

HULP & BIJWERKTUIGEN



Adviesbureau de Koster v.o.f.

3.0 Drinkwaterbereiding

3.1 Inleiding

Aan boord van schepen is voor meerdere doelen water nodig. Dit water is nodig als drink en waswater en om eten te bereiden, maar ook voor koelwatersystemen te vullen, denk hierbij aan cilinderkoelwater, bij sommige motoren zuigerkoelwater, en verstuiverkoelwater. Voor schepen die ook gebruik maken van hulp stoomketels is het water hier als voedingwater nodig. Het komt er dus op neer dat dit water zeer zuiver moet zijn.

Aan boord kan drinkwater gemakkelijk uit zeewater gemaakt worden, dit kan op twee manieren. Dit water maken kan met behulp van verdamper of met omgekeerde osmose.

3.2 De verdamper

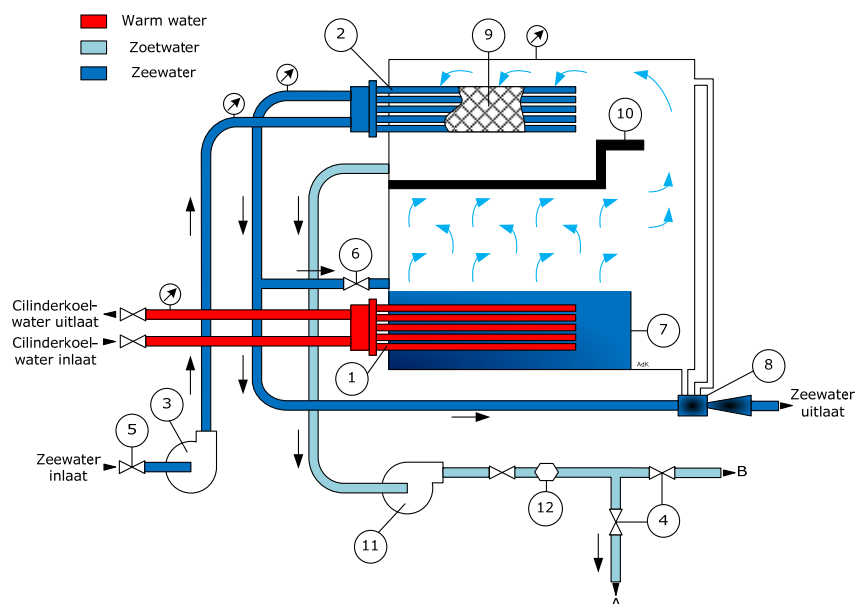
Bij de verdamper wordt restwarmte van de voortstuwingsmotor gebruikt, dit is meestal cilinderkoelwater. Verdampers kunnen ook met stoom verwarmd worden. In dit gedeelte zullen we een verdamper bespreken die gebruik maakt van restwarmte in de vorm van cilinderkoelwater van de voortstuwingsinstallatie.

Het cilinderkoelwater heeft ongeveer een temperatuur van 90 °C. Met dit water wordt dan buitenboordwater, zeewater, opgewarmd met het doel dit te verdampen en vervolgens de damp te condenseren tot gedestilleerd water.

Door de druk in de ruimte waar het zeewater wordt toegevoerd te verlagen, wordt tevens de kooktemperatuur verlaagd. Zo is de kooktemperatuur, ook wel verzadigingstemperatuur genoemd, bij 1 bara 99,6 °C. Als de druk verlaagd wordt, zal ook de verzadigingstemperatuur dalen, bij een druk van 0,05 bara bedraagt deze verzadigingstemperatuur 32,8 °C. Bij een druk van 0,05 bara spreken we ook wel over een vacuüm van 95 %.

Op afbeelding 1 is een tekening van een verdamper weergegeven.

Verzadiging



Afbeelding 1. Schematische weergave verdamper. Bron Reikon BV.

Legenda bij afbeelding 1:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Heater | 7. Overloop schot |
| 2. Condensor | 8. Lucht en brijn ejector |
| 3. Zeewater circulatie pomp | 9. Water stoom afscheider |
| 4. Magneetklep | 10. Zoetwater opvangbak |
| 5. Zuigafsluiter | 11. Zoetwater pomp |
| 6. Zeewater toevoer regelklep | 12. Salinometer |
| A. Sample leiding | B. Zoetwater naar opslagtank |

De verdamper bestaat uit een dichte behuizing met daarin een verwarmingselement (1), een condensor (2) en een opvang voor het verse water (10). Verder bevinden zich buiten de verdamper een ejecteur (8), een zeewaterpomp (3), een condensaatpomp (11) en een salinometer (12).

De getekende verdamper werkt met een druk die ligt tussen 0,09 en 0,15 bara.

Met behulp van de zeewaterpomp (3) wordt er zeewater door de condensor (2) gepompt. Via afsluiter (6) wordt er ook zeewater aan het verwarmingselement (1) toegevoerd. Het verwarmingselement bestaat uit een bundel pijpen die onder water liggen. Door het verwarmingselement wordt warm cilinderkoelwater gepompt. Dit water wordt gebruikt om het zeewater te verwarmen en voor een deel te verdampen. Via afsluiter (6) wordt zoveel zeewater toegevoerd dat de bak waarin het verwarmingselement (1) ligt constant overstroomt. Het overtollige water wordt via de ejecteur (8), die ook met zeewater wordt bedreven, afgevoerd naar overboord. Het zeewater dat aan het verwarmingselement (1) wordt toegevoerd wordt verwarmd en gaat als gevolg van de lage druk in de verdamper koken bij een temperatuur van ongeveer 33 °C. Dit water verdampt voor een deel en de damp wordt naar de condensor (2) gevoerd.

Indikken

Het zeewater, dat voor een deel verdampt, zal nu indikken, de zoutconcentratie neemt toe. Om te voorkomen dat er zich zout afzet op de verwarmingsspiraal en zo de warmteoverdracht doet afnemen wordt er meer zeewater toegevoerd dan er verdampt. Het ingedikte water wordt via de ejecteur (8) verwijderd.

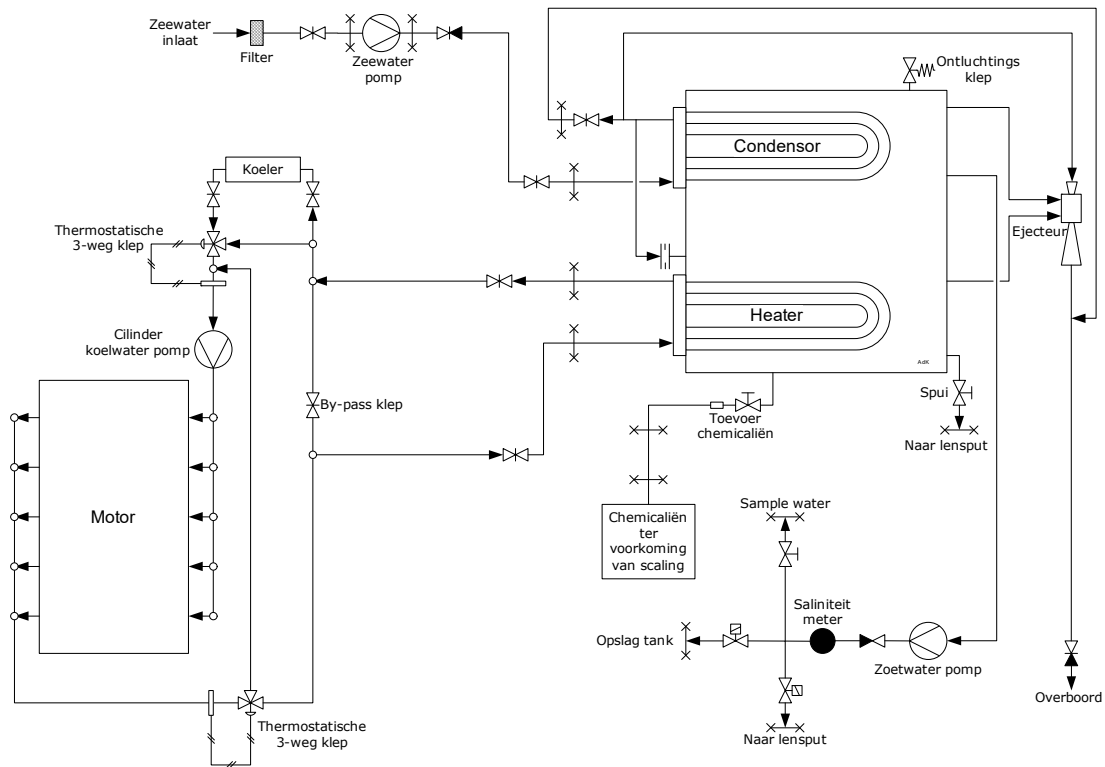
De opstijgende damp gaat via een stoomzeef naar de condensor, dit om te voorkomen dat er in druppeltjes water opgelost zout meegevoerd wordt. In de condensor zal de damp condenseren en deze wordt in de opvang (10) verzameld, waarna het met behulp van de condensaatpomp (11) wordt afgevoerd naar een eventuele nabehandeling en daarna naar de opslagtank wordt gepompt. Na de condensaatpomp (11) is een meetpunt van een salinometer (12) (zoutmeting) geplaatst om te voorkomen dat het water te zout wordt.

Op afbeelding 2 is een compleet overzicht van het leidingschema weergegeven.

Op het schema is te zien dat de cilinderkoelwaterpomp het koelwater door de motor pompt, de thermostatische driewegklep stuurt het water terug naar de motor als de temperatuur te koud is en bij toenemende temperatuur wordt het koelwater via de koeler geleid. Bij een in bedrijf staande verdamper gaat een deel van het warme koelwater naar de verwarmingsbundel van de verdamper. Het zeewater wordt op deze manier opgewarmd en voor een deel verdampt.

De zeewaterpomp stuurt het zeewater door de condensor en voorziet de verdamper met voldoende water dat voor een deel verdampt wordt. De hoeveelheid zeewater die wordt toegevoerd is ongeveer drie maal de hoeveelheid zoet water die de verdamper levert. Het zeewater wordt ook door de ejecteur gestuurd die er op zijn beurt voor zorgt dat het overtollige zeewater afgevoerd wordt naar overboord en dat het

vacuüm in de verdamper behouden blijft. Op de tekening zijn ook de terugslagkleppen te zien, deze voorkomen dat de druk in de verdamper oploopt als een van de pompen afstaat of uitvalt.



Afbeelding 2. Leidingschema verdamperinstallatie. Bron Reikon BV.



Afbeelding 3. Foto van een verdamper. Bron Reikon BV.

3.3 De hoeveelheid zout en de zoutbalans

De hoeveelheid zout die in het zeewater aanwezig is verschilt per plaats. Zo is de samenstelling van de hoeveelheid zout per liter zeewater in de Noordzee ongeveer:

- 24 gram NaCl (Natriumchloride)
- 5 gram MgCl₂ (Magnesiumchloride)
- 4 gram Na₂SO₄ (Natriumsulfaat)
- 0,7 gram NaCl (Natriumchloride)
- 0,8 gram MgBr₂ (Magnesiumbromide)

In totaal dus 34,5 gram zout per liter zeewater, dit is 34,5 ‰. Bij de evenaar bedraagt het zoutgehalte ongeveer 35 ‰, de Middellandse Zee bevat circa 39 ‰, en de Kaspische zee slechts 12 ‰.

Deze hoeveelheid wordt ook wel de saliniteit van het water genoemd.

Als we zeewater bij een temperatuur van 20 °C wat nader bekijken dan blijkt er een lineair verband aanwezig te zijn tussen de saliniteit (zoutgehalte) en de soortelijke massa (ρ) van het zeewater. Dit verband is gedefinieerd als:

$$\text{Saliniteit} = 1,316 \cdot \rho - 1313,3$$

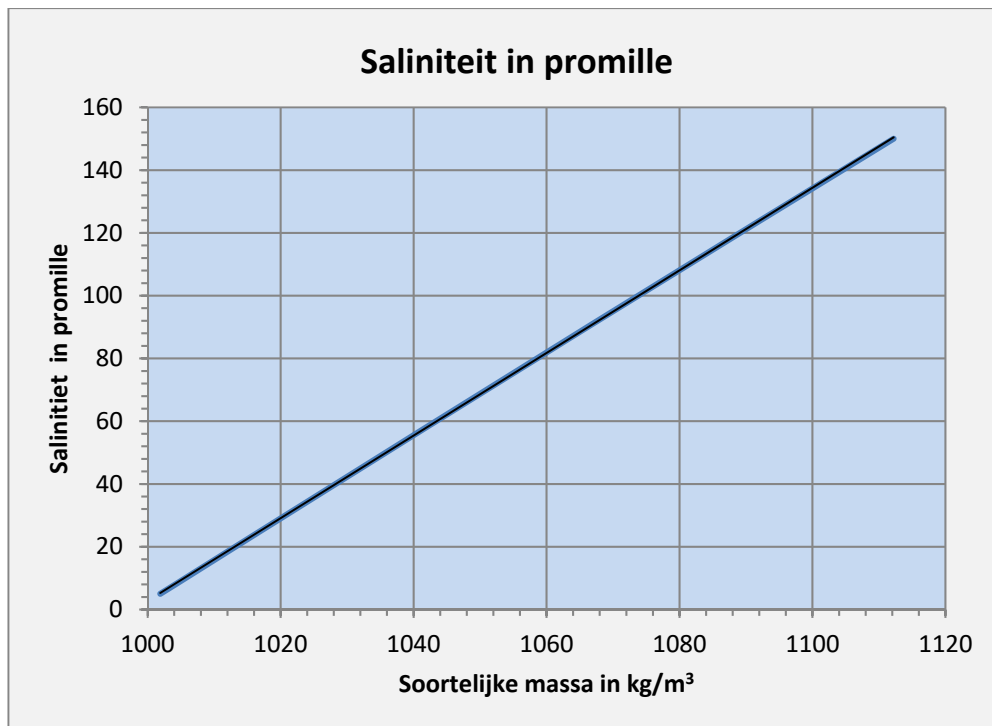
Voorbeeld:

Van zeewater is gegeven dat de soortelijke massa 1024,5 kg/m³ bedraagt, bereken het zoutgehalte in het zeewater.

Oplossing:

$$\text{Saliniteit} = 1,316 \cdot \rho_{\text{zeewater}} - 1313,3$$

$$\text{Saliniteit} = 1,316 \cdot 1024,5 - 1313,3 = 34,942 \text{ gram / liter of promille}$$

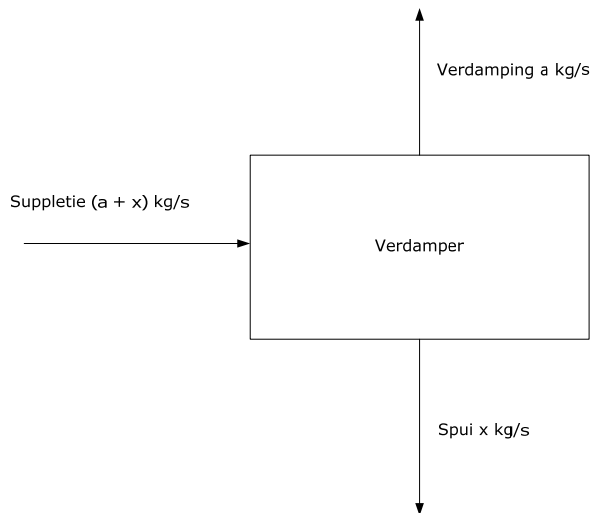


Tabel 1. Verband tussen het zoutgehalte en de soortelijke massa van het zeewater.

In het voorgaande is al genoemd dat de hoeveelheid zeewater die aan de verdamper moet worden toegevoerd ongeveer drie maal zoveel bedraagt als de waterproductie van de verdamper.

Om het evenwicht in de verdamper te handhaven moet gelden dat de hoeveelheid zout die er in gaat er ook weer uitgaat.

We nemen aan dat er a kg/s verdampt en dat er x kg/s gespuid wordt, dan moet er $(a + x)$ kg/s gesuppleerd worden, zie hiertoe afbeelding 4.



Afbeelding 4. De zoutbalans.

Dit is ook uit te rekenen met de volgende vergelijking.

$$(a + x) \cdot S_{\text{suppletie}} = x \cdot S_{\text{spui}} + a \cdot S_{\text{damp}}$$

Waarin:

- $a =$ De hoeveelheid water die verdampt wordt in kg/s.
- $x =$ De hoeveelheid water dat gespuid wordt in kg/s.
- $S_{\text{suppletie}} =$ Het zoutgehalte van het suppletiewater in ‰ (gr/ltr).
- $S_{\text{spui}} =$ Het zoutgehalte van het spuiwater in ‰ (gr/ltr).
- $S_{\text{damp}} =$ Het zoutgehalte van de damp in ‰ (gr/ltr).

We kunnen aannemen dat het zoutgehalte in de damp 0 ‰ bedraagt dus wordt de vergelijking voor de zoutbalans:

$$(a + x) \cdot S_{\text{suppletie}} = x \cdot S_{\text{spui}}$$

Voorbeeld:

Gegeven:

Een verdamper levert 25 ton water per etmaal
De soortelijke massa van het zeewater bedraagt 1025 kg/m^3 .

Gevraagd:

Bereken de hoeveelheid te spuien water en de hoeveelheid suppletiewater in ton/etmaal als gegeven is dat de soortelijke massa van het spuiwater 1048 kg/m^3 bedraagt.

Oplossing:

Het zoutgehalte, saliniteit, nu afgekort als S , van het suppletiewater bedraagt:

$$S_{\text{suppletie}} = 1,316 \cdot \rho_{\text{zeewater}} - 1313,3$$

$$S_{\text{suppletie}} = 1,316 \cdot 1025 - 1313,3 = 35,6 \text{ gram / liter of promille}$$

Het zoutgehalte, saliniteit, nu afgekort als S , van het spuiwater bedraagt:

$$S_{\text{spui}} = 1,316 \cdot \rho_{\text{spui}} - 1313,3$$

$$S_{\text{spui}} = 1,316 \cdot 1048 - 1313,3 = 65,868 \text{ gram / liter of promille}$$

De hoeveelheid spuiwater wordt dan:

$$(a + x) \cdot S_{\text{suppletie}} = x \cdot S_{\text{spui}}$$

$$(25 + x) \cdot 35,6 = x \cdot 65,868$$

$$25 \cdot 35,6 = 65,868 \cdot x - 35,6 \cdot x$$

$$890 = 30,268 \cdot x$$

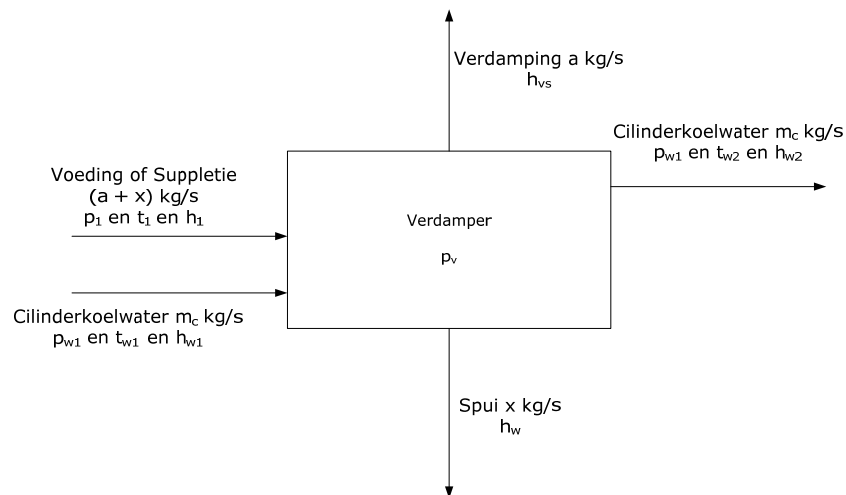
$$x = 29,4 \text{ ton / etmaal}$$

De hoeveelheid suppletiewater wordt dan:

$$25 + 29,4 = 54,4 \text{ ton/etmaal.}$$

3.4 De energiebalans

Voor het warmteverbruik van een verdamper kunnen we de energiebalans opstellen en we stellen dan weer dat de warmte die er in gaat gelijk moet zijn aan de warmte die er uit gaat, we gebruiken de tekening op afbeelding 5.



Afbeelding 5. De energiebalans van de verdamper.

Voor de verdamper moet nu gelden:

$$\dot{m}_c \cdot h_{w1} + (a + x) \cdot h_1 = \dot{m}_c \cdot h_{w2} + x \cdot h_w + a \cdot h_{vs}$$

Waarin:

\dot{m}_c	= Massa cilinderkoelwater in kg/s
h_{w1}	= Enthalpie van het toegevoerde cilinderkoelwater in kJ/kg
a	= Hoeveelheid damp die in de ontgasser gevormd wordt in kg/s
x	= Hoeveelheid zeewater, brijn, die gespuid wordt in kg/s
h_1	= Enthalpie van het toegevoerde zeewater in kJ/kg
h_w	= Enthalpie van het afgevoerde zeewater, brijn, in kJ/kg
h_{w2}	= Enthalpie van het afgevoerde cilinderkoelwater in kJ/kg
h_{vs}	= Enthalpie van de verzadigde stoom in kJ/kg

Voorbeeld:

Een verdamper levert 20 ton drinkwater per etmaal.

De verdamper wordt gevoed met zeewater waarvan de soortelijke massa 1020 kg/m^3 bedraagt, de druk van het zeewater bedraagt 3 bara en de temperatuur $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Het afgevoerde zeewater, de brijn, heeft een soortelijke massa van 1050 kg/m^3 .

Het cilinderkoelwater heeft een druk van 4 bara en bij intrede verdamper een temperatuur van $90 \text{ }^\circ\text{C}$. De uittrede temperatuur van het cilinderkoelwater bedraagt $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

De druk in de verdamper bedraagt 10,1 bara

Gevraagd:

- Bereken hoeveel water er aan de verdamper moet worden gesuppleerd in ton per etmaal.
- Bereken hoeveel water er moet worden gespuid in ton per etmaal.
- Bereken de hoeveelheid cilinderkoelwater dat aan de verdamper moet worden toegevoerd in kg/s.

Oplossing:

Eerst zoeken we alle benodigde waarden op.

Enthalpie cilinderkoelwater bij 4 bara en $90 \text{ }^\circ\text{C}$. $h_{w1} = 377,22 \text{ kJ/kg}$.

Enthalpie cilinderkoelwater bij 4 bara en $80 \text{ }^\circ\text{C}$. $h_{w2} = 335,23 \text{ kJ/kg}$.

Enthalpie zeewater intrede bij 3 bara en $30 \text{ }^\circ\text{C}$ $h_1 = 126,01 \text{ kJ/kg}$.

Enthalpie zeewater, brijn, uittrede bij 0,1 bara $h_w = 191,88 \text{ kJ/kg}$.

Enthalpie van de verzadigde damp bij 0,1 bara $h_{vs} = 2583,89 \text{ kJ/kg}$.

Alle enthalpieën zijn opgezocht in de stoomtabel. Uiteraard wordt er een fout gemaakt, doordat zeewater gezien wordt als zuiver water, de gemaakte fout is echter marginaal.

a+b)

Het zoutgehalte, saliniteit, van het suppletiewater bedraagt:

$$S_{\text{suppletie}} = 1,316 \cdot \rho_{\text{zeewater}} - 1313,3$$

$$S_{\text{suppletie}} = 1,316 \cdot 1020 - 1313,3 = 29,02 \text{ gram / liter of promille}$$

Het zoutgehalte, saliniteit, van het spuiwater bedraagt:

$$S_{\text{spui}} = 1,316 \cdot \rho_{\text{spui}} - 1313,3$$

$$S_{\text{spui}} = 1,316 \cdot 1050 - 1313,3 = 68,5 \text{ gram / liter of promille}$$

De hoeveelheid spuiwater wordt dan:

$$\begin{aligned}(a+x) \cdot S_{\text{suppletie}} &= x \cdot S_{\text{spui}} \\ (20+x) \cdot 29,02 &= x \cdot 68,5 \\ 20 \cdot 29,02 &= 68,5 \cdot x - 29,02 \cdot x \\ 580,4 &= 39,48 \cdot x \\ x &= 14,7 \text{ ton / etmaal}\end{aligned}$$

De hoeveelheid suppletiewater wordt dan:

$$20 + 14,7 = 34,7 \text{ ton/etmaal.}$$

c)

$$\begin{aligned}\dot{m}_c \cdot h_{w1} + (a+x) \cdot h_1 &= \dot{m}_c \cdot h_{w2} + x \cdot h_w + a \cdot h_{vs} \\ \dot{m}_c \cdot 377,22 + (20+14,7) \cdot 126,01 &= \dot{m}_c \cdot 335,23 + 14,7 \cdot 191,88 + 20 \cdot 2583,89 \\ \dot{m}_c \cdot (377,22 - 335,23) &= 14,7 \cdot 191,88 + 20 \cdot 2583,89 - (20+14,7) \cdot 126,01 \\ 41,99 \cdot \dot{m}_c &= 50.125,889 \\ \dot{m}_c &= 1193,75 \text{ ton / etmaal} \\ \dot{m}_c &= 49,739 \text{ ton / uur} \\ \dot{m}_c &= 13,8 \text{ kg / s}\end{aligned}$$

3.5 Omgekeerde osmose

3.5.1 Inleiding

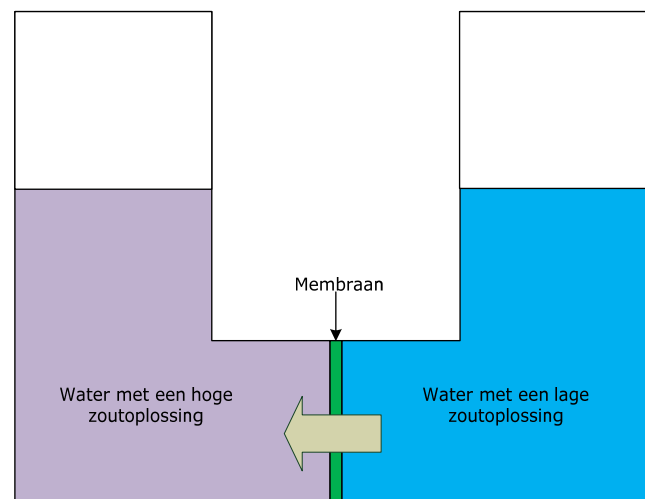
Aan boord van zeeschepen, maar zeker op baggerschepen wordt omgekeerde osmose steeds meer toegepast als watermaker. Eerst kijken we wat osmose eigenlijk is. Osmose is een natuurlijk iets, het komt neer op het zoeken naar evenwicht.

Als we twee vaten nemen met water, in het rechter vat doen we water met een heel laag zoutgehalte en in het linker vat water met een hoog zoutgehalte. We verbinden de vaten met elkaar maar scheiden ze door er een membraan tussen te voegen, zie afbeelding 6. Het membraan is zo ontwikkeld dat het enkel watermoleculen door laat. De zoutmoleculen worden door het membraan tegengehouden, omdat de gaatjes die in het membraan aangebracht zijn te klein zijn voor de zoutmoleculen.

Semi permeabel

Een dergelijk membraan wordt semipermeabel genoemd, of ook wel half doorlatend.

Omdat de watermoleculen door het membraan kunnen, zal nu een natuurlijk evenwicht gezocht worden om de concentraties aan beide zijden van het membraan gelijk te krijgen.



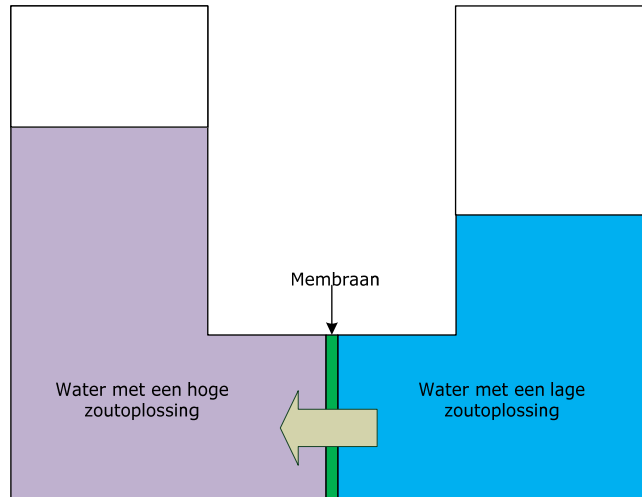
Afbeelding 6. Het principe van osmose.

Doordat de watermoleculen nu van het rechter vat naar het linker vat bewegen, ze kunnen door het membraan, neemt de zout concentratie in het linker vat geleidelijk af. De oplossing in het linker vat wordt dus verdund. Maar omdat het water van het rechter naar het linker vat loopt, neemt de hoogte van de vloeistofkolom in het rechter vat af, terwijl deze in het linker vat juist toeneemt. Dit is weergegeven op afbeelding 7.

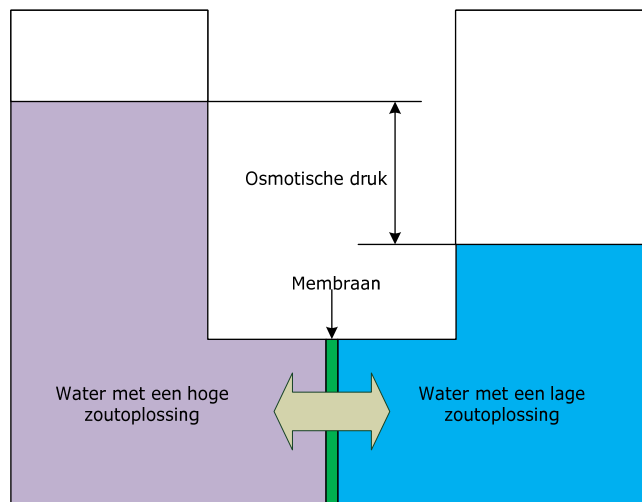
Osmotische druk

Dit proces gaat door totdat de beide concentraties gelijk zijn of totdat het drukverschil zo groot geworden is dat er geen water meer van het rechter vat naar het linker vat gestuwd kan worden.

Dit is weergegeven op afbeelding 8. Op afbeelding 8 is er een evenwicht in druk bereikt, het water kan nu niet meer van het rechter vat naar het linker vat stromen. Het drukverschil tussen de vloeistofkolommen wordt de osmotische druk genoemd.



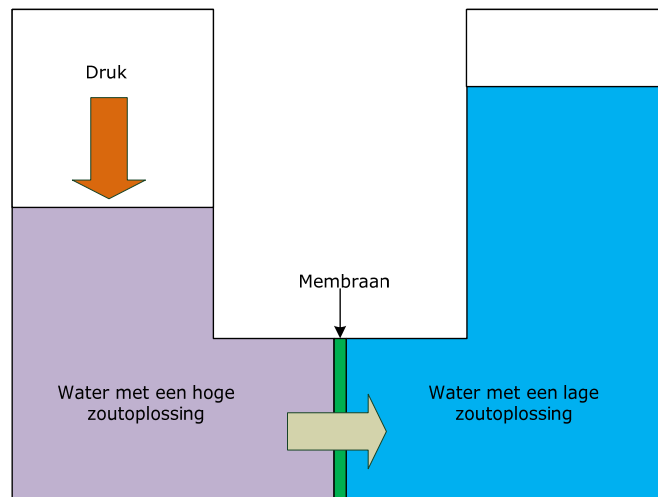
Afbeelding 7. Water stroomt van een lage concentratie naar een hoge concentratie.



Afbeelding 8. Het evenwicht is bereikt.

Reversed Osmosis

Wat is nu omgekeerde osmose? Om zout water om te zetten in drinkwater passen we omgekeerde osmose toe, dit wordt vaak aangegeven als Reversed Osmosis of afgekort als RO.



Afbeelding 9. Het principe van omgekeerde osmose.

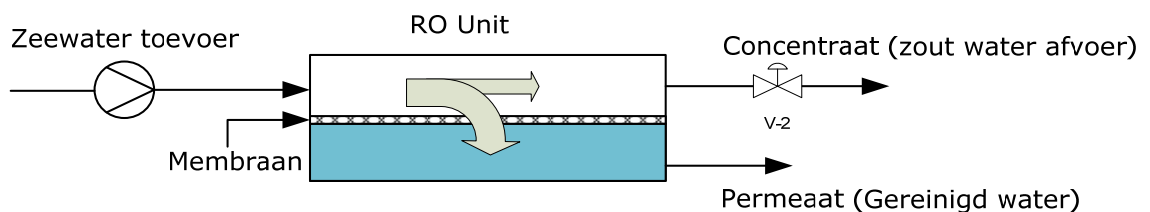
Op de kolom met de hoge zoutconcentratie wordt nu een druk uitgeoefend, het water wordt dus geforceerd door het membraan geperst. De watermoleculen stromen door het membraan en de zoutmoleculen worden op hun beurt tegen gehouden. Dit principe noemen we omgekeerde osmose. De druk die op het zoute water wordt uitgeoefend moet natuurlijk groter zijn dan de osmotische druk. In de praktijk bedraagt deze druk ongeveer 60 bar.

3.5.2 Omgekeerde osmose in de praktijk

Met behulp van een hogedrukpomp wordt, in ons geval, zeewater door de omgekeerde osmose unit gepompt. In de unit die bestaat uit een huis en de membraan elementen wordt het zeewater ontdaan van zouten. Dit is schematisch weergegeven op afbeelding 10.

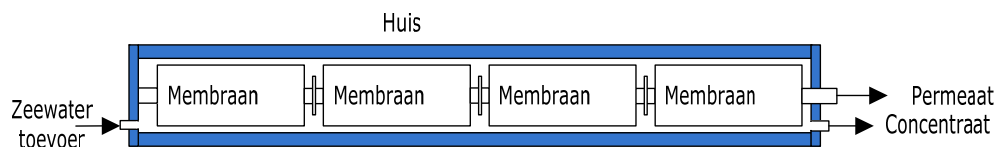
Permeaat

Het water dat ontdaan is van zouten wordt permeaat genoemd, het zoute water dat afgevoerd wordt noemen we brijn of reject. Het permeaat is nu nog geen drinkwater, dit water is namelijk veel te zuiver, er zitten geen zouten in en vaak is de pH te laag. De druk in de RO unit wordt geregeld door de regelbare afsluiter in de concentraat afvoer.



Afbeelding 10. Schematische weergave van een omgekeerde osmose (RO) unit.

De membranen zien er vaak uit als ronde filters waaromheen het membraan gewikkeld is. Deze filters bestaan uit meerdere stappen. Het water passeert dus meerdere "filters" waardoor het voedingwater steeds geconcentreerder wordt. Bij het laatste "filter" verlaat het geconcentreerde water de unit. Het permeaat van elk element wordt in de gezamenlijke permeaat pijp verzameld en stroomt dan uit de RO unit. Dit is schematisch weergegeven op afbeelding 11.



Afbeelding 11. Schematische weergave van de plaatsing van de membranen.

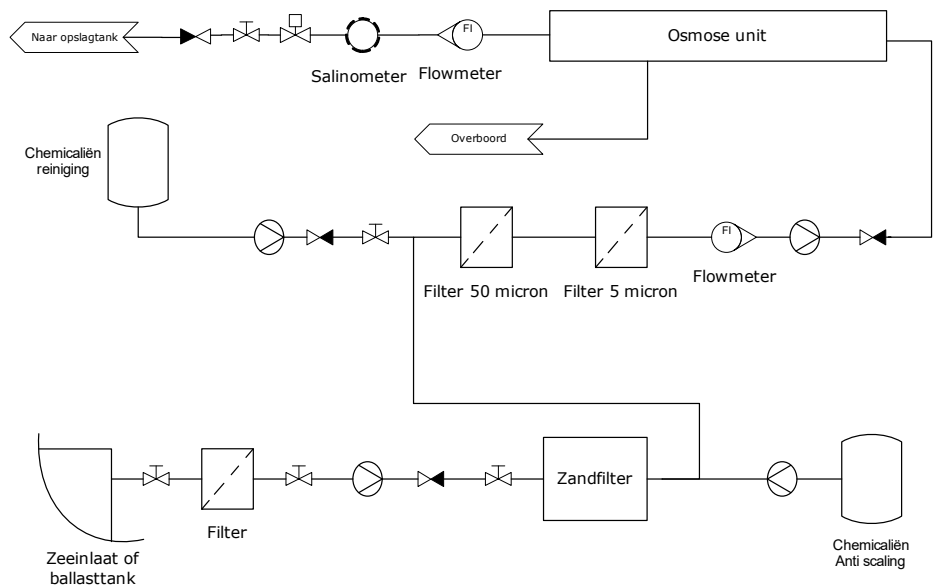


Afbeelding 12. Foto van een willekeurige RO unit. Bron Reikon BV.

Op afbeelding 13 is een vereenvoudigd leidingschema weergegeven van een RO unit. Via de zee-inlaat, of bij baggerschepen als ze aan het baggeren zijn, via een ballasttank, wordt zeewater door een filter getrokken met behulp van een pomp. De pomp perst het water door een optioneel zandfilter waar vaste deeltjes afgevangen worden. Na het zandfilter kunnen er chemicaliën worden toegevoegd die voorkomen dat er kalkafzetting plaats vindt op de membranen, dit is een zogenaamde anti scaling behandeling.

50 µm en 5 µm

Het zeewater vervolgt zijn weg door twee filters, een filter van 50 µm, gevolgd door een filter van 5 µm. Nu is het zeewater inmiddels ontdaan van de kleinste deeltjes, voordat het door de membranen van de omgekeerde osmose unit heen geperst wordt. Voor en na de RO unit zijn flowmeters geplaatst, zodat te zien is hoeveel zeewater er in gaat en hoeveel zoet water gemaakt wordt. Na de RO unit is een Salinometer geplaatst die de kwaliteit van het water bewaakt. Het product dat uit de RO unit komt, is zeer zuiver water dat eigenlijk niet goed is voor menselijke consumptie, vandaar dat dit later behandeld wordt.



Afbeelding 13. Vereenvoudigd leidingschema van een RO unit.