

LEERWERKBOEK NIVEAU 3&4



TOUCHTECH

Werktuigkundige installaties 1



Werktuigkundige installaties 1



Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff ontwikkelt zich van educatieve uitgeverij tot een learning design company. We brengen content, leerontwerp en technologie samen. Met onze groeiende expertise, ervaring en leeroplossingen zijn we een partner voor scholen bij het vernieuwen en verbeteren van onderwijs. Zo kunnen we samen beter recht doen aan de verschillen tussen lerenden en scholen en ervoor zorgen dat leren steeds persoonlijker, effectiever en efficiënter wordt.

Samen leren vernieuwen.

www.thiememeulenhoff.nl

ISBN 978 90 06 70147 0

1e druk, 1e oplage, 2020

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2020

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp (www.stichting-pro.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie www.auteursrechtenonderwijs.nl.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO₂-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk. Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

Inhoudsopgave

1	WIN01 Koelinstallaties	9
	Introductie	10
	Theorie	11
	Kernvragen	11
	Koelmethoden	11
	Koelprincipe	12
	Koelinstallaties	14
	Koelmiddelen	15
	Druk-enthalpiediagram	17
	Expansieventiel	19
	Schema's van koelinstallaties	21
	Warmtepomp	25
	Hybride koelinstallatie	26
	Samenvatting	26
	Video	27
	Begrippen	28
	Theorieopdrachten	29
	Opdrachten uit de praktijk	30
	Evaluatie en reflectie	33
	Checklist	33
	Zelftoets	33
2	WIN02 Verwarmingsinstallaties	35
	Introductie	36
	Theorie	37
	Kernvragen	37
	Verwarmingsmethoden door de jaren heen	37
	Warmtewisselaars	38
	Cv-installaties	38
	Verwarmingslichamen	41
	Expansievat	43
	Kamerthermostaat	44
	Modulerende cv-ketels	45
	Weersafhankelijke temperatuurregeling	45
	Pompen	45
	Berekeningen cv-installatie	46
	Boilers	47
	Zonneboilers	47
	Warmtepompen	48
	Lucht-luchtwarmtepomp	49
	Luchtverwarming	50
	Warmteterugwinsysteem (WTW)	51
	Stads- of blokverwarming	53
	Andere vormen van warmte-energie	53
	Isolatie	55
	Samenvatting	62
	Video	63
	Begrippen	63
	Theorieopdrachten	64
	Opdrachten uit de praktijk	65

Evaluatie en reflectie	72
Checklist	72
Zelftoets	72
3 WIN16 Verbrandingsmotoren	75
Introductie	76
Theorie	77
Kernvragen	77
Verbrandingsmotoren	77
Constructie en werking van zuigermotoren	78
Verbranding in mengsel- en dieselmotoren	79
Detonatie	80
Compressieverhouding	82
Hoofdonderdelen van verbrandingsmotoren	83
Het tweeslag- en vierslagprincipe	84
Ontstekings- en inspuitsystemen bij mengselmotoren	86
Het motormanagement	88
Ontstekingssystemen met en zonder verdeler	89
Ontstekingssysteem zonder verdeler	90
Rookgasanalyse bij discontinue verbranding	91
Driewegkatalysator voor benzinemotoren	93
Reductie van schadelijke stoffen in de uitlaatgassen van dieselmotoren	95
Samenvatting	95
Video	96
Begrippen	96
Theorieopdrachten	97
Opdrachten uit de praktijk	98
Evaluatie en reflectie	100
Checklist	100
Zelftoets	100
4 WIN17 Brandstofsyste­men en motorvermogen	103
Introductie	104
Theorie	105
Kernvragen	105
Brandstofsyste­men	105
Injectiesyste­men voor mengselmotoren	105
Injectiesyste­men voor dieselmotoren	112
Brandstofsyste­men voor middelsnelle en langzaam lopende dieselmotoren	115
Zuigerkracht, leibaankracht en draaimoment	118
Theoretische processen in verbrandingsmotoren	119
Indicateurdiagram van een vierslagmotor	120
Indicateurdiagram van een tweeslagmotor	124
Regelingsdiagram	125
Samenvatting	126
Video	127
Begrippen	128
Theorieopdrachten	129
Opdrachten uit de praktijk	130

Evaluatie en reflectie	133
Checklist	133
Zelftoets	133
5 WIN18 Turbines en stoominstallaties	135
Introductie	136
Theorie	137
Kernvragen	137
Stoom	137
Verbranding	138
Stoominstallatie	140
Stoomketels	141
Waterpijpketels	143
Stoomketel-turbine-installatie	145
Ontwikkeling van de stoomturbines	148
Omzetting van thermische energie in kinetische energie met behulp van stoom	149
Gelijkdrukturbines	150
Gecombineerde turbines	155
Samenvatting	156
Video	158
Begrippen	158
Theorieopdrachten	159
Opdrachten uit de praktijk	161
Evaluatie en reflectie	164
Checklist	164
Zelftoets	164
6 WIN20 Gasturbines en thermische ontwikkelingen	167
Introductie	168
Theorie	169
Kernvragen	169
Werkingsprincipe van een gasturbine	169
Gecombineerde stoom-gasinstallaties	175
Stadsverwarming	178
Total Energy Module (TOTEM)	180
Energiebewust werken met perslucht	182
Kernenergie	183
Samenvatting	184
Video	186
Begrippen	186
Theorieopdrachten	187
Opdrachten uit de praktijk	189
Evaluatie en reflectie	192
Checklist	192
Zelftoets	193
7 WIN12 Drukvaten en pijpleidingen	195
Introductie	196
Theorie	197
Kernvragen	197
Drukvaten	197
Pijpleidingen	200

Verbindingen voor pijpleidingen	205
Compensatoren voor leidingbewegingen	210
Thermische uitzetting van leidingen	213
Samenvatting	216
Video	217
Begrippen	218
Theorieopdrachten	219
Opdrachten uit de praktijk	221
Evaluatie en reflectie	224
Checklist	224
Zelftoets	224
8 WIN13 Pomptheorie	227
Introductie	228
Theorie	229
Kernvragen	229
Pompkeuze	229
Opvoerhoogte	229
Zuighoogte	230
Pershoogte	231
Hydraulische rendementen	235
Pompopbrengst	235
Pompvermogen	236
Cavitatie en NPSH	237
Samenvatting	244
Video	246
Begrippen	246
Theorieopdrachten	247
Opdrachten uit de praktijk	248
Evaluatie en reflectie	251
Checklist	251
Zelftoets	251
9 WIN14 Verdringerpompen	255
Introductie	256
Theorie	257
Kernvragen	257
Inleiding	257
Enkelwerkende plunjer- en zuigerpomp	259
Dubbelwerkende plunjer- en zuigerpomp	261
Differentiaalpompe	263
Membraanpompe	264
Roterende verdringerpompen	266
Tandwielpompe	266
Schottenpompe	268
Worm- of schroefpompe	270
Enkelworm- of monpompe	271
Lobbenpompe	272
Slangenpompe	272
Diagrammen	273
Samenvatting	276
Video	278
Begrippen	278

Theorieopdrachten	279
Opdrachten uit de praktijk	280
Evaluatie en reflectie	283
Checklist	283
Zelftoets	283
10 WIN15 Waaierpompen	287
Introductie	288
Theorie	289
Kernvragen	289
Waaierpompen	289
Centrifugaalpompen	289
Waaiers	292
Asafdichtingen	295
Kenmerken van een centrifugaalpompe	297
Schakelen van centrifugaalpompen	300
Pompkarakteristieken	301
Leidingkarakteristiek, pompkarakteristiek en werkpunt	303
Zelfaanzuigende centrifugaalpompen	306
Samenvatting	308
Video	309
Begrippen	310
Theorieopdrachten	311
Opdrachten uit de praktijk	312
Evaluatie en reflectie	320
Checklist	320
Zelftoets	320
Register	323

1

WIN01

Koelinstallaties



TOUCHTECH



Auteur
A. Drost

Eindredactie
J. Ouwehand

v1.0

Introductie

Koeling in een koelvitrine

Koelen is het verplaatsen van warmte. Door de verplaatsing neemt op de oorspronkelijke plaats de hoeveelheid warmte af. Er is dus koeling opgetreden. Op de plaats waar de warmte naartoe is getransporteerd, is een hoeveelheid warmte samengebracht. Hier is dus verwarming opgetreden. Om warmte te kunnen verplaatsen, is een koelinstallatie nodig. Er zijn verschillende koelinstallaties beschikbaar, waarvan de huishoudelijke koelkast en de koelvitrine in een winkel de bekendste zijn.

In een koelvitrine wordt de eventueel aanwezige warmte overgebracht naar een andere plaats. Hierdoor worden de producten in de vitrine gekoeld en blijven ze langer vers.



Figuur 1 Koelvitrine van een slager (Bron: Shutterstock)

Oriënterende vragen

- Waarom is een koelvitrine opgebouwd zoals op de foto te zien is?
- Bij een koelvitrine is sprake van het verplaatsen van warmte uit de vitrine. Waar denk je dat deze warmte naartoe gaat?

Theorie

Kernvragen

- Waar wordt koeling toegepast?
- Wat is het belang van de verdamperdruk in een koelsysteem?
- Welke regelingen komen voor in een koelinstallatie?
- Welke koel- en isolatiemiddelen worden bij koelinstallaties gebruikt?
- Hoe bepaal je de benodigde koelcapaciteit van een koelinstallatie?

Koelmethoden

Voor het gemak spreken we in deze leereenheid over koelinstallaties, maar daaronder vallen ook vriesinstallaties en dergelijke.

Er zijn drie koelmethoden:

- convectiekoeling
- damp-compressiekoeling
- absorptiekoeling

Convectiekoeling

Convectiekoeling wordt vooral gebruikt bij verbrandingsmotoren. Bij een verbrandingsmotor moet de ontstane warmte in de cilinders worden afgevoerd om oververhitting en daardoor vastlopen van de motor te voorkomen. Om de warmte af te voeren wordt gebruikgemaakt van koelvloeistof (meestal op glycolbasis). De koelvloeistof neemt de warmte door middel van **convectie** (warmtegeleiding) vanuit de cilinderwanden op. Deze verwarmde vloeistof wordt vervolgens naar een warmtewisselaar (radiator of koeler) verpompt, waar de warmte wordt overgedragen aan bijvoorbeeld lucht of water. Hierna wordt het koelmiddel weer naar de motor getransporteerd.

Damp-compressiekoeling

Damp-compressiekoeling wordt vooral gebruikt in huishoudelijke koelkasten voor het bewaren van etenswaren. Maar ook bij klimaatbeheersing (airconditioning) in een huis of gebouw wordt dit type koeling toegepast. Daarnaast wordt dit systeem gebruikt in grote commerciële en industriële koelinstallaties.

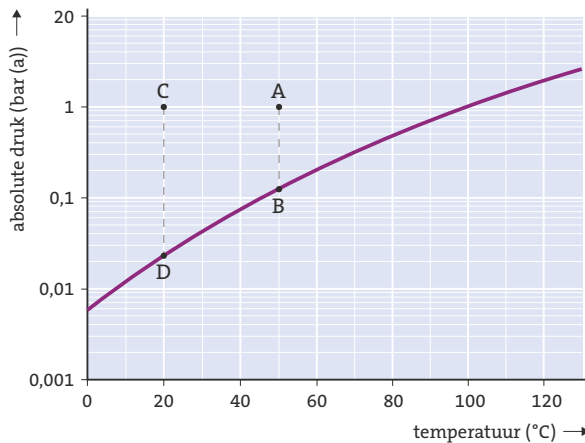
Absorptiekoeling

Een andere methode om producten te koelen is door middel van het **absorptieproces**. **Absorptiekoeling** kan worden gebruikt in heel grote installaties, maar eveneens in kleinere, zoals een koelkast in een caravan. Ook in technische installaties waar veel overtollige warmte als bijproduct aanwezig is, wordt vaak absorptiekoeling toegepast. Hiermee kan de overtollige warmte voor andere doeleinden bruikbaar worden gemaakt, zoals voor koelkasten in caravans en campers.

Koelprincipe

Het koelprincipe is afhankelijk van het koken en condenseren van een vloeistof. Bij een snelkookpan bijvoorbeeld zorgt de verhoogde druk in de pan ervoor dat water in de pan en dus ook bijvoorbeeld aardappels bij een temperatuur hoger dan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ gaan koken. Omgekeerd kan ook: bij een lagere druk kookt het water bij een temperatuur lager dan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

In figuur 2 zie je de kooktemperaturen van water bij verschillende absolute drukken. Stel dat het water een temperatuur heeft van $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een absolute druk van 1 bar(a) (punt A). Als je dan de druk verlaagt, zal dit water gaan koken bij ongeveer $0,12\text{ bar(a)}$ (punt B).



Figuur 2 Damplijn van water (Bron: Tiekstramedia)

Hetzelfde kun je doen vanuit punt C met een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een absolute druk van 1 bar(a) . Als de temperatuur constant blijft en de druk wordt verlaagd, zal het water gaan koken bij een druk van $0,024\text{ bar(a)}$. Maar als dit gebeurt in een ruimte die een temperatuur heeft van $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, zal het kookproces warmte aan de ruimte onttrekken. De temperatuur in de ruimte zal dan dalen, er wordt dus gekoeld.

Praktijkvoorbeeld: Bepalen van de kooktemperatuur

Gegeven

Een snelkookpan werkt met een druk van 2 bar .

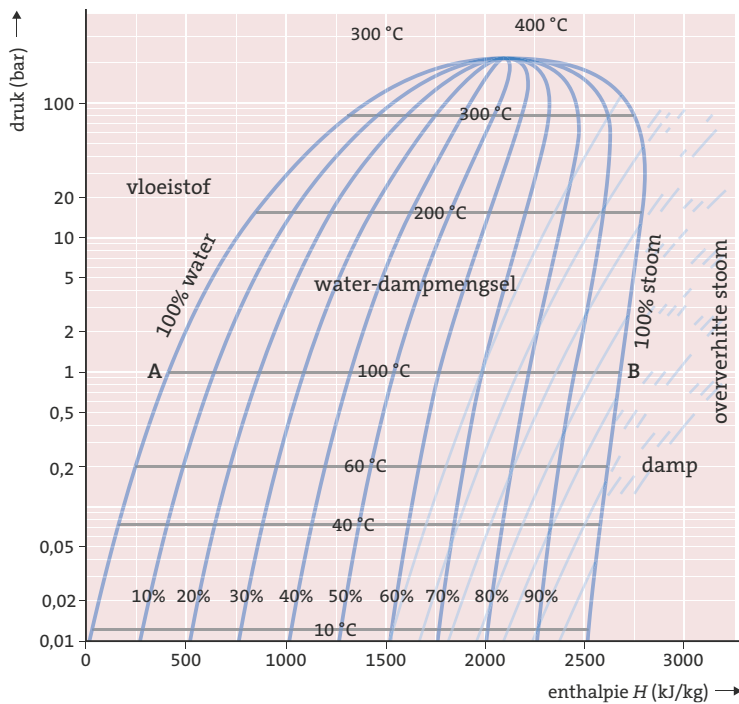
Gevraagd

Bij welke temperatuur worden aardappels in een snelkookpan gekookt?

Oplossing

Uit het diagram van figuur 2 kun je aflezen dat dan de kooktemperatuur gelijk is aan $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Als een vloeistof bij een bepaalde druk kookt, gaat deze na het toevoeren van meer warmte over in damp: de **verdampingswarmte**. In dat geval is de inwendige warmte toegenomen. De hoeveelheid warmte in een vloeistof of damp wordt **enthalpie** genoemd. Het symbool voor enthalpie is H en wordt uitgedrukt in kJ/kg (kilojoule per kilogram). Tijdens de overgang van vloeistof naar damp zal dus de enthalpie toenemen. Een veelgebruikt toestandsdiagram om de belangrijkste waarden van een verdampend en condenserend medium weer te geven, is het druk-enthalpiediagram (p - H -diagram). Op de verticale as staat de drukschaal en op de horizontale as de lineaire enthalpieschaal. Let goed op, de verticale schaal is niet overal gelijk.



Figuur 3 *p-H*-diagram van water (Bron: Tiekstramedia)

Zo is aangegeven dat bij een absolute druk $p = 1$ bar het water begint te koken bij $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punt A) en dat de enthalpie dan $H = 418,55\text{ kJ/kg}$ bedraagt. Wanneer extra warmte wordt toegevoerd, blijft het water bij gelijkblijvende temperatuur koken. Steeds meer van dit water gaat over in waterdamp, tot bij een enthalpie van ongeveer 2700 kJ/kg al het water is veranderd in damp (stoom) (punt B).

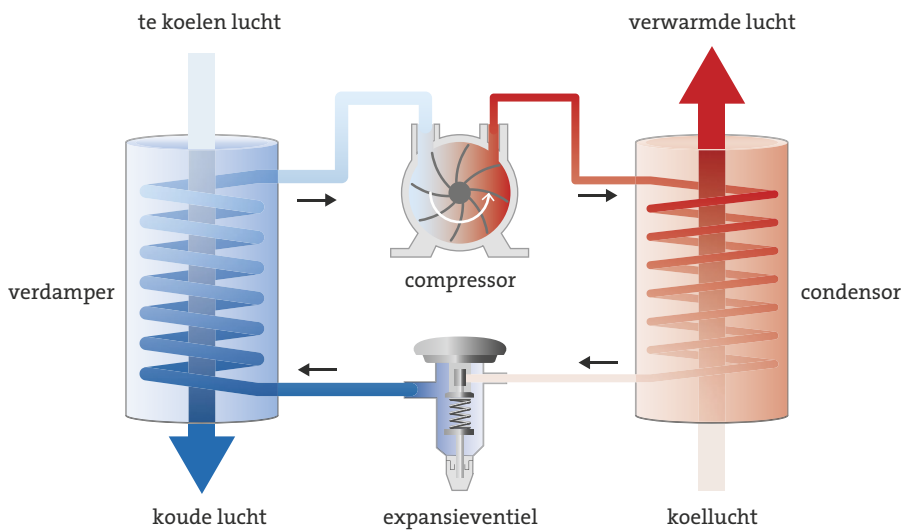
Bij een verdere toevoer van warmte neemt naast de enthalpie ook de temperatuur weer toe. Je spreekt dan van oververhitte stoom.

In het diagram is niet alleen te zien dat bij elke druk een andere kooktemperatuur geldt, maar ook dat bij een oplopende kooktemperatuur de voor het verdampen benodigde enthalpie afneemt.

Bij een druk van $221,3\text{ bar(a)}$ is de enthalpie van water en stoom even groot. Dit noem je de **kritische druk**.

Koelinstallaties

Het werkingsprincipe van een koelingscyclus berust op het afwisselend condenseren en verdampen van het koudemiddel, waarbij tevens de druk wisselt.



Figuur 4 Koelingscyclus in een koelinstallatie (Bron: Tiekstramedia)

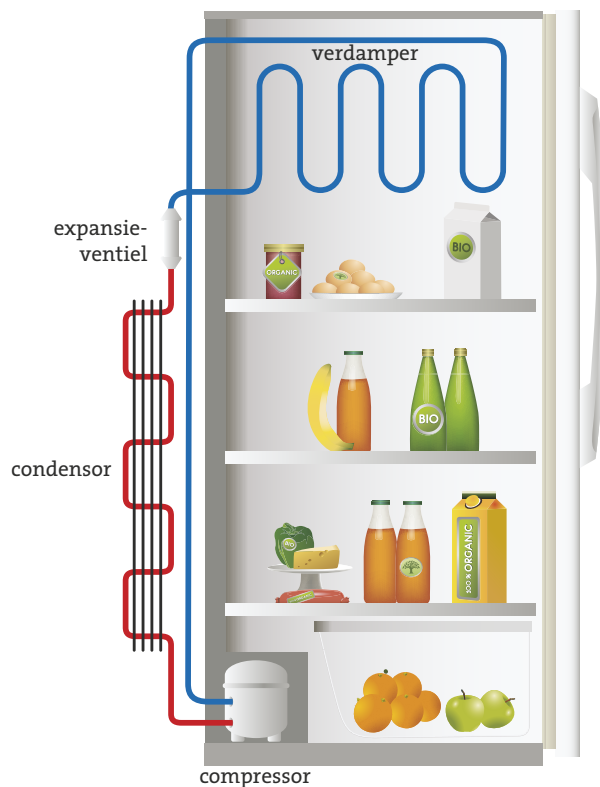
In een koelinstallatie zitten vier belangrijke onderdelen:

- compressor
- condensor
- expansieorgaan
- verdamper

Het koelproces verloopt als volgt. De compressor zuigt koelmiddeldamp aan vanuit de verdamper, perst de damp tot een hoge druk samen en voert dit naar de condensor. In de condensor wordt de warmte uit de damp weer afgevoerd. Hierdoor gaat de damp over in vloeistof.

De druk in de condensor zal dan nog steeds dezelfde zijn. De vloeistof gaat vervolgens naar het expansieorgaan (bijvoorbeeld expansieventiel of **expansiecapillair**) waarin de druk wordt verlaagd. Dit heeft tot gevolg dat ook de temperatuur daalt en dat de vloeistof voor een deel overgaat in damp. Het vloeistof-dampmengsel wordt vervolgens naar de verdamper gevoerd. In de verdamper wordt warmte uit de omgeving toegevoerd zodat het vloeibare deel van het mengsel overgaat in damp. Deze warmteopname door de verdamper geeft een temperatuurverlaging van de omgeving en dus is er sprake van een koelproces.

In figuur 5 zie je een schematische voorstelling van een koelinstallatie met directe koeling zoals een koelkast. Directe koeling wil zeggen dat het koelmedium direct door de warmtewisselaars in de koel- of vrieskamers stroomt, er wordt dus geen secundair koelmiddel gebruikt.



Figuur 5 Werkingsschema van een koelkast (Bron: Tiekstramedia)

Koelmiddelen

Met behulp van water zal het gewenste koelresultaat niet worden bereikt. De energie die nodig is om de druk zodanig te verlagen dat het water gaat koken bij een bepaalde temperatuur, is veel te hoog. Er zijn echter koelmiddelen die bij een drukverlaging snel tot koeling overgaan. Het nadeel van veel van deze koelmiddelen is dat ze schadelijk zijn voor het milieu. Koelmiddelen die deze eigenschap niet of in mindere mate hebben, zijn de natuurlijke koelmiddelen.

Veelgebruikte koelmiddelen zijn:

- R170 (ethaan)
- R290 (propaan)
- R134A (tetrafluorethaan)
- R407C
- R717A (ammoniak)
- R744 (CO₂)

De R in de aanduiding van deze koelmiddelen staat voor **Refrigerant** (koelmiddel). Om een installatie uit te voeren met bijvoorbeeld R717A (ammoniak), moet je eerst de gegevens van dit koelmiddel weten. In de volgende tabellen zijn de gegevens opgenomen van de koelmiddelen R717A en R134A.

Tabel 1 Damptabel van R717A (ammoniak)

Temperatuur (°C)	Druk (bar(a))	Soortelijk volume (m ³ /kg)		Enthalpie <i>H</i> (kJ/kg)	
<i>Vloeistof</i>	<i>Damp</i>	<i>Vloeistof</i>	<i>Damp</i>	<i>Vloeistof</i>	<i>Damp</i>
-40	0,72	0,00145	1,55	19	1405
-35	0,95	0,00147	1,22	40	1413
-30	1,20	0,00148	0,96	63	1421
-25	1,55	0,00149	0,77	85	1428
-20	1,90	0,00150	0,62	108	1436
-15	2,41	0,00152	0,51	131	1443
-10	2,91	0,00153	0,42	154	1450
-5	3,62	0,00155	0,35	176	1456
0	4,29	0,00157	0,29	200	1462
+10	6,15	0,00160	0,21	246	1472
+20	8,57	0,00164	0,15	293	1480
+30	11,67	0,00168	0,11	341	1486
+40	15,54	0,00173	0,08	390	1490

Uit de eerste rij van deze tabel blijkt dat het koelmiddel kookt bij een druk van 0,72 bar (a) en een temperatuur van -40 °C; bij een druk van 15,54 bar is de kooktemperatuur +40 °C.

Tabel 2 Damptabel van R134A (tetrafluorethaan)

Temperatuur (°C)	Druk (bar(a))	Soortelijk volume		Enthalpie (kJ/kg)	
		(m ³ /kg × 10 ³)	(m ³ /kg)		
<i>Vloeistof</i>	<i>Damp</i>	<i>Vloeistof</i>	<i>Damp</i>	<i>Vloeistof</i>	<i>Damp</i>
-40,00	0,51139	0,707	0,361	148,401	374,288
-35,00	0,66065	0,714	0,284	154,638	377,434
-30,00	0,84295	0,720	0,225	160,932	380,566
-25,00	1,06320	0,728	0,181	167,283	383,681
-20,00	1,32668	0,736	0,147	173,695	386,773
-15,00	1,63899	0,744	0,120	180,170	389,836
-10,00	2,00601	0,753	0,099	186,711	392,866
-5	2,43394	0,762	0,082	193,319	395,857
0,00	2,92925	0,772	0,069	200,000	398,803
5,00	3,49868	0,782	0,058	206,756	401,697
10,00	4,14919	0,793	0,049	213,593	404,532
15,00	4,88801	0,804	0,042	220,514	407,300
20,00	5,72259	0,816	0,036	227,526	409,993
25,00	6,66063	0,828	0,031	234,634	412,600
30,00	7,71005	0,842	0,027	241,846	415,109
35,00	8,87907	0,856	0,023	249,170	417,506

Temperatuur (°C)	Druk (bar(a))	Soortelijk volume		Enthalpie (kJ/kg)	
		(m ³ /kg × 10 ³)	(m ³ /kg)		
40,00	10,17616	0,871	0,020	256,617	419,775
45,00	11,61013	0,888	0,017	265,197	421,897
50,00	13,19017	0,907	0,015	271,926	423,845
55,00	14,92592	0,927	0,013	279,821	425,590
60,00	16,82762	0,949	0,011	287,905	427,091
65,00	18,90623	0,974	0,010	296,209	428,296
70,00	21,17366	1,003	0,009	304,772	429,132

Praktijkvoorbeeld: Bepalen van de toegevoerde warmte

Gegeven

In een vrieskamer moet de temperatuur -25 °C zijn. De temperatuur van de koelvloeistof moet dan 5 °C daaronder liggen.

Gevraagd

Hoeveel warmte moet aan 1 kg ammoniak worden toegevoerd bij een temperatuur van -30 °C en een druk van $1,2 \cdot 10^5\text{ Pa}$? Maak gebruik van de damptabel van R717A (tabel 1).

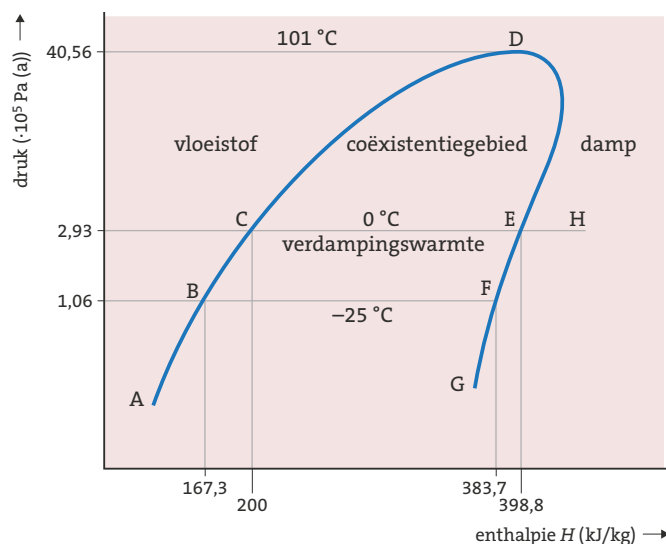
Oplossing

Uit tabel 1 volgt dat bij de gegeven druk en temperatuur de toegevoerde warmte moet zijn:

$$1421\text{ kJ/kg} - 63\text{ kJ/kg} = 1358\text{ kJ/kg}$$

Druk-enthalpiediagram

De druk en temperatuur in een compressiekoelmachine zijn afhankelijk van de constructie en instellingen van de koelmachine, maar in nog sterkere mate van het toegepaste koelmedium. Om de eigenschappen van een koelmiddel eenvoudig weer te geven, wordt vaak het druk-enthalpiediagram (p - H -diagram) gebruikt.



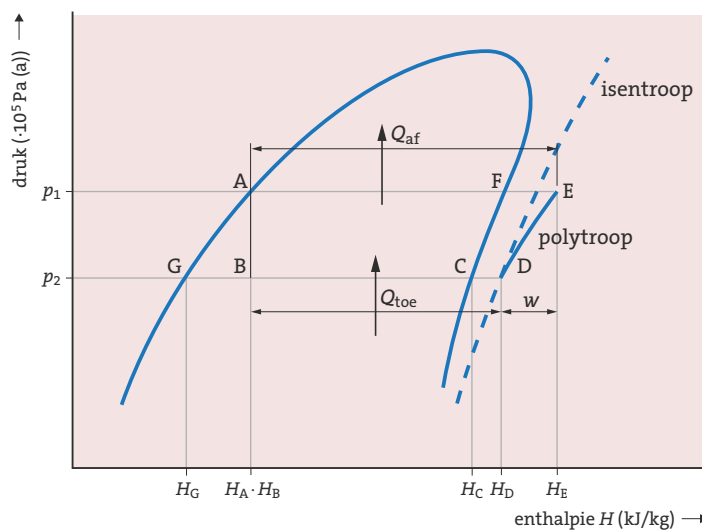
Figuur 6 p - H -diagram van R134A (Bron: Tiekstramedia)

De lijn AD is de verzadigde vloeistoflijn. Links van deze lijn ligt het vloeistofgebied. De lijn DG is de verzadigde damplijn. Rechts van deze lijn bevindt zich het dampgebied. Tussen de beide lijnen ligt het **coëxistentiegebied** (co = samen, bestaan = bestaan), waar zowel damp als vloeistof voorkomt.

In dit diagram is als voorbeeld een koelproces met koelmiddel R134A bij een druk van 2,93 bar(a) ingetekend. De koelvloeistof wordt verwarmd tot 0 °C, zodat hij net gaat koken (zie punt C). De enthalpie van de koelvloeistof is dan $H = 200$ kJ/kg. Als je meer warmte toevoert, verdampt er steeds meer vloeistof bij de temperatuur van 0 °C. In punt E is de enthalpie 398,8 kJ/kg.

Er is dan $398,8 \text{ kJ/kg} - 200 \text{ kJ/kg} = 198,8 \text{ kJ/kg}$ als verdampingswarmte toegevoerd en alle vloeistof is overgegaan in damp.

Als je de damp vanuit punt E verder laat expanderen naar punt H door warmte toe te voeren, wordt de damp oververhit. Dezelfde situatie doet zich voor bij een druk van $1,06 \cdot 10^5 \text{ Pa(a)}$ en een temperatuur van -25 °C (zie lijn BF).



Figuur 7 Vereenvoudigd p - H -diagram (Bron: Tiekstramedia)

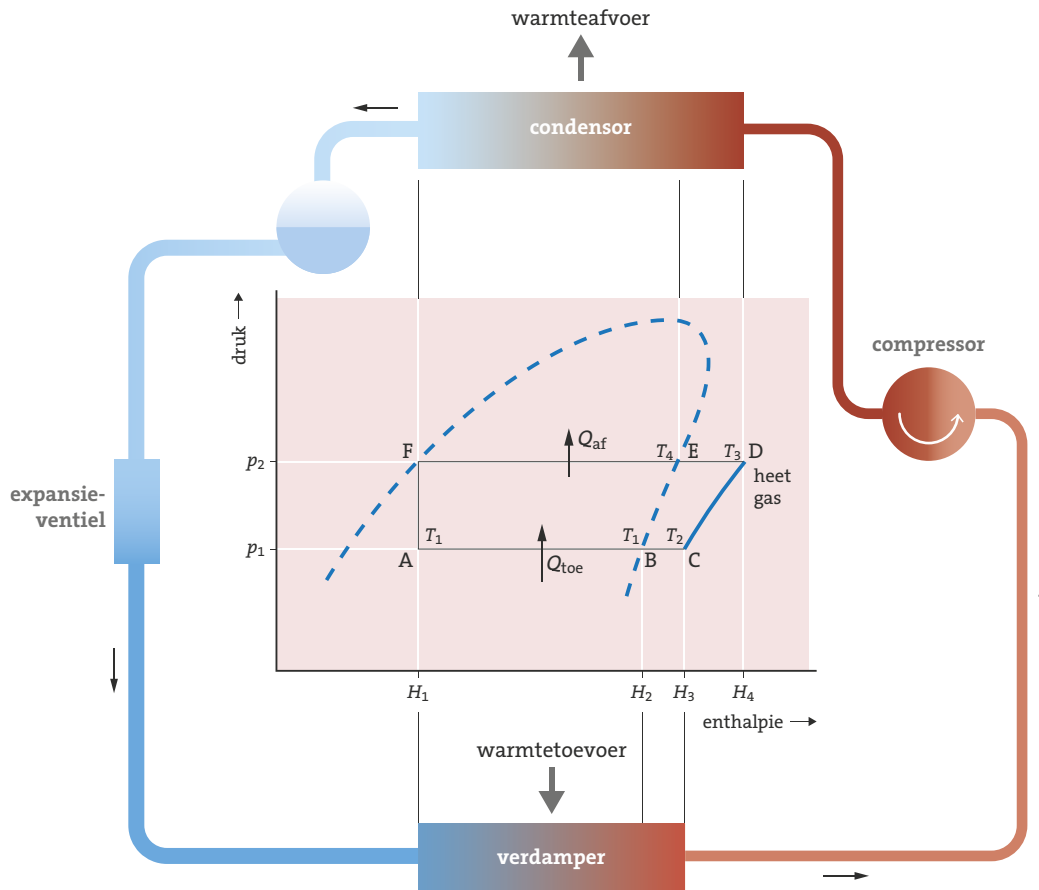
Vanuit punt A in figuur 7 wordt het vloeibare koelmiddel door middel van een expansieventiel (regelkraan) in druk verlaagd tot punt B. Tijdens deze drukverlaging gaat bij gelijkblijvende enthalpie een gedeelte van de vloeistof weer over in damp. De warmte die hiervoor nodig is, wordt niet aan de omgeving onttrokken, maar aan de vloeistof zelf. Ook is de temperatuur in punt B lager dan in punt A.

Als er in het expansieventiel geen vloeistof zou verdampen, zou de lijn AG worden doorlopen. Er verdampt echter wel vloeistof zonder warmte aan de omgeving te onttrekken (wel aan zichzelf). Het verdampte koelmedium kan geen verdampingswarmte meer in de verdamper opnemen. Lijn GB is dus een verliespost: het 'regelkraanverlies'.

Vanaf punt B stroomt het vloeistof-dampmengsel door een verdamper, waarbij warmte aan de omgeving wordt onttrokken. Hierbij is in punt C alle vloeistof weer omgezet in verzadigde damp en in punt D in oververhitte damp. Vervolgens wordt de oververhitte damp in een compressor tot een hoge druk samengeperst (zie lijn DE). Een compressie is in het p - H -diagram als een bijna rechte streeplijn aangegeven.

Na de compressie wordt de oververhitte damp door een condensor geleid volgens lijn EA, waar eerst de oververhitte damp wordt omgezet in verzadigde damp (zie punt F). Vervolgens condenseert de damp door het onttrekken van warmte. Bij gelijkblijvende druk in punt A is alle damp omgezet in vloeistof.

Tijdens het proces onttrekt de verdamper warmte Q_{toe} aan de omgeving, terwijl de condensor een hoeveelheid warmte Q_{af} afvoert. De energie die nodig is voor het aandrijven van de compressor wordt aangegeven als arbeid (W).
Voor de duidelijkheid is nogmaals een p - H -diagram van een koelproces weergegeven, nu ingetekend in een schema van een eenvoudig koelsysteem.

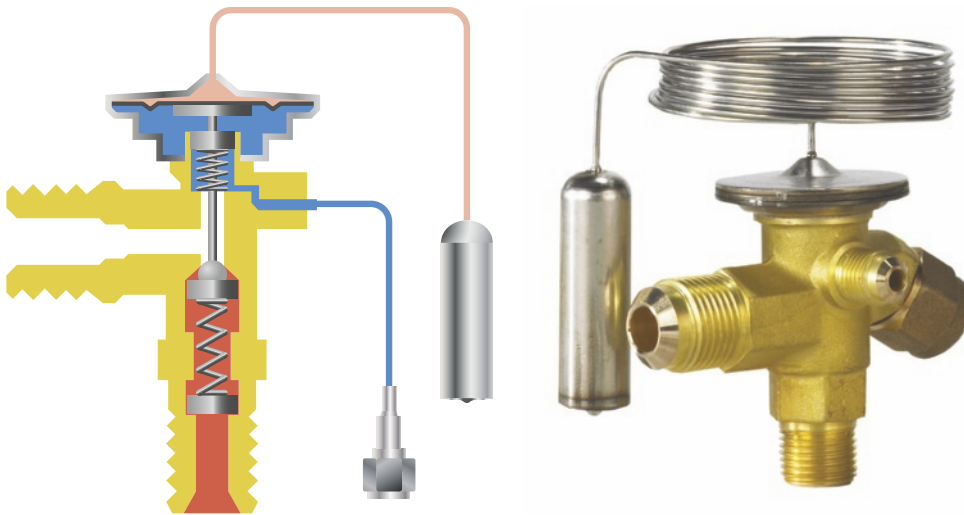


Figuur 8 Verband tussen p - H -diagram en koelproces (Bron: Tiekstramedia)

Expansieventiel

Het expansieventiel moet de vloeistoftoevoer naar de koeleenheden zo regelen dat:

- a** geen overmatige hoeveelheid vloeibaar koelmiddel aan de verdamper (koeleenheid) wordt toegevoerd. Zonder expansieventiel zou de situatie kunnen ontstaan dat een gedeelte van het vloeibare koelmiddel niet verdampt. Hierdoor komt het koelmiddel vloeibaar in de compressor, wat schade tot gevolg heeft.
- b** geen tekort aan koelvloeistof aan de verdamper wordt afgegeven, waardoor de vloeistof te snel verdampt. De warmteopname van die vloeistof is dan te gering waardoor de koelcapaciteit (of het koelvermogen) afneemt.



Figuur 9 Expansieventiel (Bron: Tiekstramedia/bing.com)

De regeling van de stand van het ventiel wordt uitgevoerd met behulp van een temperatuursensor (in de praktijk bulb genoemd). Deze sensor wordt op de retourpijp naar de compressor bevestigd. Hij wordt dus **thermostatisch** geregeld.

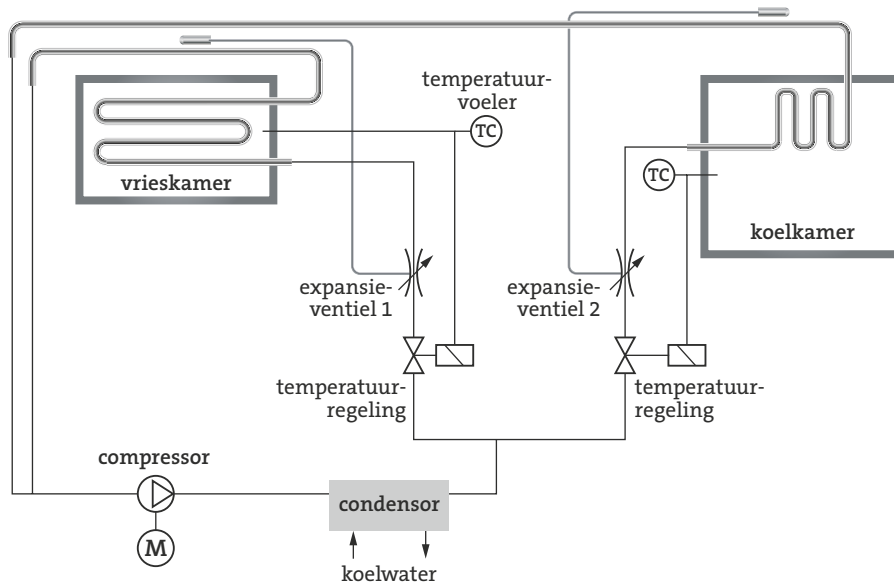
Expansiecapillair

In koelinstallaties waarbij om een aantal redenen geen expansieventiel kan worden toegepast, is er de mogelijkheid om de expansie van de koelvloeistof na de condensor te bewerkstelligen met behulp van een zogenoemd expansiecapillair. Dit is een koperen buis met een kleine doorsnede en een grote lengte. Dit capillair wordt meestal in de zuigleiding van de verdamper naar de compressor aangebracht, of wordt om deze leiding gewonden. Het vloeibare koelmiddel wordt dan afgekoeld door de koude retourdamp, zodat er tijdens de expansie minder warmteverlies optreedt voor het afkoelen naar de temperatuur behorend bij de lagere verdamperdruk. In principe levert dit hetzelfde resultaat als bereikt kan worden met behulp van een expansieventiel.

Schema's van koelinstallaties

Koelinstallatie met directe koeling

Koelvrachtwagens en koelschepen, maar ook slagerijen en winkels waar etenswaren worden verkocht, worden meestal uitgerust met grote koelinstallaties met directe koeling.



Figuur 10 Schema directe koeling (Bron: Tiekstramedia)

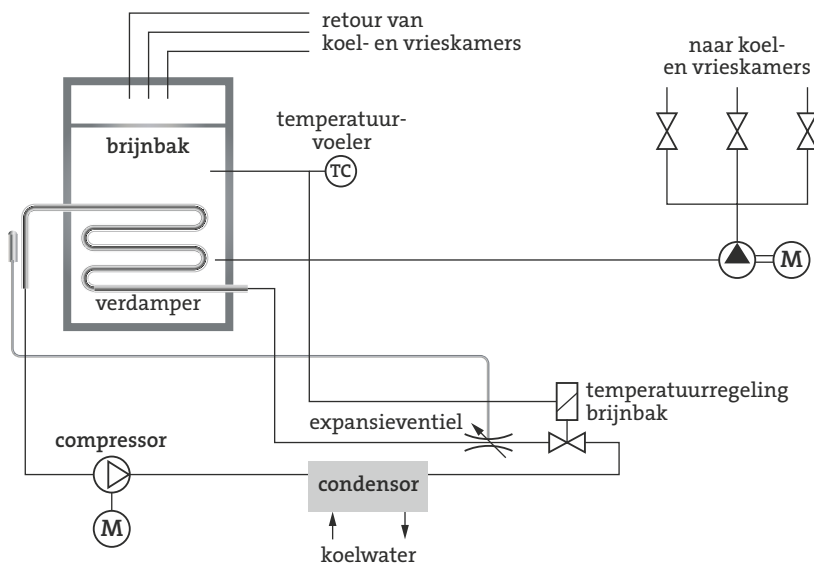
In deze installatie wordt door de compressor, die wordt aangedreven door een elektromotor met een regelbaar toerental, dampvormig koelmiddel naar de condensor geperst. In de condensor wordt de damp weer omgezet in vloeibaar koelmiddel. Het vloeibare koelmiddel vervolgens aan twee ventielen toegevoerd die door middel van een temperatuurvoeler (temperatuurcontroller (TC)) de temperatuur in de ruimten regelen. Daarna wordt het vloeibare koelmiddel door een tweetal thermostatische expansieventielen geleid. In deze ventielen wordt het omgezet naar een lage druk. De expansieventielen worden aangestuurd door voelers die op de retourleidingen naar de compressor zijn aangebracht. Deze voelers zorgen er voor dat alle koelvloeistof in de verdamper wordt verdampt, zodat er geen vloeistof door de compressor kan worden aangezogen. De expansieventielen zijn dus heel belangrijk voor een goede werking van een koelinstallatie.

Ten slotte wordt het vloeistof-dampmengsel (bijvoorbeeld 80% vloeistof en 20% damp) naar de koel- en vrieskamer gevoerd, waar de vloeistoffen verder worden omgezet in damp. Hierbij wordt aan de beide kamers warmte onttrokken. Na de beide kamers zal alle damp door de zuigleidingen naar de compressor worden gevoerd. Hierna begint de cyclus weer opnieuw.

Koelinstallatie met indirecte koeling

Van indirecte koeling is sprake als de te koelen eenheden door middel van een tussenstof (koudedragers) worden gekoeld. Deze tussenstof kan water, pekkel of een water-glycolmengsel zijn. Deze koelmethode heeft als voordeel dat er een centrale koelinstallatie wordt toegepast die meerdere koeleenheden kan aansturen. Dit betekent dat de hoeveelheid koudemiddel gering kan zijn.

In het prinsipeschema van een installatie met indirecte koeling worden als voorbeeld drie koeleenheden gekoeld door middel van een water-glycolmengsel (brijn). Het mengsel wordt in een **brijnbak** gekoeld en via een pomp naar de te koelen eenheden gepompt.



Figuur II Schema indirecte koeling (Bron: Tiekstramedia)

De voordelen van deze installatie zijn:

- geen of minder kans op lekkage door geringere toepassing van koelmiddel in het primaire deel;
- eenvoudige hoeveelhedsregeling van de koudedragers (brijn);
- grotere veiligheid in de gekoelde ruimten;
- groot warmteaccumulerend vermogen.

Een nadeel is het hogere energieverbruik door het gebruik van een extra pomp (brijnpomp).

Absorptiekoeling

Bij absorptiekoeling wordt voor een koelinstallatie in plaats van een damp-compressorsysteem een warmtebron gebruikt om energie te leveren. Het is een goed alternatief als er geen elektrische of mechanische energie beschikbaar is. Dit systeem heeft bovendien het voordeel dat het geruisloos werkt, wat in ziekenhuizen en bij tandartspraktijken belangrijk kan zijn.

Absorptiekoeling wordt gebruikt bij een niet te sterk wisselende koelbehoefte.

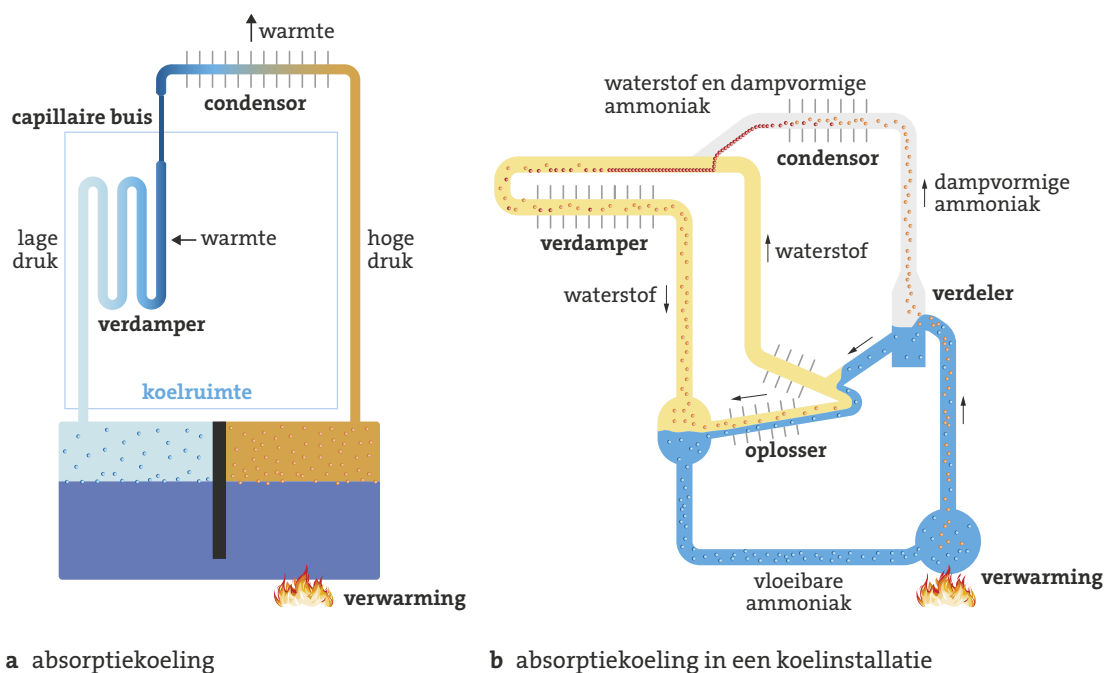
Uiteraard moet thermische energie beschikbaar zijn. Dit systeem wordt toegepast bij proceskoeling, bij de opslag van producten tot ongeveer $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ en bij de koeling van gebouwen.

De voordelen van industriële toepassing van absorptiekoeling zijn de energiebesparing en een reductie van CO_2 -uitstoot.

Bij absorptiekoeling wordt ammoniak gebruikt als koelvloeistof. Voor de absorptievloeistof wordt een mengsel van water en ammoniak gebruikt, dat ammonia wordt genoemd. Ook kan waterstofgas worden gebruikt om het absorptieproces te versnellen.

In plaats van een compressorinstallatie, zoals in een damp-compressiesysteem wordt toegepast, gebruikt het absorptiesysteem een thermische 'compressor' om ammoniakdamp naar een hogere druk te brengen. Op deze manier wordt elektrische energie uitgespaard.

In figuur 12a is schematisch de werking van absorptiekoeling weergegeven. Hierin wordt ammonia met daarin een extra hoeveelheid ammoniak verwarmd, waardoor de ammoniak zal verdampen en een druk opbouwt.



Figuur 12 Principe absorptiekoelsysteem (Bron: Tiekstramedia)

De ammoniakdamp stijgt via een stijgleiding op naar een condensor, waar warmte aan de ammoniakdamp wordt onttrokken. Hierdoor ontstaat weer vloeibare ammoniak die via een capillaire buis naar een verdamer wordt gevoerd. Hier wordt warmte uit de koelruimte onttrokken, waardoor de vloeibare ammoniak weer overgaat in damp met lage druk. Deze ammoniakdamp komt dan weer in contact met de ammonia en wordt weer opgelost, waarna het proces weer opnieuw zal starten.

In figuur 12b is schematisch weergegeven hoe absorptiekoeling in een koelinstallatie wordt toegepast. Hier wordt thermische energie toegevoerd aan een generator of boiler die de ammoniakoplossing verwarmt.

Zuivere ammoniak en een gedeelte water en eventuele waterstof verdampen uit de oplossing en zullen daarbij druk opbouwen. Om het water en de waterstof af te scheiden van de ammoniakdamp is boven de boiler een waterafscheider (verdeler) aangebracht. Hier condenseert de waterstofdamp. Het water wordt vanaf hier naar een **absorber** (oplosser) geleid, die weer in verbinding staat met het absorbervat en de generator. De ammoniakdamp zal na het passeren van de waterafscheider onder druk naar een condensor worden geperst, waar deze damp wordt gekoeld en teruggaat naar de vloeibare fase. Door de druk op de vloeistof wordt deze naar een verdamer geperst, waar met behulp van warmte uit de omgeving of uit een andere bron de vloeibare ammoniak weer wordt omgezet in dampvorm. Hierdoor zal een lage druk ontstaan.

De vloeibare ammoniak zal dan via een warmtewisselaar en een absorber terugstromen naar de generator of boiler, waarna het proces opnieuw begint.

Praktijkvoorbeeld: Absorptiekoeling in campers en caravans

Met absorptiekoeling kunnen temperaturen tot $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ worden bereikt.

Absorptiekoeling is erg geschikt voor koelkasten in caravans en campers, omdat de componenten bestand zijn tegen schudden en trillen tijdens het rijden. Ook hoeft deze koelkast niet waterpas te staan om probleemloos te kunnen functioneren.

Daarnaast is het geluidsniveau minimaal.



Figuur 13 Absorptie koelkast in een camper (Bron: dutch.alibaba.com)

De absorptiekoelinstallatie is een goed alternatief voor een compressorkoelmachine als er:

- geen elektrische of mechanische energie beschikbaar is;
- in een proces veel restwarmte met voldoende hoge temperatuur aanwezig is, zoals afgaswarmte van motoren en gasturbines;
- eisen met betrekking tot geluidsproductie worden gesteld, zoals in medische centra;
- een niet te sterk wisselende koelbehoefte is.

De voordelen van de absorptiekoeling zijn vooral de energiebesparing en de reductie van de CO_2 -uitstoot bij industriële toepassingen. Het nadeel van dit koeltype is de hoge kostprijs bij de inzet voor grote koelvermogens.

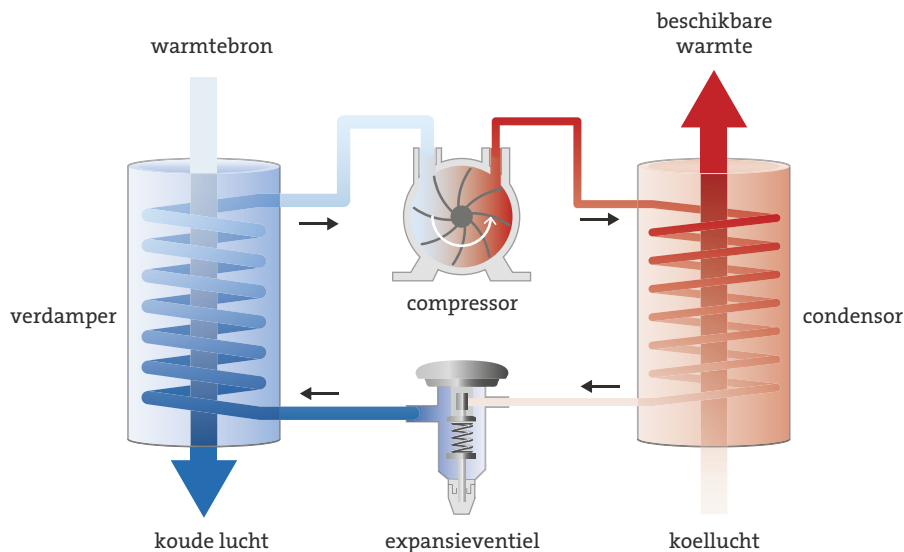
Absorptiekoelmachines waren lang op hun retour ten opzichte van compressiekoelmachines. Milieuproblemen en nieuwe ontwikkelingen, zoals meertrapskoeling, ontwerpoptimalisatie, total energy systems met daarin opgenomen koelmachines, hebben de absorptiekoelmachines weer volop in de belangstelling gebracht.

Warmtepomp

In het voorgaande is uitsluitend gekeken naar de koelfunctie van koelinstallaties. Er is echter ook een condensor die warmte aan de damp onttrekt en als bijproduct afvoert. Het is dus ook mogelijk om met een koelinstallatie dingen te verwarmen.

In principe is de werking van een warmtepomp identiek aan die van een koelinstallatie. Bij de koelinstallatie is het belangrijk dat de warmte die nodig is voor het verdampen van het koelmiddel wordt onttrokken aan een te koelen ruimte of medium.

De warmte die in de condensor aan het koelmiddel wordt onttrokken, wordt meestal overgedragen aan de ruimte waar de koelinstallatie staat of naar buiten afgevoerd. Bij een warmtepomp is de werking zo dat de thermische energie uit de condensor wordt gebruikt voor bijvoorbeeld een verwarmingssysteem van een gebouw.



Figuur 14 Principe van een warmtepomp (Bron: Tiekstramedia)

De kleine, eenvoudige warmtepompen worden van warmte voorzien door warmte te onttrekken aan de buiten- of ventilatielucht. Naast de lage kostprijs is een voordeel dat de gehele installatie als een compacte unit buiten kan staan. Nadelen zijn de rendementsbeïnvloeding door de sterk wisselende buitentemperaturen en het lawaai.



Figuur 15 Warmtepomp met luchtbron (Bron: Tiekstramedia)

TouchTech – Techniek die je raakt

Dit boek is onderdeel van TouchTech, een complete modulaire methode voor MBO Techniek niveau 3 en 4. Dit standaardboek is opgebouwd uit een aantal opeenvolgende leereenheden van één vakgebied. TouchTech is zowel in boekvorm, als boek OpMaat en digitaal beschikbaar. TouchTech heeft een breed aanbod van circa 400 leereenheden voor de vele vakgebieden in de elektrotechniek, werktuigkunde en mechatronica.

Het boek Werktuigkundige installaties 1 bevat tien leereenheden over belangrijke onderwerpen uit het gelijknamige vakgebied. Deze leereenheden geven de theoretische basis voor verwarmings- en koelinstallaties, verbrandingsmotoren en (gas)turbines, drukvaten, leidingen en diverse soorten pompen.

Learning by doing

De serie TouchTech helpt de verbinding te maken tussen theorie en praktijk. Elke leereenheid start met kernvragen over het leerdoel, zodat je weet wat je gaat leren. Binnen elke leereenheid wordt beknopte theorie gekoppeld aan praktijkvoorbeelden. Na de theorie volgen korte verwerkings- en toepassingsopdrachten om de lesstof eigen te maken en de relatie met de praktijk te leggen.

Anytime/anywhere

Met de nieuwe serie Techniek is de benodigde theorie anytime/anywhere beschikbaar. De theorie is beschikbaar in leereenheden op onderwerp, zodat je eenvoudig kunt beschikken over alleen de theorie die je op dat moment nodig hebt tijdens lessen, praktijkopdrachten en projecten. De leereenheden/onderwerpen zijn snel op te zoeken voor docent én student.

Bewezen didactiek

De didactische opbouw van elke leereenheid is gebaseerd op het zes-leerfasen model: na een introductie vanuit de praktijk volgt de theorie, verduidelijkt met praktijkvoorbeelden. In het tweede deel gaat de student aan de slag met verwerkingsvragen, toepassingsvragen en tenslotte de evaluatie en reflectie.

Diversiteit aan leermiddelen

TouchTech is leverbaar op papier of digitaal in een volgorde die jij wilt. De op zichzelf staande leereenheden zijn samen te stellen tot maatwerkreaders, maar ook als standaardboek (leerwerkboek) met vaste volgorde per vakgebied te bestellen. Digitaal is de methode als licentie beschikbaar voor scholen, waarbij de docent zelf een curriculum kan samenstellen uit het brede aanbod van leereenheden.

TouchTech bevat leereenheden die geschikt zijn voor de kwalificaties:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| - Middenkader Engineering | - Human Technology |
| - Elektrotechnische installaties | - Werktuigkundige installaties, enz. |
| - Mechatronica | |

Auteurs:

A. Drost
H. Hebels
J.H. Timpers

Eindredactie:

A. Drost
J. Gerrits
J. Ouwehand
G. Siemens



9 789006 701470