Hieruit is af te lezen dat een temperatuur van 8°C of kouder circa 30% van het jaar voorkomt. Hieruit blijkt dat oppervlaktewater (zonder koelmachine) slechts een kleine besparing zal opleveren indien koelwater van 12°C een vereiste is. Zodra deze eis vervalt is een grotere besparing mogelijk, in bepaalde gevallen door menging van oppervlaktewater en grondwater.

4.3.6. Alternatieven

Bij de kostenindicatie zijn twee alternatieven berekend:

- I. Oppervlaktewater met warmtewisselaar.
Dit alternatief is slechts in dit gedeelte van het jaar toepasbaar waarin de oppervlaktewatertemperatuur circa 4°C lager is (verlies over wisselaar) dan de gewenste koeltemperatuur. Voor een maximum koelwatertemperatuur van 12°C is een oppervlaktewatertemperatuur van 8°C nodig, dit komt circa 30% van het jaar voor.
Bij de berekening van een volledig koelsysteem met dit alternatief is er vanuit gegaan dat voor de overige 70% grondwaterkoeling wordt toegepast zodat een besparing van 30% wordt verkregen.
- II. Oppervlaktewater met warmtewisselaar en koelmachine.
Dit alternatief biedt de mogelijkheid tot een volledige besparing op het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden. Bij watergekoelde koelmachines bestaat de keuze uit zuiger-, schroef-, centrifugaal- en adsorptiekoelers.
De adsorptiekoeler is slechts bruikbaar indien hete stoom bij het bedrijfsproces vrijkomt die niet voor een ander doel wordt gebruikt. Deze mogelijkheid doet zich zo weinig voor dat ze in het kader van deze studie niet verder is beschouwd. Schroefkoelmachines worden verder niet beschouwd vanwege de relatief hoge prijs van deze machines.

De keuze tussen zuiger- en centrifugaalkoelers hangt af van het te leveren koelvermogen. Uit het oogpunt van economisch rendement worden zuigerkoelmachines toegepast bij koelvermogens tot circa 1000 kW, centrifugaal koelmachines worden pas interessant bij koelvermogens boven de 750 kW.

4.4. Overschakeling van doorstroomkoeling op circulatiekoeling met koeltoren

4.4.1. Toepassing

Bij het koelen van water door middel van een koeltoren wordt het circulerende water boven in een toren versproeid en over een groot contactoppervlak verdeeld, terwijl van onder naar boven lucht door de toren wordt gezogen of geblazen.

In feite wordt gebruik gemaakt van lucht om de warmte af te voeren. Zeer grote koeltorens kunnen op natuurlijke trek werken, zonder ventilator, zoals bijvoorbeeld bij DSM in Geleen en de elektrische centrale in Hengelo.

In zijn eenvoudigste vorm kan men zich indenken dat de intredende lucht het uittredende water ontmoet en daarbij water in dampvorm opneemt. De verdampingswarmte voor het water wordt onttrokken aan de lucht die afkoelt. Vervolgens neemt de afgekoelde lucht onder stijging van temperatuur warmte uit het water op, zowel langs convectieve weg als weer door verdamping.

In werkelijkheid vinden de geschetste processen tegelijkertijd plaats. Kern van de zaak is, dat in de praktijk het water kan worden afgekoeld tot circa 5°C boven de natte bol temperatuur van de lucht.

De nattebol temperatuur kan worden verkregen door de lucht, zonder enige toevoeging of onttrekking van warmte, te verzadigen met waterdamp.

Een koeltoren wordt meestal in combinatie met een warmtewisselaar gebruikt vanwege de in het algemeen slechte kwaliteit van koeltorenwater. De slechte kwaliteit is de te verklaren door het feit dat in de koeltoren zuiver water verdampt en alle verontreinigingen die uit de lucht worden gewassen in het vloeibare water achterblijven.

De mate waarin het water tengevolge van het verdampingsverlies indikt wordt uitgedrukt in de indikkingsfactor. Deze factor kan worden bepaald aan de hand van het chloridegehalte. Door middel van spuien moet de indikkingsfactor op een bepaalde waarde worden gehouden (doorgaans 2 tot 5).

Om bacteriologische groei tegen te gaan wordt meestal een desinfectiemiddel toegepast.

Om neerslag en aantasting van de condensoren en leidingen te voorkomen wordt een waterbehandeling toegepast. Meestal gebeurt dit door toevoeging van chemicaliën aan het suppletiewater.

Als suppletiewater wordt in het algemeen leidingwater toegepast.

De hoeveelheid suppletiewater is gelijk aan de hoeveelheid spuiwater plus de hoeveelheid verdampt water. Bij een indikkingsgraad van 2 en een temperatuursverschil van 5°C is de verhouding suppletiewater/recirculerend koelwater 2 à 3%. De hoeveelheid recirculerend koelwater is vergelijkbaar met de hoeveelheid grondwater in een doorstroomkoelsysteem.

In feite is koeling met een koeltoren overal toepasbaar, doorgaans zijn de kleinere torens te plaatsen op een bedrijfsgebouw. Behalve de besparingen op het gebied van wateronttrekking en waterlozing biedt het systeem de mogelijkheid voor een goede conditionering en beheersing van het koelwater.

4.4.2. Kwaliteitsaspect

Evenals bij het gebruik van oppervlaktewater bestaat bij een circulatiesysteem het risico van aantasting en verstopping van de leidingen en condensors (vooral t.g.v. het indikken van het water). Dit risico is hier echter aanzienlijk kleiner daar de waterkwaliteit te controleren is.

Eventueel kunnen warmtewisselaars worden toegepast.

Het al dan niet toepassen van deelsystemen met behulp van warmtewisselaars zal nauwkeurig afgewogen dienen te worden daar het rendement aanzienlijk wordt verlaagd.

Vanuit het oogpunt van milieuhygiëne moet rekening worden gehouden met enkele mogelijke neveneffecten zoals:

- de slechte kwaliteit van het spuiwater hetgeen lozingskosten met zich mee kan brengen
- de nevelvorming en ijselvorming ten gevolge van het verdampingsproces
- het lawaai van de luchtstroming (ventilatoren) dat zeer hinderlijk kan zijn (hinderwetvergunning)

4.4.3. Temperatuuraspect

Zoals eerder aangestipt wordt het koeleffect van de koeltoren bepaald door de nattebol temperatuur.

In bijlage 1 is de cumulatieve frequentieverdeling van de nattebol temperatuur over verschillende jaren voor de Bilt gegeven. Koeltorens worden meestal gedimensioneerd op een nattebol temperatuur van 18 tot 20°C. Evenals bij het gebruik van oppervlaktewater moet hier rekening worden gehouden met hoge temperaturen in de zomermaanden.

Zoals in paragraaf 4.3.1. reeds is vermeld is de realiseerbare koelwatertemperatuur circa 5°C hoger dan de natteboltemperatuur.

Bij het gebruik van een warmtewisselaar dient met een extra temperatuursverlies rekening worden gehouden. Indien de koelwatertemperatuur van 12°C een vereiste is, blijkt uit de grafiek in bijlage 1 dat een besparing over een jaar van het grondwater mogelijk is van 50% (8°C) en 25% (4°C) met een koeltoren respectievelijk zonder en met warmtewisselaar.

Om een volledige besparing te bewerkstelligen is voor de rest van het jaar het gebruik van een koelmachine nodig. Indien de koelwatertemperatuur van 12°C niet strikt noodzakelijk is, kan zonder of gedurende kortere tijd met koelmachines worden gekoeld.

De mogelijkheden om het gebruik en de aanschaf van koelmachines te beperken zullen nauwkeurig dienen te worden beschouwd daar deze voor een groot gedeelte de energie- en investeringskosten van een koeltoren-koelmachine-combinatie bepalen.

4.4.4. Alternatieven

Bij de kostenindicatie zijn drie alternatieven berekend.

III. Koeltoren met warmtewisselaar.

Dit alternatief geeft slechts een kleine besparing bij een maximum koelwatertemperatuurseis van 12°C. Bij de berekening van een volledig koelsysteem is uitgegaan van 25% besparing hetgeen impliceert dat voor 75% van de koeling grondwater wordt gebruikt.

Vervalt de 12°C-eis dan is de koeltorenwarmtewisselaar een zeer goede en goedkope oplossing om tot een besparing van grondwater te komen.

IV. Koeltoren zonder warmtewisselaar.

Dit alternatief is van toepassing indien de kwaliteit van het koelwater niet van belang is. Het grote voordeel is de grotere besparing van grondwater doordat het alternatief zonder warmtewisselaar een groter gedeelte van het jaar toepasbaar is. Uit de kostenberekening blijkt dat de alternatieven III en IV elkaar in prijs niet veel ontlopen mede omdat in beide gevallen een grondwateronttrekkingsinstallatie noodzakelijk blijft om koeling tijdens de warmere maanden van het jaar te waarborgen.

V. Koeltoren met warmtewisselaar en koelmachine.

Met dit alternatief is een volledige besparing van grondwater te verkrijgen.

In verhouding met alternatief II(A) is dit alternatief goedkoper qua investering en afschrijving doch duurder wat betreft de jaarlijkse variabele kosten (leidingwater en chemicaliën). Dit maakt dat alternatieven II en V elkaar in prijs niet veel ontlopen. Alternatief II wordt echter aanzienlijk duurder indien een lange aanvoerleiding nodig is voor de aan- en afvoer van het oppervlaktewater.

4.5. Vervangen doorstroomkoeling door luchtkoeling (gesloten systeem)

4.5.1. Toepassing

Bij de toepassing van luchtkoeling wordt gebruik gemaakt van koelmachines met freon.

Het principe is hetzelfde als dat van een koelkast waarbij doormiddel van compressie en depressie dankzij het lage kookpunt van freon lage koeltemperaturen bereikt kunnen worden.

In het verband met deze studie is gekeken naar luchtgekoelde koelmachines die boven op een gebouw kunnen worden geplaatst en volledig automatisch werken. Deze machines kunnen zonder veel technische voorzieningen in het koelwatersysteem worden geplaatst en kunnen, indien nodig, het water koelen tot circa 4°C (bij lagere temperaturen is het economischer een tweekrapskoeling toe te passen). De koelcapaciteit hangt af van de grootte van het oppervlak van de condensoren.

Het grote nadeel van het gebruik van koelmachines is het grote stroomverbruik. De voordelen zijn het bedieningsgemak en het beperkte onderhoud, de bedrijfszekerheid en de waterkwaliteit.

Luchtgekoelde machines zijn zuigerkoelmachines en zijn qua investering gemiddeld genomen duurder dan watergekoelde machines (centrifugaal- en zuigermachines).

4.5.2. Kwaliteitsaspect

Het water in een gesloten circulatiesysteem wordt zgn. dood water. Dit water bevat een grote hoeveelheid metalen en andere verontreinigingen. Voor systemen waar de kwaliteit van het koelwater zeer belangrijk is (met name in de voedingsindustrie) en waar dikwijls gezuiverd leiding- of grondwater wordt toegepast is een goede controle van het leidingsysteem noodzakelijk.

Een nadeel van luchtkoeling is de geluidshinder voor de omgeving die kan ontstaan indien grote hoeveelheden lucht worden verplaatst.

Het voordeel tegenover het gebruik van koeltorens is de afwezigheid van nevelvorming en van lozing en dosering van chemicaliën.

4.5.3. Temperatuursaspect

Met koelmachines kan in principe elke temperatuur worden verkregen zij het vaak tegen zeer hoge kosten.

De verhouding koelvermogen/elektrisch vermogen varieert, afhankelijk van de vereiste koeltemperatuur, tussen de 2 en 8. Indien het oppervlak van de condensorplaten groot genoeg is kan met luchtkoeling een zeer groot koelvermogen worden bereikt.

4.5.4. Alternatieven

VI. Luchtkoeling met koelmachine.

Een luchtkoeler kan een grondwateronttrekking voor koeling voor 100% vervangen. Ondanks het hoge energieverbruik levert dit alternatief een relatief goedkope mogelijkheid tot een volledige vervanging van grondwater voor koeldoel-einden.

4.6. Verbeteren koelprocesbeheersing, afstemmen koelwaterverbruik op koelbehoefte

Het koelwaterverbruik van een koelinstallatie is te bepalen met de formule

$$H = Q * \Delta t * 1,163$$

waarin:

Q = koel(grond)waterdebiet [m³/h]
H = koelbehoefte [kW]
 Δt = temperatuursverschil van water [°C]

Hieruit volgt dat het koelwaterdebiet te verkleinen is door de koelbehoefte te verkleinen of door het temperatuursverschil te vergroten. Dit laatste wordt in de volgende paragraaf behandeld.

Het verkleinen van de koelbehoefte betekent in de praktijk het afstemmen van de (over-)capaciteit op de werkelijke koelbehoefte. De koelbehoefte is bij het merendeel van de bedrijven niet constant doch is onderhevig aan variaties in de loop van de tijd. De oorzaken van deze variaties zijn te vinden in het klimaat en in het bedrijfsproces, b.v.:

- verschillende fases in het productieproces (b.v. invriezen) die slechts op bepaalde uren plaatsvinden
- airconditioning die overdag nodig is en 's nachts overbodig
- opslag van een variërende hoeveelheid produkten die gekoeld moet worden bij overproductie
- verandering van de productiecapaciteit in de loop van een jaar of een aantal jaren
- verandering van (normen voor) de maximaal vereiste koeltemperatuur voor een proces of produkt
- verandering van de temperatuur binnen of buiten het bedrijf
- isolatie, andere verbeterde installaties of indelingen op en in bedrijfsterrein of bedrijfsruimten

In het algemeen kan gesteld worden dat bij de meeste koelinstallaties een grotere koelcapaciteit aanwezig is dan noodzakelijk. Dit is te verklaren door het feit dat een koelvoorziening gedimensioneerd wordt op de maximale koelbehoefte met dikwijls een behoorlijke veiligheidsmarge.

Zo kan het voorkomen dat een bedrijf dat koelt met grondwater na verloop van tijd (b.v. door een verbeterde koelmachine) nog slechts een klein gedeelte nodig heeft van de beschikbare koelcapaciteit.

Doordat het bereik van pompdebiet van onderwaterpompen beperkt is zal het teveel aan opgepompt water wat kan ontstaan in het algemeen zonder doel worden geloosd. Een andere (vaker voorkomende) verspilling doet zich voor indien verzaakt wordt (handgeschakelde) pompen uit te zetten als de koeling niet meer nodig is.

Dit soort verschijnselen zijn vaak op eenvoudige wijze te verhelpen door nieuwe pompen, een automatische klepregeling op de aanvoerleiding of voorzieningen die de pompen automatisch aan- of uitschakelen afhankelijk van de koelbehoefte van het moment. De mogelijkheden hiervoor en de hiermee samenhangende besparingen zullen per bedrijf moeten worden bekeken. Het is dan ook niet mogelijk een kostenindicatie te geven van de benodigde voorzieningen in verhouding tot de te bereiken besparingen.

Gesteld kan worden dat de beste resultaten waarschijnlijk bij wat oudere installaties zullen worden geboekt en dat de kosten aanzienlijk lager zullen zijn dan de kosten voor alternatieve koelinstallaties. Vaak zal de elektriciteitsrekening zelfs lager worden dan voordien.

4.7. Verhogen eindtemperatuur van het koelwater

Door het verhogen van de eindtemperatuur van het koelwater kan zeer eenvoudig een aanzienlijke besparing worden verkregen. Een verandering van Δt (temperatuursverschil) van 5°C naar 10°C levert een besparing op van ca. 50%. De mogelijkheden van deze maatregel zijn echter zeer beperkt omdat voor het verkrijgen van nog grotere besparingen de vereiste temperatuursverhogingen steeds groter worden en dat een volledige besparing onmogelijk is. Daarnaast zijn de meeste koelinstallaties en de koelprocessen ingericht en afgesteld op de optimale temperatuursverandering van het koelwater. De winst die wordt geboekt met een verhoging van het temperatuursverschil van het koelwater zou voor een groot gedeelte teniet worden gedaan als gevolg van het rendementsverlies van de installatie.

Dit alternatief is niet toepasbaar voor productieprocessen die afgesteld zijn op een specifieke temperatuur (het gemiddelde van in- en uitgaande watertemperatuur) en waarbij verhoging van deze temperatuur tot een rendementsverlies van de productie of kwaliteitsverlies van het produkt zal leiden.

Het alternatief is wel interessant voor industriële koelprocessen waar een snelle afkoeling van hete materialen wordt bewerkstelligd door het onderdompelen of overgieten met koelwater. Hierbij is niet zozeer de koeltemperatuur als wel de afkoelsnelheid van belang.

De toepassingsmogelijkheden en eventuele besparingen zullen van proces tot proces bekeken moeten worden.

De kosten van dit alternatief in verhouding tot de benodigde investeringen zullen in het algemeen laag zijn.

Dit geldt vanzelfsprekend niet indien voor een verhoging van het temperatuursverschil nieuwe machines en leidingen moeten worden geïnstalleerd.

De algemene indruk van dit alternatief is dat de besparingen marginaal zullen zijn.

4.8. Hergebruik voor andere doeleinden dan koeling

4.8.1. Toepassing

Voor industrieën die op basis van de vereiste koelwatertemperaturen min of meer op het gebruik van koelwater zijn aangewezen zou het aantrekkelijk kunnen zijn het koelwater na gebruik te hergebruiken.

Door hergebruik van het koelwater wordt de hoeveelheid onttrokken grondwater weliswaar niet verkleind doch kan het verbruik voor koelwaterdoeleinden sterk worden gereduceerd. Daarnaast kan door hergebruik van het koelwater, bijvoorbeeld als spoel- of transportwater, als proceswater of ketelvoedingwater, het rendement van de, voor de watertoebereiding noodzakelijke, investeringen belangrijk worden vergroot.

4.8.2. Kwaliteitsaspect

De mogelijkheden voor hergebruik worden bepaald door de voor het hergebruik gestelde eisen aan de watersamenstelling alsmede door de samenstelling van de te koelen media.

Tijdens het koelproces kan ten gevolge van lekkages, fouten of storingen het koelwater verontreinigd worden door b.v. bacteriën uit voedingsstoffen, koelvloeistof, olie etc. Voor hergebruik waarbij de kwaliteit van het water voorop staat, (drink- en proceswater) is een zuiveringsinstallatie noodzakelijk.

Daarnaast is een zorgvuldige continue, controle op mogelijke chemische en bacteriologische verontreinigingen vereist. Met name deze kwaliteitsbewaking is een zeer kostbare aangelegenheid waarbij een waarborg voor 100% veiligheid praktisch niet haalbaar is.

De kwaliteitsbewaking zal onder toezicht moeten staan van de hergebruiker van het water (b.v. een drinkwaterleidingbedrijf).

De verwarming van het water levert in het algemeen geen bezwaren voor hergebruik van het water.

De mogelijkheden van besparing en de hiervoor benodigde onkosten hangen sterk af van het produktie- en koelproces van een bedrijf zodat het niet mogelijk is een algemene kostenindicatie te geven van dit alternatief.

4.9. Injectie

4.9.1. Toepassing

Bij dit systeem wordt het opgepompte water na doorloping van het koelproces via een negatieve bron weer in de grond teruggepompt zodat een volledige besparing van het grondwater kan worden verkregen.

Het is belangrijk te voorkomen dat het geïnjekteerde, relatief warme, water na verloop van tijd weer wordt opgepompt zodat het systeem zijn werking verliest.

Dit alternatief is in principe alleen toepasbaar als het koelwater tijdens het doorlopen van het koelcircuit niet met lucht in aanraking komt.

Bij contact met lucht zullen in het water metaaloxides ontstaan die maken dat het filter van de retourput dichtslaat.

Hoewel enkel goed werkende toepassingen van dit systeem bestaan dient te worden opgemerkt dat uit het verleden ook een aantal mislukte pogingen bekend is.

Na een bepaalde tijd (soms al na enkele dagen) dient het retourfilter teruggespoeld te worden om snelle verstoppingen te voorkomen. Indien een retourfilter na verloop van tijd verstopt is moet het chemisch worden gereinigd. Na zo'n 15 jaar moet een retourput worden afgeschreven.

4.9.2. Kwaliteitsaspecten

Aangezien ook hier grondwater wordt toegepast verandert voor het produktieproces niets voor de kwaliteitswaarborg. Voor het milieu kan diepte infiltratie bezwaren met zich meebrengen. Afgezien van het soort koelsysteem of koelmedium wordt met het aanleggen van de filtratieputten een mogelijke bron van vervuiling van het grondwater gecreëerd. In het geval van een calamiteit is het uiterst kostbaar om bodem en water weer te reinigen en een volledige reiniging is praktisch niet te verwezenlijken.

Evenals bij hergebruik is bij het toepassen van diepteinfiltratie een stringente, continue bewaking van het water geboden.

4.9.3. Alternatieven

VII Onttrekking en injectie van grondwater.

Voor dit alternatief zijn de kosten berekend van een volledig systeem waarmee een besparing van 100% kan worden gerealiseerd. Hoewel het aanleggen van een injectie pompput een grote investering vraagt zijn de jaarlijkse kosten relatief laag.

In dit alternatief is geen rekening gehouden met de kosten die noodzakelijk zijn voor de kwaliteitsbewaking van het water. Deze zijn sterk afhankelijk van het productie proces van het bedrijf.

5. KOSTENINDICATIE

5.1. Inleiding

Een algemene bepaling van de investerings- en exploitatiekosten van de verschillende alternatieven is een complexe opgave waarbij de nodige voorzichtigheid in acht moet worden genomen. Dit is te verklaren door enerzijds het veelzijdige karakter en de vele toepassingsmogelijkheden van koelsystemen en anderzijds de grote verscheidenheid van bedrijven, bedrijfsinrichtingen en productieprocessen waar koeling wordt toegepast. De keuze voor een bepaald koelsysteem vindt meestal plaats op grond van de kostenoptimalisatie.

Hierbij moet rekening worden gehouden met de randvoorwaarden, zoals de koelbehoefte en de vereiste koeltemperatuur, en de specifieke mogelijkheden die een bepaalde bedrijfsinfrastructuur of bedrijfsproces biedt.

Specifieke factoren, zowel positief als negatief, zijn niet altijd te kwantificeren zoals een bepaald beleid of een bepaald calamiteitenrisico.

Deze factoren zullen echter in veel gevallen de keuze voor een bepaald koelsysteem zeer verkleinen of zelfs vastleggen, ondanks de eventueel hoge kosten die eraan verbonden zijn.

Ter vergelijking met de bestaande situatie zijn de kosten berekend van een koelsysteem gebaseerd op onttrekking en lozen van grondwater, het nul-alternatief.

5.2. Koeldebieten, -temperatuur en -vermogen

Koelinstallatie worden gedimensioneerd op grond van de te leveren koelcapaciteit.

Bij de dimensionering van de verschillende onderdelen van een installatie zijn dikwijls of de thermische of de hydraulische ontwerpcriteria van belang. Zo is het type koelmachine in het algemeen afhankelijk van de gewenste temperaturen en temperatuurverschillen terwijl de grootte van koeltorens en bronnen afhangt van het debiet.

Om tot een vergelijk van de verschillende alternatieven te kunnen komen zijn alle kosten uitgedrukt per eenheid van debiet of per eenheid van volume water.

De reden hiervoor is dat het in het kader van deze studie praktisch is om vanuit het oogpunt van een grondwateronttrekking direct een indicatie te verkrijgen van de mogelijkheden en kosten van de alternatieven. Het zal duidelijk zijn dat het voor bepaalde kostenposten slechts door middel van een grove benadering mogelijk is de prijs in deze eenheden uit te drukken.

5.3. Uitgangspunten bij kostenberekening

In het kader van deze studie is het niet wenselijk uitzonderlijke en bedrijfsspecifieke mogelijkheden in overweging te nemen bij het opstellen van een kostenoverzicht. Vandaar dat voor de kostenberekeningen een aantal aannames is gedaan. De kosten van de verschillende alternatieven zijn begroot op basis van de volgende uitgangspunten.

- De investeringen voor installaties omvatten geheel nieuw te plaatsen civiele en mechanisch elektrische werken, gefundeerd op staal. Eventuele grondaankopen of sloopwerkzaamheden zijn niet in de berekening opgenomen.
- Er is geen rekening gehouden met voor- of nadelige effecten op de eventuele kosten van de lozing van water op het riool of op oppervlaktewater.
- Bij de dimensionering van de installaties en de bepaling van de besparingen is uitgegaan van de gemiddelde nattebol en oppervlaktewatertemperaturen zoals weergegeven in bijlage 1 en een gemiddelde grondwatertemperatuur van 12°C.
- Voor de berekening van koelwaterdebieten uit koelvermogen of omgekeerd is in het algemeen uitgegaan van de gangbare waarde van het temperatuursverschil van 5°C.
- Prijspeil 1988, elektriciteit: 20 ct/kWh, leidingwater: f 1,--/m³.
- Rente 7%, mechanisch elektrische werken worden afgeschreven over 10 jaar, civiele werken over 20 jaar.
- Onderhoudskosten per jaar: mechanisch elektrische werken 2% van investering, civiele werken ½% van investering.
- Het aantal bedrijfsuren in een jaar is 8000 uren, gesteld is dat het hele jaar gekoeld moet worden met een constant koelvermogen per uur.

Met de inachtnaam van deze uitgangspunten geven de gevonden prijzen een indicatie van de investerings- en jaarlijkse kosten voor debieten in de range van circa 50-350 m³/h.

Voor hogere of lagere debieten zullen grote afwijkingen ontstaan t.o.v. de werkelijke prijzen.

5.4. Resultaten

In bijlage 2 is de berekening te vinden van elk alternatief afzonderlijk. De resultaten zijn te vinden in tabel 5.1. In deze tabel zijn verder globaal de mogelijke besparingen weergegeven van elk alternatief, uitgaande van de maximaal toelaatbare temperatuur van het koelwater die het alternatief moet leveren.

Tabel 5.1. - Overzicht kosten en besparingen** van de alternatieven

alternatief	investering	jaarlijk- se vaste kosten	jaarlijk- se vari- abele kosten	besparing maximum eis	besparing maximum eis	besparing maximum eis	besparing maximum eis
	$[f/(m^3/h)]$	$[f/(m^3/h)]$	$[f/m^3]$	12°C	15°C	18°C	21°C 24°C
nul optie grondwater	6.500,--	500,--	0,01	0%	0%	0%	0%
I*	oppervlaktewater met A	5.000,--	650,--	0,02	30%	45%	65% 80% 94%
	warmtewisselaar B	7.000,--	850,--	0,03	30%	45%	65% 80% 94%
II*	oppervlaktewater met A	6.500,--	900,--	0,33	100%	100%	100%
	warmtewisselaar en koelmachine B	8.500,--	1.050,--	0,34	100%	100%	100%
III	koeltoren met warmtewisselaar	2.500,--	300,--	0,07	25%	40%	60% 75% 93%
IV	koeltoren zonder warmtewisselaar	2.000,--	200,--	0,06	50%	65%	85% 95% 100%
V	koeltoren met warmtewisselaar en koelmachine	4.000,--	550,--	0,38	100%	100%	100%
VI	luchtkoeling (machine)	3.000,--	450,--	0,31	100%	100%	100%
VII	onttrekken en injecteren van grondwater ***	12.000,--	1.100,--	0,02	100%	100%	100%

* A = exclusief ruwwaterleiding

B = inclusief dubbele ruwwaterleiding van 500 m

** t.o.v. 100% gebruik van grondwater in doorstroomkoeling

*** voor investering onttrekkingsput is f 5.500,-/(m³/h) gerekend

Om water te verkrijgen dat qua temperatuur vergelijkbaar is met grondwater geldt een maximum eis van 12°C. Voor de alternatieven I, III en IV is in dat geval een gedeelte van het jaar grondwater noodzakelijk. De kosten hiervan moeten worden opgeteld bij de kosten van het alternatief.

De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 5.2. Hiermee is een vergelijking mogelijk van systemen die een volledig jaar koelwater van 12°C kunnen leveren. In de laatste kolom is aangegeven hoeveel keer een alternatief duurder is dan de nul-optie.

Voorbeeldberekening

Koeltoren met warmtewisselaar : 25% van het jaar.

Doorstroomkoeling met grondwater: 75% van het jaar.

Jaarlijkse vaste kosten zijn $300 + 500 = f\ 800,-/(m^3/h)$.

Voor een bedrijfstijd van 8000 uren is dat $f\ 0,10/m^3$.

Jaarlijkse variabele kosten zijn

$$25\% * 0,07 + 75\% * 0,01 = f\ 0,03/m^3.$$

Totaal $0,10 + 0,03 = f\ 0,13/m^3$.

Geldt een maximaal toelaatbare koeltemperatuur van 24°C dan worden de kostenindicaties als weergegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.2. - Vergelijking van systemen met een heel jaar koelwater van 12°C

alternatief	besparing **	jaarlijk- se vaste kosten [f/(m ³ /h)]	vaste kosten [f/m ³]	variabele kosten [f/m ³]	totale kosten [f/m ³]	prijs t.o.v. nul-optie
nul- optie	0%	500,--	0,06	0,01	0,07	1x
I* oppervlaktewater met warmtewisselaar	A 30% B 30%	1.150,-- 1.350,--	0,14 0,17	0,01 0,02	0,15 0,19	2x 3x
II* oppervlaktewater met warmtewisselaar en koelmachine	A 100% B 100%	900,-- 1.050,--	0,11 0,13	0,33 0,34	0,44 0,47	6x 7x
III koeltoeren met warmtewisselaar	25%	800,--	0,10	0,03	0,13	2x
IV koeltoeren zonder warmtewisselaar	50%	700,--	0,09	0,04	0,13	2x
V koeltoeren met warmtewisselaar en koelmachine	100%	550,--	0,07	0,38	0,45	6,5x
VI luchtkoeling (machine)	100%	450,--	0,06	0,31	0,37	5x
VII onttrekken en injecteren van grondwater	100%	1.100,--	0,14	0,02	0,16	2x

* A = exclusief ruwwaterleiding

B = inclusief dubbele ruwwaterleiding van 500 m

** t.o.v. 100% gebruik van grondwater in doorstroomkoeling

Tabel 5.3. - Vergelijking van systemen met een heel jaar koelwater van 24°C

alternatief	besparing **	jaarlijk- se vaste kosten [f/(m³/h)]	vaste kosten [f/m³]	variabele kosten [f/m³]	totale kosten [f/m³]	prijs t.o.v. nul-optie
nul- optie						
doorstroomkoeling met grondwater	0%	500,--	0,06	0,01	0,07	1x
I* oppervlaktewater met warmtewisselaar	A 94% B 94%	1.150,-- 1.350,--	0,14 0,17	0,02 0,03	0,16 0,20	2x 3x
II* oppervlaktewater met warmtewisselaar en koelmachine	A 100% B 100%	900,-- 1.050,--	0,11 0,13	0,33 0,34	0,44 0,47	6x 7x
III koeltoeren met warmtewisselaar	93%	800,--	0,10	0,07	0,17	3x
IV koeltoeren zonder warmtewisselaar	100%	200,--	0,03	0,06	0,09	1x
V koeltoeren met warmtewisselaar en koelmachine	100%	550,--	0,07	0,38	0,45	6,5x
VI luchtkoeling (machine)	100%	450,--	0,06	0,31	0,37	5x
VII onttrekken en injecteren van grondwater	100%	1.100,--	0,14	0,02	0,16	2x

* A = exclusief ruwwaterleiding
 B = inclusief dubbele ruwwaterleiding van 500 m
 ** t.o.v. 100% gebruik van grondwater in doorstroomkoeling

6. ANALYSE GRONDWATERVERBRUIK T.B.V. KOELDOELEINDEN

6.1. Trend en verleden

In de tabellen 6.1. t/m 6.3. staan enkele cijfers met betrekking tot de grondwaterwinning en het -verbruik in Nederland en Noord-Brabant van 1972 t/m 1986 (bron CBS).

Tabel 6.1. - Totale grondwaterwinning in Noord-Brabant en Nederland [10^6 m^3]

	1972	1976	1981	1986
Noord-Brabant	253	273	230	243
Nederland	1244	1297	1154	1266

Tabel 6.2. - Grondwaterwinning industrie in Noord-Brabant en Nederland [10^6 m^3]

	1972	1976	1981	1986
Noord-Brabant	107	92	58	64
Nederland	515	433	309	318

Tabel 6.3. - Grondwaterverbruik t.b.v. koeldoeleinden in industrie Noord-Brabant en Nederland [10^6 m^3]

	1972	1976	1981	1986
Noord-Brabant	59	50	29	33
Nederland	317	252	179	185

Uit tabel 6.1. blijkt dat zowel de grondwaterwinning in Noord-Brabant en in geheel Nederland vrij constant is. Uit tabel 6.2. en 6.3. blijkt desalniettemin dat het grondwaterverbruik van de industrie, met inbegrip van het gedeelte voor koeldoeleinden, aanzienlijk is gedaald. Daarnaast lijkt deze daling zich reeds min of meer te hebben gestabiliseerd.

Hieruit valt af te leiden dat de meeste bedrijven de koeling met grondwater in de afgelopen 15 jaar aanzienlijk hebben teruggeschroefd door over te gaan op andere koeltechnieken of door over te gaan op een andere bedrijfsvoering of -proces.

6.2. Huidige situatie in Noord-Brabant

In 1987 is door de industrie in Noord-Brabant $32 \times 10^6 \text{ m}^3$ grondwater voor koeling verbruikt.

Dit betekent een geringe afname t.o.v. 1986 met $0,8 \times 10^6 \text{ m}^3$.

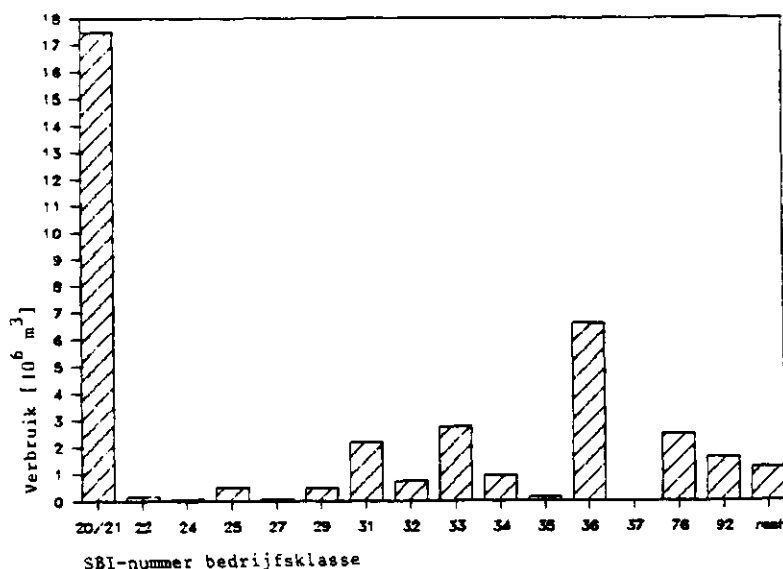
Bij deze cijfers zijn echter niet de bedrijven betrokken met een SBI-code groter dan 39 (gevolg van de SBI-indeling, zie hoofdstuk 2). In 1987 hebben deze bedrijven circa $5,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ grondwater voor koeling onttrokken. Het betreft hier met name opslag- en veembedrijven en de TU-Eindhoven. Vanzelfsprekend dienen deze bedrijven wel in deze studie te worden beschouwd.

In tabel 6.4. het verbruik over 1987 uitgesplitst per bedrijfsklasse.

Tabel 6.4. - Grondwaterverbruik t.b.v. koeldoeleinden in 1987 in Noord-Brabant per bedrijfsklasse
(zie ook fig. 6.1.)

SBI-code	bedrijfsklasse (aantal bedrijven)	verbruik [10^3 m^3]
20/21	voedings- en genotmiddelen en industrie (61)	17481,5
22	textielindustrie (5)	165,9
24	lederindustrie (3)	78,9
25	hout- en meubelindustrie (1)	506,1
27	grafische industrie (2)	56,6
29	aardolie en chemische industrie (5)	484,4
31	rubber en kunststofindustrie (9)	2179,2
32	bouwmaterialen (4)	714,4
33	basismetaleindustrie (5)	2761,4
34	metaalproductie industrie (9)	938,2
35	machine industrie (3)	136,4
36	elektrotechnische industrie (5)	6604,9
37	transport industrie (1)	10,9
76	opslag en veembedrijven (7)	2487,6
92	onderwijs (1)	1640,5
	<u>overig (16)</u>	<u>1232,4</u>
	totaal onttrekking 1987 (137)	37479,3
	industrie (SBI 20 t/m 39)	32118,8
	overig (SBI > 39)	5360,5

In figuur 6.1. is deze tabel grafische weergegeven:

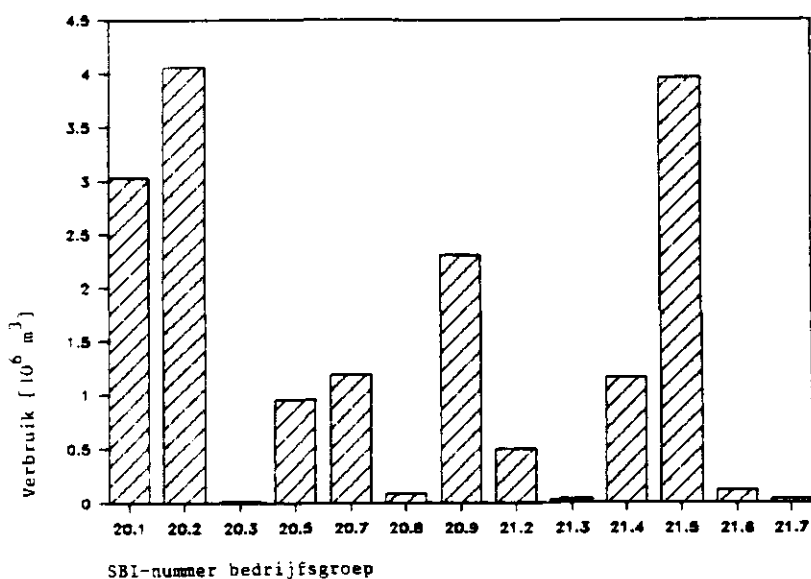


Figuur 6.1. - Grondwaterverbruik t.b.v. koeldoeleinden in 1987 in Noord-Brabant per bedrijfsklasse (zie ook tabel 6.4.)

Uit bovenstaande tabel en figuur blijkt dat het overgrote deel van het grondwater voor koeling wordt verbruikt in de voedings- en genotmiddelen industrie. Deze bedrijfsklasse is verder uitgewerkt in tabel 6.5. en figuur 6.2.

Tabel 6.5. - Grondwaterverbruik voor koeldoeleinden in 1987 voor de voedings- en genotmiddelen industrie per bedrijfs-groep (zie ook figuur 6.2.)

SBI-code	bedrijfsgroep (aantal bedrijven)	verbruik [10 ³ m ³]
20.1	slachterijen en vleeswarenindustrie (13)	3031,7
20.2	zuivel- en melkproduktenindustrie (13)	4057,4
20.3	visbewerkingsinrichtingen (1)	14,3
20.5	suikerindustrie (3)	960,4
20.7	groente en fruitverwerkende industrie (10)	1195,5
20.8	brood-, beschuit-, koek- en biscuitfabrie- ken (2)	87,8
20.9	cacao-, chocolade en suikerwerkindustrie (3)	2302,8
21.2	veevoederindustrie (1)	506,0
21.3	overige voedingsmiddelenindustrie (3)	36,9
21.4	alcoholfabrieken en distilleerderijen (2)	1163,1
21.5	bierbrouwerijen en mouterijen (7)	3969,4
21.6	frisdrankenindustrie (1)	122,2
21.7	tabakverwerkende industrie (2)	34,0
	totaal 61 bedrijven	17481,5



Figuur 6.2. - Grondwaterverbruik voor koeldoeleinde in 1987 voor de voedings- en genotmiddelenindustrie per bedrijfsgroep (zie ook tabel 5.4.)

Uit de cijfers zijn de volgende conclusies te trekken:

- het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden in de industrie is in de periode 1972-1986 met circa 50% afgenomen
- het grootste gedeelte van het grondwater voor koeldoeleinden wordt verbruikt in de voedings- en genotmiddelenindustrie en daarbinnen door de zuivel- en melkproduktindustrie en de bierbrouwerijen (elk 25%)
- circa 80% van de onttrekkingen is terug te voeren op circa 25% van de bedrijven

6.3. Bepaling van de koelbehoeften

Met de hierboven gepresenteerde cijfers van de grondwateronttrekkingen voor koeldoeleinden is niet meer dan een globale indruk te verkrijgen van de totale koelbehoefte van de bedrijven. Wordt aangenomen dat al het onttrokken grondwater 5°C in temperatuur wordt verhoogd dan is de totale koelbehoefte circa 220 MWatt. Verder mag worden verondersteld dat de verdeling van de koelbehoefte over de verschillende bedrijfstakken in grote lijnen evenredig is met de verdeling van het grondwaterverbruik.

Het is echter niet mogelijk een nauwkeurige indicatie van de koelbehoeften van de afzonderlijke bedrijven te geven zonder nadere kennis van zaken. Hierbij moet worden gedacht aan:

- de nauwkeurigheid van de door het bedrijf verstrekte gegevens:
 - . wordt enkel koelwater gemeten
 - . hoe en hoe vaak wordt gemeten
- het soort koelsysteem:
 - . welk rendement heeft het systeem (wat zijn de verliezen in water en temperatuur)
 - . wordt het koelwater deels als proceswater gebruikt
 - . worden koeltorens toegepast met grondwatersuppletie
 - . is er sprake van meerdere afzonderlijke koelsystemen
 - . wordt het water na verhitting gebruikt als verwarmingswater
- de bedrijfsvoering van het koelsysteem
 - . hoe is de verdeling van de onttrekking van grondwater gedurende een dag, gedurende een jaar
 - . in hoeverre is de koelbehoefte afhankelijk van het productieproces en de weersgesteldheid (temperaturen)
- de optredende temperaturen
 - . wat zijn de temperaturen van het grondwater bij onttrekking en lozing
 - . wat zijn de maximum vereiste koelwatertemperaturen

Pas als deze gegevens bekend zijn is de exacte koelbehoefte te bepalen en ook dan kan pas gericht onderzoek worden gedaan naar alternatieven voor de grondwateronttrekkingen. Hierbij zijn tevens gegevens nodig betreffende de kwaliteitsaspecten van bedrijf en milieu.

Ter verkrijging van enig inzicht in de situatie in Noord-Brabant wat betreft bovenstaande gegevens en de beschikbaarheid ervan is telefonisch contact opgenomen met 17 bedrijven (zie bijlage 3). Deze 17 bedrijven maken deel uit van de 34 grootste onttrekkers van grondwater voor koeldoeleinden (1987).

De enquête had het karakter van een korte inventarisatie van de toepassingen van grondwater als koelwater binnen de verschillende branches. De conclusies uit deze inventarisatie zijn samengevat in de volgende punten:

- bij het vragen naar informatie verleende sommige bedrijven in het geheel geen medewerking of werden geen cijfers verstrekt
- sommige bedrijven waren niet in staat exacte informatie te verstrekken aangaande de werking van het systeem, de optredende temperaturen en het verloop van het debiet in de tijd

- met name bedrijven in de voedingsindustrie hebben vaak complexe, merendeels geautomatiseerde en geoptimaliseerde koelinstallaties die dikwijls uit meerdere deelsystemen bestaan
- bepaalde bedrijven mogelijke alternatieven nog nooit hebben overwogen, gezien de voorradigheid, kwaliteit en temperatuur van grondwater
- bepaalde bedrijven meer onttrekken dan noodzakelijk als gevolg van slechte afstemming van de grondwateronttrekking op de koelbehoefte

6.4. Besparingsmogelijkheden van grondwater

Uit hoofdstuk 5 is gebleken dat de mogelijkheden voor het verwezenlijken van een besparing van grondwater voor koeldoeleinden afhankelijk zijn van een groot aantal, in hoofdzaak bedrijfs-specifieke, factoren. Uit het oogpunt van kosten, mogelijke besparing, kwaliteits- en temperatuursaspecten in het algemeen is luchtkoeling het meest aantrekkelijke alternatief. Uit hoofdstuk 6 komt naar voren dat de bedrijven in Noord-Brabant die grondwater voor koeldoeleinden toepassen van zeer uiteenlopende aard zijn en dat er een grote pluriformiteit bestaat met betrekking tot de toegepaste koelsystemen.

Het is dan ook niet mogelijk een gedetailleerde totaaloplossing aan te geven waarmee de afzonderlijke bedrijven op economisch en milieuhygiënisch verantwoorde wijze op het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden kunnen besparen.

Een scenario dat de meest substantiële besparing van grondwater oplevert is de algemene toepassing van luchtkoeling. Zowel de investerings- als de jaarlijkse kosten van een dergelijke aanpassing liggen in de orde van 15 miljoen gulden.

De grondwaterbesparing bedraagt hierbij 35 miljoen m³ op jaarbasis. Dit komt neer op ca. f 0,40 per m³.

7. CONCLUSIES

7.1. Conclusies t.a.v. de alternatieven voor het verbruik van grondwater voor koeldoeleinden

- de minst voordelige situatie voor de hoeveelheid verbruikt grondwater is de situatie waarbij al het opgepompte grondwater na opwarming in een doorstroomkoelsysteem wordt geloosd in het riool of op het oppervlaktewater
- aantrekkelijke alternatieven voor het onttrekken van grondwater voor koeldoeleinden zijn:
 - . het gebruik van koeltorens (zonder koelmachines indien de maximaal toelaatbare koeltemperatuur niet strikt gelijk hoeft te zijn aan de grondwatertemperatuur (ca. 12°C)
 - . het gebruik van luchtkoeling indien een volledige besparing wordt gewenst en de temperatuurseis (12°C) strikt noodzakelijk is
 - . het injecteren is economisch aantrekkelijk doch het brengt risico's met zich mee voor de grondwaterkwaliteit
- de toepassingsmogelijkheden voor de verschillende alternatieven voor het gebruik van grondwater voor koeldoeleinden zijn zeer sterk bedrijfsafhankelijk
- uit het oogpunt van kosten, mogelijke besparing, kwaliteits- en temperatuuraspecten in het algemeen is luchtkoeling het meest aantrekkelijke alternatief

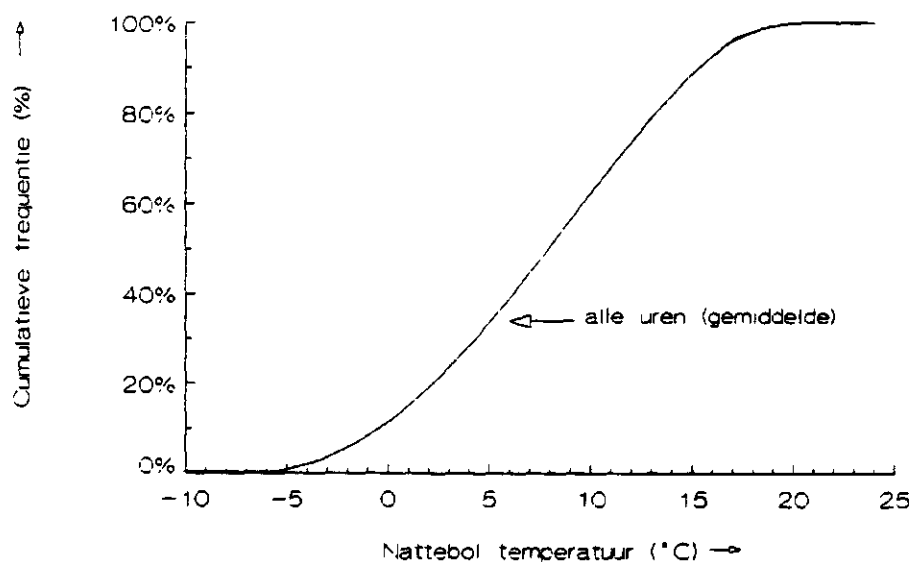
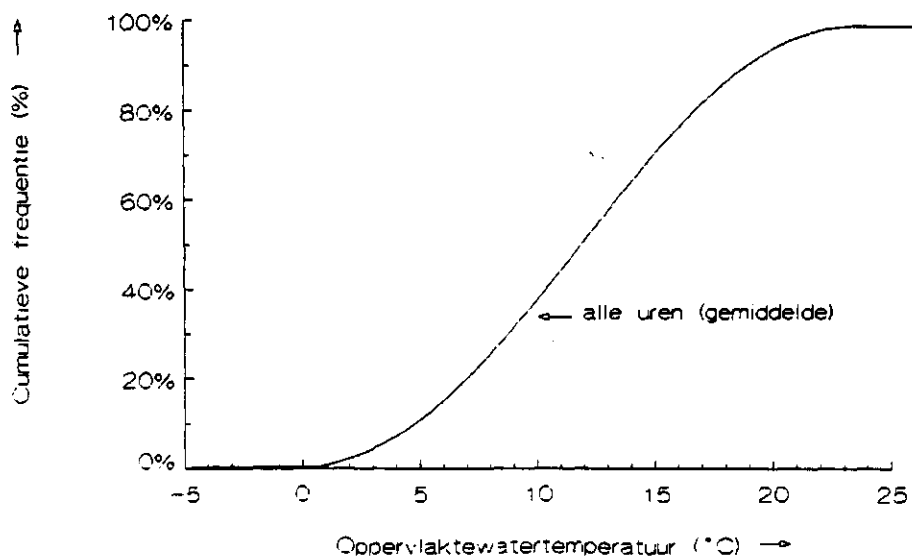
7.2. Conclusies t.a.v. het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden in Noord-Brabant

- het grondwaterverbruik voor koeldoeleinden in Noord-Brabant is van 1972 t/m 1982 met ongeveer 50% afgenomen en heeft zich min of meer gestabiliseerd op ca. $37 \times 10^6 \text{ m}^3$ per jaar
- het bepalen van de koelbehoefte van bedrijven aan de hand van grondwaterverbruiken is niet mogelijk zonder de beschikking over bedrijfsspecifieke gegevens
- als gevolg van de grote pluriformiteit van zowel de bedrijven in Noord-Brabant als de toepasbare koelsystemen is het niet mogelijk een gedetailleerde totaaloplossing aan te geven waarmee de afzonderlijke bedrijven op economisch en milieuhygiënisch verantwoorde wijze op het grondwaterverbruik kunnen besparen

-
- een scenario waarbij wordt uitgegaan van de algemene toepassing van luchtkoeling levert een besparing van ca. 35 miljoen m³ op jaarbasis en een bedrag aan jaarlijkse kosten en investeringskosten in de orde van 15 miljoen gulden

He/SBo/C-2111/88

BIJLAGE 1

Cumulatieve frequentiekrommen van de oppervlaktewatertemperatuur en de nattebol temperatuur, gemiddeld in NederlandNattebol temperatuur
Cumulatieve frequentieverdelingOppervlaktewatertemperatuur
Cumulatieve frequentieverdeling

BIJLAGE 2

Berekeningen van de indicatie van de investeringen en de jaarlijkse kosten van de verschillende alternatievenKostenindicatie nul-alternatief

DOORSTROOMKOELING MET GRONDWATER

Investering	civiel	mech./elektr.
Onttrekkingsbron	f 4.000,-/(m ³ /h)	
Pompen (onderwaterpomp)		f 300,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (200 m) (incl. afsluiters en graafwerk)	f 500,-/(m ³ /h)	
subtotaal	f 4.500,-/(m ³ /h)	f 300,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 345,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	f 5.175,-/(m ³ /h)	f 397,-/(m ³ /h)
15% overhead	f 5.951,-/(m ³ /h)	f 456,-/(m ³ /h)

Totaal civiel en mech./elektr. afgerond f 7.000,-/(m³/h)

Jaarlijkse kosten

Vaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)	
.	mechanisch/elektrische werken	f 70,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 476,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud	
.	mechanisch/elektrische werken	f 10,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 30,-/(m ³ /h)

Totaal vaste kosten afgerond f 500,-/(m³/h)

Bij 8000 bedrijfsuren f 0,063/m³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen	
.	totale opvoerhoogte ca. 15 m	f 0,012/m ³

Totaal variabele kosten afgerond f 0,01 /m³

Kostenindicatie alternatief I:

OPPERVLAKTEWATER

Investering	civiel	mech./elektr.
Inname pompstation (gebouw) (incl. licht, etc.)	f 300,-/(m ³ /h)	
Pompen pompstation (incl. motoren en elektr. voorzieningen)		f 400,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (A=200 m, B=1200 m) (incl. afsluiters en graafwerk)	A f 500,-/(m ³ /h) B f 2.000,-/(m ³ /h)	
Strainers (incl. internal piping en spoelpompen)		f 1.000,-/(m ³ /h)
Warmtewisselaar (incl. pompen)		f 400,-/(m ³ /h)
Filtergebouw (incl. ruimte voor warmtewisselaar)	f 960,-/(m ³ /h)	
Subtotaal	A f 1.760,-/(m ³ /h) B f 3.260,-/(m ³ /h)	f 1.800,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 2.070,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	A f 2.024,-/(m ³ /h) B f 3.750,-/(m ³ /h)	f 2.380,-/(m ³ /h)
15% overhead	A f 2.328,-/(m ³ /h) B f 4.311,-/(m ³ /h)	f 2.738,-/(m ³ /h)
Totaal civiel en mech./elektr.	A f 5.000,-/(m ³ /h) B f 7.000,-/(m ³ /h)	

Jaarlijkse kostenVaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)		
.	mechanisch/elektrische werken	f	410,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	A f	186,-/(m ³ /h)
		B f	345,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud		
.	mechanisch/elektrische werken	f	55,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	A f	12,-/(m ³ /h)
		B f	22,-/(m ³ /h)
	Totaal vaste kosten afgerond	A f	650,-/(m ³ /h)
		B f	850,-/(m ³ /h)
	Bij 8000 bedrijfsuren	A f	0,081/m ³
		B f	0,106/m ³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen		
.	totale opvoerhoogte ca. 22 m (A)	A f	0,018/m ³
	34 m (B)	B f	0,027/m ³
	Totaal variabele kosten afgerond	A f	0,02/m ³
		B f	0,03/m ³

Kostenindicatie alternatief II

OPPERVLAKTEWATER MET KOELMACHINE EN WARMTEWISSELAAR

Investering	civiel	mech./elektr.
Inname pompstation (gebouw) (incl. licht)en	f 300,-/(m ³ /h)	
Pompen pompstation (incl. motoren en elektr. inst.)		f 400,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (A=200 m, B=1200 m) (incl. afsluiters + graafwerk)	A f 500,-/(m ³ /h) B f 2.000,-/(m ³ /h)	
Filter (incl. internal piping en spoelpompen)		f 1.000,-/(m ³ /h)
Warmtewisselaar (incl. pompen)		f 400,-/(m ³ /h)
Filtergebouw (ruimte voor warmtewisselaar en koelmachine)	f 960,-/(m ³ /h)	
Koelmachine		f 900,-/(m ³ /h)
Subtotaal	A f 1.760,-/(m ³ /h) B f 3.260,-/(m ³ /h)	f 2.700,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 3.100,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	A f 2.024,-/(m ³ /h) B f 3.750,-/(m ³ /h)	f 3.570,-/(m ³ /h)
15% overhead	A f 2.328,-/(m ³ /h) B f 4.310,-/(m ³ /h)	f 4.100,-/(m ³ /h)
Totaal civiel en mech./elektr.	A f 7.000,-/(m ³ /h) B f 9.000,-/(m ³ /h)	

Jaarlijkse kosten

Vaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)		
.	mechanisch/elektrische werken	f	615,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	A f	186,-/(m ³ /h)
		B f	345,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud		
.	mechanisch/elektrische werken	f	82,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	A f	12,-/(m ³ /h)
		B f	22,-/(m ³ /h)
Totaal vaste kosten afgerond		A f	900,-/(m ³ /h)
		B f	1.050,-/(m ³ /h)
Bij 8000 bedrijfsuren		A f	0,113/m ³
		B f	0,131/m ³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen		
.	totale opvoerhoogte ca. 31 m (A)	A f	0,025/m ³
	43 m (B)	B f	0,034/m ³
-	Overige kosten		
.	energiekosten koelmachine	f	0,30 /m ³
Totaal variabele kosten afgerond		A f	0,33/m ³
		B f	0,34/m ³

Kostenindicatie alternatief III

KOELTOREN MET WARMTEWISSELAAR

Investering	civiel	mech./elektr.
Koeltoren c.i.f. (incl. framepacking en ventilator)	f 400,-/(m ³ /h)	
Pompen koeltoren (incl. motoren en elektr. voorz.)		f 300,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (300 m) (incl. afsluiters en graafwerk)	f 750,-/(m ³ /h)	
Warmtewisselaar (incl. pompen)		f 400,-/(m ³ /h)
Subtotaal	f 1.150,-/(m ³ /h)	f 700,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 805,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	f 1.323,-/(m ³ /h)	f 926,-/(m ³ /h)
15% overhead	f 1.520,-/(m ³ /h)	f 1.065,-/(m ³ /h)
Totaal civiel en mech./elektr. afgerond	f 3.000,-/(m ³ /h)	

Jaarlijkse kostenVaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)	
.	mechanisch/elektrische werken	f 160,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 120,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud	
.	mechanisch/elektrische werken	f 22,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 8,-/(m ³ /h)
	Totaal vaste kosten afgerond	f 300,-/(m ³ /h)

Bij 8000 bedrijfsuren f 0,038/m³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen	
.	totale opvoerhoogte ca. 25 m	f 0,020/m ³
-	Overige kosten	
.	chemicaliën	f 0,020/m ³
.	leidingwater (3%, f 1,-/m ³)	f 0,030/m ³
	Totaal variabele kosten afgerond	f 0,07 /m ³

Kostenindicatie alternatief IV

KOELTOREN ZONDER WARMTEWISSELAAR

Investering	civiel	mech./elektr.
Koeltoren c.i.f. (incl. framepacking en ventilator)	f 400,-/(m ³ /h)	
Pompen koeltoren (incl. motoren en elektr. voorz.)		f 300,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (300 m) (incl. afsluiters en graafwerk)	f 750,-/(m ³ /h)	
Subtotaal	f 1.150,-/(m ³ /h)	f 300,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 345,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	f 1.323,-/(m ³ /h)	f 397,-/(m ³ /h)
15% overhead	f 1.520,-/(m ³ /h)	f 456,-/(m ³ /h)
Totaal afgerond civiel en mech./elektr.	f 2.000,-/(m ³ /h)	

Jaarlijkse kosten

Vaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)	
.	mechanisch/elektrische werken	f 70,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 122,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud	
.	mechanisch/elektrische werken	f 10,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 8,-/(m ³ /h)

Totaal vaste kosten afgerond f 200,-/(m³/h)

Bij 8000 bedrijfsuren f 0,025/m³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen	
.	totale opvoerhoogte ca. 15 m	f 0,012/m ³
-	Overige kosten	
.	chemicaliën	f 0,020/m ³
.	leidingwater	f 0,030/m ³

Totaal variabele kosten afgerond f 0,06 /m³

Kostenindicatie alternatief V

KOELTOREN MET WARMTWISSELAAR EN KOELMACHINE

Investering	civiel	mech./elektr.
Koeltoren (incl. framepacking en ventilator)	f 400,-/(m ³ /h)	
Pompen koeltoren (incl. motoren en elektr. voorz.)		f 300,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (300 m) (incl. afsluiters en graafwerk)	f 750,-/(m ³ /h)	
Warmtewisselaar (incl. pompen)		f 400,-/(m ³ /h)
Koelmachine		f 900,-/(m ³ /h)
Subtotaal	f 1.150,-/(m ³ /h)	f 1.600,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 1.840,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	f 1.323,-/(m ³ /h)	f 2.116,-/(m ³ /h)
15% overhead	f 1.520,-/(m ³ /h)	f 2.433,-/(m ³ /h)
Totaal civiel en mech./elektr. afgerond	f 4.000,-/(m ³ /h)	

Jaarlijkse kosten

Vaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)	
.	mechanisch/elektrische werken	f 365,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 120,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud	
.	mechanisch/elektrische werken	f 49,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 8,-/(m ³ /h)

Totaal vaste kosten afgerond f 550,-/(m³/h)

Bij 8000 bedrijfsuren f 0,069/m³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen	
.	totale opvoerhoogte ca. 30 m	f 0,024/m ³
-	Overige kosten	
.	chemicaliën	f 0,020/m ³
.	leidingwater	f 0,030/m ³
.	energiekosten koelmachine	f 0,30 /m ³

Totaal variabele kosten afgerond f 0,38 /m³

Kostenraming alternatief VI

LUCHTKOELING

Investerings	civiel	mech./elektr.
Koelmachine (plaatsing op dak)		f 1.300,-/(m ³ /h)
Pompen (incl. motoren en elektr. voorz.)		f 200,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (200 m) (incl. afsluiters)	f 500,-/(m ³ /h)	
incl. 15% montage		f 1.725,-/(m ³ /h)
incl. 15% onvoorzien	f 575,-/(m ³ /h)	f 1.980,-/(m ³ /h)
incl. 15% overhead	f 660,-/(m ³ /h)	f 2.280,-/(m ³ /h)
Totaal civiel en mech./elektr. afgerond f 3.000,-/(m ³ /h)		

Jaarlijkse kosten

Vaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)	
.	mechanisch/elektrische werken	f 342,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 59,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud	
.	mechanisch/elektrische werken	f 46,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 3,-/(m ³ /h)

Totaal vaste kosten afgerond f 450,-/(m³/h)

Bij 8000 bedrijfsuren f 0,056/m³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen	
.	totale opvoerhoogte ca. 9 m	f 0,007/m ³
-	Overige kosten	
.	energiekosten koelmachine	f 0,30 /m ³

Totaal variabele kosten afgerond f 0,31 /m³

Kostenindicatie alternatief VII

ONTTREKKEN EN INJECTEREN VAN GRONDWATER

Investering	civiel	mech./elektr.
Injectiebron	f 4.000,-/(m ³ /h)	
Onttrekkingsbron	f 4.000,-/(m ³ /h)	
Pompen (onderwaterpompen)		f 400,-/(m ³ /h)
Leidingsysteem (300 m) (incl. afsluiters en graafwerk)	f 750,-/(m ³ /h)	
subtotaal	f 8.750,-/(m ³ /h)	f 400,-/(m ³ /h)
incl. 15% montage		f 460,-/(m ³ /h)
15% onvoorzien	f 10.060,-/(m ³ /h)	f 530,-/(m ³ /h)
15% overhead	f 11.570,-/(m ³ /h)	f 610,-/(m ³ /h)
Totaal civiel en mech./elektr. afgerond	f 12.000,-/(m ³ /h)	

Jaarlijkse kosten

Vaste kosten

-	Kapitaalslasten (afschrijving en rente)	
.	mechanisch/elektrische werken	f 92,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 925,-/(m ³ /h)
-	Onderhoud	
.	mechanisch/elektrische werken	f 12,-/(m ³ /h)
.	civiele werken	f 58,-/(m ³ /h)

Totaal vaste kosten afgerond f 1.100,-/(m³/h)

Bij 8000 bedrijfsuren f 0,138/m³

Variabele kosten

-	Energiekosten pompen	
.	totale opvoerhoogte ca. 20 m	f 0,016/m ³

Totaal variabele kosten afgerond f 0,02 /m³

LWH/PF/C-2111/88b1

BIJLAGE 3

Lijst van telefonisch geraadpleegde bedrijven

In de laatste kolom staat de geregistreeerde hoeveelheid grondwater voor koeldoeleinden door het bedrijf onttrokken in 1987.

naam bedrijf		onttrekking [10 ³ m ³]
1.	Encebe Export-Centrale B.V.	Boxtel 402,4
2.	Homburg B.V.	Cuyk 129,5
3.	Unilever Vleesgroep Nederland B.V.	Oss 962,4
4.	Eynder Snacks B.V.	Someren 323,0
5.	Plukon B.V.	Boxmeer 394,6
6.	Pluimveeslachterij De Venhorst B.V.	Boekel 275,8
7.	Nutricia B.V.	Cuyk 659,9
8.	D.M.V. Campina B.V.	Den Bosch 571,5
9.	Suiker Unie Fabriek	Roosendaal 211,0
10.	Jonker Fris B.V.	Heusden 432,4
11.	Oosterhoutse Zoetwarenfabriek	Oosterhout 1332,7
12.	Mars B.V.	Veghel 912,4
13.	Nedalco	Bergen op Zoom 1148,9
14.	Heineken Nederlands Beheer B.V.	Den Bosch 3510,9
15.	Curver P.C.M. B.V.	Gilze en Rijen 443,1
16.	IP Brabant B.V.	Etten-Leur 506,1
17.	B.V. Vriesveem	Etten-Leur 1029,5*

* totaal van 3 vestigingen met onttrekkingen van respectievelijk 425, 500 en 104,5 m³ in 1987.

C-2111/88B3

DHV

BIJLAGE 4

Checklist

Checklist grondwaterverbruik ten behoeve van koeldoeleinden

Deze checklist dient om na te gaan hoe in Uw bedrijf het grondwater voor koeling wordt toegepast en welke temperatuurs- en kwaliteitsaspecten een rol spelen.

Met behulp van deze gegevens kan in grote lijnen worden nagegaan welke alternatieven en verbeteringen, die moeten leiden tot een verlaging van het grondwaterverbruik, voor Uw bedrijf in aanmerking zouden komen.

Indien Uw bedrijf meerdere vergunningen voor het onttrekken van grondwater heeft dan dient voor elke vergunning apart een checklist te worden ingevuld

Naam bedrijf:
Vestigingsplaats:
Naam locatie:
Registratienummer vergunning:
Checklist ingevuld door:
Datum:

DEEL 1

Winning en lozing van het water

De gegevens dienen te worden ingevuld op jaarbasis

- 1.1) Hoeveel grondwater wordt door Uw bedrijf voor koeling per jaar opgepompt:

..... m³

Eventuele opmerkingen met betrekking tot de nauwkeurigheid van dit getal of de mogelijke variaties per jaar:

.....
.....
.....

- 1.2) Indien de grondwateronttrekking niet constant is geef dan aan welk percentage van het totaal elk kwartaal opgepompt wordt:

1^o kwartaal %
2^o kwartaal %
3^o kwartaal %
4^o kwartaal %

- 1.3) Hoe zijn de verwachtingen voor de toekomst voor Uw bedrijf omtrent de benodigde hoeveelheid grondwater per jaar voor koeling:

- ☐ deze hoeveelheid zal afnemen met naar schatting %
☐ deze hoeveelheid zal gelijk blijven
☐ deze hoeveelheid zal toenemen met naar schatting %

Geef de oorzaken hiervan aan:
.....
.....

- 1.4) Hoeveel van het opgepompte water wordt ook daadwerkelijk in het koelsysteem gebruikt:

..... %

1.5) De grondwateronttrekking

- o wordt aan- of uitgeschakeld afhankelijk van het bedrijfsproces
- o wordt aan- of uitgeschakeld afhankelijk van de weersgesteldheid
- o wordt aan- of uitgeschakeld afhankelijk van
.....
- o wordt niet aan of uitgeschakeld omdat
.....
- o automatisch aan- of uitgeschakeld
- o wordt niet automatisch aan- of uitgeschakeld omdat
.....

1.6) Wat is de bestemming van het grondwater nadat het als koelwater is gebruikt:

- X wordt geloosd op het riool;
- X wordt geloosd op oppervlaktewater;
- X wordt hergebruikt als proceswater of drinkwater;
- X wordt geïnfilteerd in de ondergrond;
- X verlies;
- X andere bestemming namelijk
.....

|| Alle volgende vragen hebben betrekking op dat gedeelte van het
|| grondwater dat daadwerkelijk voor koeling wordt gebruikt.

1.7) Wat is de temperatuur van het opgepompte water:

..... °C

1.8) Wat is de temperatuur van het water nadat het voor koeling is gebruikt

..... °C

1.9) Wat is de maximaal toegestane lozingstemperatuur van het water:

..... °C

1.10) Wat is de maximaal aanvaardbare temperatuur die het water uit
bedrijfsoverwegingen zou kunnen hebben nadat het voor koeling is
gebruikt:

..... °C

Deze grens komt voort uit

.....

|| Ga verder met deel 2

DEEL 2

Kwaliteit

- 2.1) Hoeveel water van de totaal opgepompte hoeveelheid grondwater wordt direct in contact gebracht of heeft de kans direct in contact te komen met stoffen buiten het koelleidingnet tijdens het koelproces:

..... Z

- 2.2) Aan welk deel van het water van de totaal opgepompte hoeveelheid grondwater worden eisen gesteld van biologische of chemische aard:

..... Z

|| Ga verder met deel 3

DEEL 3

De toepassing van het koelwater

- 3.1) Geef in een eenvoudig schema het circuit van het grondwater weer met bijschrijving van de namen van de belangrijkste onderdelen (putten, transportleidingen, aantal en principe van de aangesloten koelinstallaties (condensorkoeling, comfortkoeling, etc), riolering, etc.).

3.2) Wat wordt met het koelwater, direct of indirect, gekoeld:

- o % van het grondwater wordt gebruikt voor het
koelen van opslagruimtes voor
.....
.....
Is de koellast hiervoor constant in de tijd:
.....
- o % van het grondwater wordt gebruikt voor het
koelen van procesinstallaties of productieprocessen
voor de productie van
.....
.....
.....
Is de koellast hiervoor constant in de tijd:
.....
- o % van het grondwater wordt gebruikt voor het
koelen van bedrijfsruimtes (comfortkoeling)
Is de koellast hiervoor constant in de tijd:
.....
.....
- o % van het grondwater wordt gebruikt voor het
koelen van andere onderdelen van het bedrijf
namelijk
.....
.....
Is de koellast hiervoor constant in de tijd:
.....

3.3) Welk deel van het koelwater wordt direct langs een of meerdere condensors geleid die direct op een compressie-installatie zijn aangesloten:

..... 2

Met welk van de onderstaande alternatieven zou het mogelijk zijn een besparing van dit water te bewerkstelligen:

- ☐ koeling met oppervlaktewater
- ☐ koeling met lucht
- ☐ hergebruik voor proces- of drinkwater
- ☐ infiltratie in de ondergrond
- ☐ geen alternatief

Motivatie:
.....
.....
.....

3.4) Hoeveel water van de totaal opgepompte hoeveelheid grondwater wordt direct langs een of meerdere warmtewisselaars (met water of lucht) geleid:

..... 2

Met welk van de onderstaande alternatieven zou het mogelijk zijn een besparing van dit water te bewerkstelligen:

- ☐ koeling met oppervlaktewater
- ☐ met watergekoelde koelmachine
- ☐ koeling met lucht
- ☐ hergebruik voor proces- of drinkwater
- ☐ infiltratie in de ondergrond
- ☐ geen alternatief

Motivatie:
.....
.....
.....

3.5) Met welk van de onderstaande alternatieven zou het mogelijk zijn een besparing van het water dat op een andere wijze dan via warmtewisselaars of condensors van compressie-installaties als koelwater dient te bewerkstelligen:

- o koeling met oppervlaktewater
- o met water gekoelde koelmachine
- o koeling met lucht
- o hergebruik voor proces- of drinkwater
- o infiltratie in de ondergrond
- o geen alternatief

Motivatie:
.....
.....
.....

DEEL 4

Verbeteringen en alternatieven voor het gebruik van grondwater

- 4.1) Zijn gedurende de laatste tien jaar reeds maatregelen genomen die hebben geleid tot een reductie van het grondwaterverbruik voor koeling en zo ja, hoe groot is de totaal bereikte besparing die hierbij is bereikt:

.....
.....

- 4.2) Zijn vanuit Uw bedrijf wel eens de mogelijkheden bekeken die zouden kunnen leiden tot een besparing op het grondwaterverbruik voor koeling binnen Uw bedrijf:

- ☐ nee - ga naar vraag 4.3
- ☐ ja - ga verder met de volgende vraag

- 4.3) De resultaten van dit onderzoek zijn kort samengevat (eventueel onderzoeksrapport bijvoegen):

.....
.....
.....
.....
.....

- 4.4) Bestaan er vergevorderde plannen of is reeds begonnen met het realiseren van voorzieningen die moeten leiden tot een besparing op het grondwaterverbruik voor koeling binnen Uw bedrijf:

- ☐ nee
- ☐ ja - ga verder met de volgende vraag

- 4.5) Geef in het kort weer waaruit de voorzieningen bestaan en hoe groot de verwachte besparing is:

.....
.....
.....
.....
.....

Einde van de checklist