

KLIMAATBEHEERSING 1

WARMTECHNIKEN

Ontwerp, aanleg, onderhoud en beheer

Fred de Lede
Hans Wittens †
Rob van den Berge
Jan Koopmans



WOORD VOORAF

Door de grote zorg en aandacht voor het ontwerp en de detaillering van een gebouw (en dus voor het bouwfysische gedrag) wordt de behoefte aan warmte en koude tot een minimum teruggebracht. Wel blijven in de meeste situaties klimaatinstallaties nodig om te voldoen aan behaaglijkheidseisen. Bij een minimale warmte- of koudevraag van een gebouw bieden eenvoudige klimaatinstallaties soms al uitkomst. Meestal gaat dit samen met een laag energie- en grondstoffenverbruik. Een behaaglijk gebouw is niet per definitie een gebouw vol complexe installaties.

Klimaatinstallaties hebben als taak de berekende tekorten of overschotten aan warmte, vocht en ventilatie te compenseren, tot het niveau waarbij de behaaglijkheid in een gebouw gedurende de gebruikperiode wordt gegarandeerd. In een vroeg stadium van het ontwerp kan met behulp van bouwfysische berekeningen een voorspelling worden gedaan over bijvoorbeeld de te verwachten warmtevraag van een gebouw (transmissieberekening), de optreden van de binnentemperaturen, de ventilatiebehoefte, de vochtuithouding, de akoestiek, de daglichttoetreding, enzovoort. Als ontwerpers onvoldoende zorg besteden aan het ontwerp en de detaillering van een gebouw (en dus ook aan de fysische vertaling), dan zal met klimaatinstallaties veel warmte en/of koude, vocht en/of droogte en ventilatielucht moeten worden aangevuld om aan behaaglijkheidseisen te voldoen. Dit heeft weer tot gevolg dat het energie- en grondstoffenverbruik veel hoger is dan nodig.

De laatste decennia besteedt men steeds meer aandacht aan het terugdringen van energieverbruik voor het verwarmen of koelen van gebouwen. Dit gebeurt enerzijds voor een kostenbesparing op lange termijn, anderzijds om het verbruik van fossiele brandstof en de uitstoot van CO₂ terug te dringen. Fossiele brandstof is schaars, maar uiteraard geldt dit voor de meeste zo niet alle grondstoffen.

Energiebesparing is een belangrijk thema in de hedendaagse bouw, binnen een breder kader van duurzaam bouwen. Denk maar aan de vele toetsingsmodellen die momenteel gebruikt worden, zoals Cradle-to-cradle, BREEAM, Greencalc en GPR. Wettelijk geldt in Nederland bij nieuwbouw de Energieprestatienorm, waarin het energiegebruik van gebouwen wordt begrensd. Deze norm is weer verplicht binnen Europees verband.

Technische installaties kunnen een grote invloed hebben op de bouwkundige planvorming en de architectuur van een gebouw. De architect moet om deze reden al in een vroeg stadium de consequenties overzien van de beslissingen die hij gedurende het ontwerpproces neemt. Klimaatinstallaties hebben binnen het ontwerpproces van gebouwen een zeer sterke samenwerking met enerzijds het gebouwon ontwerp (de integratie) en anderzijds de bouwfysica (de rekentechnieken).

Dit praktijkboek hebben wij geschreven om de theorie van warmtetechnieken te verduidelijken en de toepassingen van warmtetechnieken praktisch uit te leggen. De rode draad loopt van de theoretische verbrandingstechniek naar het praktische beheer van installaties. Verder schenken we de nodige aandacht aan wet- en regelgeving. *Warmtetechnieken* is fraai vormgegeven door uitgebreid kleurgebruik, overzichtelijke tabellen en functionele tekeningen. Wij hopen dat dit boek een onmisbaar naslagwerk wordt voor iedereen die in de praktijk met warmtetechnieken te maken heeft.

Tijdens de voorbereidingen van de 1e druk is in januari 2014 onze medeauteur Hans Wittens overleden. Hans heeft niet meer kunnen meemaken dat het eerste exemplaar gereed was. Wij willen Hans bedanken voor zijn inbreng en gedenken hem als een goede auteur en gedreven docent.

Onze speciale dank gaat verder uit naar Irene van Veelen voor haar redactionele bijdragen aan de hoofdstukken.

September 2019

Fred de Lede
Hans Wittens †
Rob van den Berge
Jan Koopmans

INHOUD

	INLEIDING	31
DEEL I	WARMTEOPWEKKING	35
Hoofdstuk 1	ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSTECHNIEKEN	37
	1.1 GESCHIEDENIS VAN VERWARMINGSSYSTEMEN	38
	1.2 HUIDIGE GENERATIE VERWARMINGSSYSTEMEN	40
	1.2.1 HR-ketels	40
	1.2.2 Warmtekrachtkoppeling en HRe-ketels	41
	1.2.3 Warmtepompen en bodemenergie	41
	1.2.4 Zonne-energie	42
	1.3 DUURZAME ONTWIKKELING VAN VERWARMINGSSYSTEMEN	43
	1.3.1 Klimaatneutrale verwarming	43
	1.3.2 Passiefhuis	44
	1.3.3 Energieprestatie-eisen	44
	1.4 GEOTHERMISCHE ENERGIE: BODEM- EN AARDWARMTE	45
	1.5 BIO-ENERGIE ALS ENERGIEBRON	46
	1.6 TRIAS ENERGETICA	47
Hoofdstuk 2	GASGESTOOKTE CV-KETELS	49
	2.1 CV-KETELS INDELEN NAAR EIGENSCHAPPEN	50
	2.1.1 Medium en temperatuurbereik	50
	2.1.2 Risico-indeling	50
	2.1.3 Stookwijze	50
	2.1.4 Open of gesloten toestellen	51
	2.1.5 Energetische prestaties	51
	2.2 COMPACTE CV-KETELS	51
	2.2.1 Eigenschappen van gaswandketels tot ongeveer 100 kW	52
	2.2.2 Combi-cv-ketels	52
	2.2.3 Gaskeur	54
	2.2.3.1 Onderdelen	55
	2.2.3.2 Werking	57
	2.2.4 Cascadeopstelling	58
	2.3 MIDDELGROTE CV-KETELS	59
	2.3.1 Oudere generatie staande ketels	59
	2.3.2 Huidige generatie staande ketels	59
	2.4 GROTE OVERDRUK-CV-KETELS	62
	2.5 HEETWATER- EN STOOMKETELS	63
	2.5.1 Heetwaterketels	63
	2.5.2 Stoomketels	64
	2.6 ROOKGASAFVOERSYSTEMEN	65
	2.6.1 Functie van rookgasafvoeren	65
	2.6.2 Materialen van rookgasafvoeren	65

	2.6.3	Uitvoering van rookgasafvoeren	68
	2.6.3.1	Inwendige diameter	68
	2.6.3.2	Wanddikte van vrijstaande schoorstenen	68
	2.6.4	Dakdoorvoeren	69
	2.7	JAARBELASTINGDUURKROMME	70
	2.7.1	Opbouw van jaarbelastingduurkromme	70
	2.7.2	Selectie van apparatuur op basis van jaarbelastingduurkromme	71
Hoofdstuk 3		WARMTEKRACHTKOPPELING EN GASABSORPTIE	73
	3.1	WERKING VAN WARMTEKRACHTKOPPELING	74
	3.1.1	Rendement en exploitatiekosten	76
	3.1.2	Haalbaarheid van wkk	77
	3.2	UITVOERINGSVORMEN VAN WKK-OPWEKKER	78
	3.2.1	Wkk met cilindergasmotor	79
	3.2.2	HRe-ketel en Stirlingmotor	80
	3.2.3	Gasturbine-installatie	83
	3.2.4	Mini-wkk	83
	3.3	GASABSORPTIEWARMTEPOMP	83
Hoofdstuk 4		WARMTEPOMPEN EN WARMTE-KOUDEOPSLAGSYSTEMEN	87
	4.1	WERKING VAN WARMTEPOMPEN	88
	4.1.1	Elektrische compressiewarmtepompen	88
	4.1.2	Energie versus exergie	89
	4.2	CARNOTRENDAMENT, COP, SPF EN PER	89
	4.2.1	Carnotrendement	89
	4.2.2	Coefficient of performance (COP)	90
	4.2.3	Seasonal performance factor (SPF)	90
	4.2.4	Vergelijking van warmte van warmtepomp en HR-ketel (PER)	90
	4.2.4.1	Financiële vergelijking	90
	4.2.4.2	Vergelijking qua fossiele energie: primary energy ratio (PER)	91
	4.3	UITVOERINGSVORMEN VAN WARMTEPOMPEN	91
	4.3.1	Type bron	92
	4.3.2	Warmteafgiftesystemen bij warmtepompen	93
	4.4	WARMTE-KOUDEOPSLAGSYSTEMEN	93
	4.4.1	Open en gesloten systemen	93
	4.4.1.1	Werking van open bodemenergiesystemen	93
	4.4.1.2	Werking van gesloten bodemenergiesystemen	95
	4.4.2	Aanleg van bodemopslagsystemen	96
Hoofdstuk 5		ZONNE-ENERGIE	99
	5.1	WERKING VAN ZONNECOLLECTOREN	100
	5.1.1	Vlakkeplaatcollectoren	100
	5.1.2	Vacuümbuiscollectoren	101
	5.1.3	Heat-pipes	102
	5.2	RENDEMENT VAN ZONNECOLLECTOREN	102

Hoofdstuk 6

5.3	DRIE VEELVOORKOMENDE ZONNEBOILERSYSTEMEN	103
5.3.1	Indirecte naverwarming van cv-ketel	103
5.3.2	Directe naverwarming van cv-combiketel	104
5.3.3	Warmtapwaterspiraal	104
5.4	EISEN AAN TECHNISCH ONTWERP EN UITVOERING VAN ZONNEBOILERSYSTEMEN	105
5.4.1	Zonnecollector plaatsen	105
5.4.2	Dimensionering	105
5.4.3	Montage	106
5.4.4	Materialen	106
	VERBRANDINGSTECHNIEKEN	109
6.1	BRANDSTOFFEN	110
6.2	EIGENSCHAPPEN VAN AARDGAS	111
6.2.1	Verbrandings- en stookwaarden	112
6.2.1.1	Verbrandingswaarde of calorische bovenwaarde	112
6.2.1.2	Stookwaarde of calorische onderwaarde	112
6.2.2	Vlamtemperatuur	113
6.2.3	Wobbe-index	114
6.2.4	Ruikbaarheid	115
6.2.5	Explosiegrenzen	115
6.2.6	Verbrandingssnelheid	115
6.3	VERBRANDING VAN AARDGAS	115
6.3.1	Reactievergelijkingen	116
6.3.2	Verbrandingslucht	117
6.3.3	Stoichiometrische verbranding en luchtvermaat	117
6.3.4	Luchtbehoefte	118
6.3.5	Verbrandingsgasvolume	119
6.3.6	Luchtvermaat meten	119
6.3.6.1	Luchtvermaat meten op basis van CO ₂ -gehalte in verbrandingsgassen	119
6.3.6.2	Luchtvermaat meten op basis van O ₂ -gehalte in verbrandingsgassen	121
6.3.7	Waterdauwpunt van verbrandingsgassen	121
6.3.8	Verband tussen O ₂ - en CO ₂ -percentage	122
6.3.9	Bunte-diagram	123
6.3.10	Oorzaken en gevolgen van onvolledige verbranding	123
6.3.11	Koolmonoxidevorming	124
6.3.12	Roetvorming	125
6.3.13	Vorming en voorkomen van stikstofoxiden (NO _x)	125
6.3.13.1	Hoe ontstaat NO _x ?	125
6.3.13.2	Hoe NO _x voorkomen of beperken?	126
6.4	EIGENSCHAPPEN VAN VLOEIBARE BRANDSTOFFEN	129
6.4.1	Viscositeit van vloeibare brandstoffen	129
6.4.2	Dichtheid van olie	130
6.4.3	Calorische waarden	130
6.4.4	Zuurdauwpunt	131
6.4.5	Verontreinigingen in vloeibare brandstoffen	131
6.4.6	Vlampunt	132
6.5	VERBRANDING VAN VLOEIBARE BRANDSTOFFEN	132
6.5.1	Reactievergelijkingen voor olie	132
6.5.2	Luchtbehoefte en verbrandingsgasvolume	133
6.5.3	Maximaal CO ₂ -gehalte in verbrandingsgassen	133
6.5.4	Waterdauwpunt	134
6.5.5	Zuurdauwpunt	134

DEEL II

Hoofdstuk 7

Hoofdstuk 8

Hoofdstuk 9

6.6	RENDEMENT EN CONDENSATIEWARMTE	134
6.6.1	Verwarmingstechnische rendementsbegrippen	134
6.6.2	Indirect rendement en condensatiewarmte	135
6.6.3	Warmtewinst door condensatie	137
6.6.4	Gebruiksrendement	138
	WARMTEDISTRIBUTIE	139
	DISTRIBUTIESYSTEMEN	141
7.1	VERWARMINGSSYSTEEM KIEZEN	142
7.2	WARMTEDRAGENDE MEDIA	142
7.3	CENTRALE WARMWATERVERWARMINGSSYSTEMEN	143
7.3.1	Verdeler/verzamelaar	144
7.3.1.1	Doorlaat van verdeler bepalen	144
7.3.1.2	Twee soorten verdelers/verzamelaars	145
7.3.2	Leidingen van centraleverwarmingssystemen	145
7.3.2.1	Ketelaansluitleidingen	145
7.3.2.2	Hoofdverdeel- en verzamelleidingen	146
7.3.2.3	Aansluitleidingen: een- en tweepijpssystemen	147
	CV-LEIDINGEN DIMENSIONEREN	149
8.1	BESCHIKBARE BEREKENINGSMETHODEN	150
8.2	ONDERDELEN VAN DRUKVERLIESBEREKENING	151
8.2.1	Drukverlies in rechte leidingdelen	151
8.2.2	Drukverlies in hulpstukken	153
8.2.3	Drukverlies in appendages	156
8.3	TOTALE DRUKVERLIESBEREKENING	156
	MATERIALEN VOOR VERWARMINGSINSTALLATIES	161
9.1	METALEN LEIDINGEN	162
9.1.1	Gelaste stalen buizen: dikwandige draadpijpen	162
9.1.2	Naadloze buizen: vlampijpen	163
9.1.3	Dunwandige stalen buizen: precisiebuizen	163
9.1.4	Koperen buizen	163
9.2	KUNSTSTOFLEIDINGEN	164
9.2.1	PE/aluminium buizen	164
9.2.2	PB buizen	165
9.2.3	PP buizen	166
9.2.4	Kunststofleidingen afpersen	166
9.3	ISOLATIE VAN CV-LEIDINGEN	166
9.3.1	Minerale wol	166
9.3.2	Schuimrubber	167
9.3.3	Kunststoffolie en aluminium beplating	167
9.4	TERREINLEIDINGEN	168
9.5	LEIDINGEN BEVESTIGEN EN OPHANGEN	168

Hoofdstuk 10	HYDRAULISCHE SCHAKELINGEN	171
	10.1 HYDRAULISCHE SCHEMA'S EN ACTIEVE EN PASSIEVE MODULEN	172
	10.2 CASCADESCHAKELINGEN	174
	10.3 KLEPKARAKTERISTIEKEN EN KLEPVORMEN	176
	10.3.1 Klepkarakteristieken	176
	10.3.2 Drie klepbegrippen	177
	10.3.3 Tweewegkleppen	178
	10.3.4 Driewegkleppen	179
	10.3.5 Vierwegkleppen	181
	10.3.6 Smoorkleppen	181
	10.3.7 Meng- en verdeelregelingen	182
	10.3.8 Doorwarming en warmtesloten	184
Hoofdstuk 11	CIRCULATIEPOMPEN	185
	11.1 CENTRIFUGAALPOMPEN EN HUN KARAKTERISTIEKEN	186
	11.1.1 Constructie van centrifugaalpomp	187
	11.1.2 Pompkarakteristiek, volumestroom en drukverhoging	188
	11.1.3 Effectief pompvermogen berekenen	189
	11.1.4 Invloeden op pompkarakteristiek	189
	11.1.5 Installatiekarakteristiek	190
	11.1.6 Rekenregels voor pompen	191
	11.1.7 Pomprendement	192
	11.1.8 Bedrijfspunt	194
	11.1.9 Opvoerhoogte	195
	11.1.10 Cavitatie en NPSH	195
	11.2 POMPEN MONTEREN	196
	11.2.1 Inbouw- of inlinepompen monteren	196
	11.2.2 Fundatiepompen monteren	197
	11.3 TOERENREGELING	198
	11.4 ERP-RICHTLIJN VOOR CIRCULATIEPOMPEN IN EUROPESE UNIE	200
Hoofdstuk 12	EXPANSIEVATEN INCLUSIEF EXPANSIEAUTOMATEN	203
	12.1 TYPEN EXPANSIEVATEN	204
	12.1.1 Expansievaten met scheidingsmembraan	204
	12.1.2 Expansieautomaten	204
	12.2 INHOUD VAN EXPANSIEVATEN BEREKENEN	208
	12.2.1 Volumevermeerdering	208
	12.2.2 Drukfactor	208
Hoofdstuk 13	BEVEILIGINGEN	213
	13.1 DRUKBEVEILIGINGEN	214
	13.2 TEMPERATUURBEVEILIGINGEN	219
	13.3 WATERGEBREKBEVEILIGINGEN	221

Hoofdstuk 14

13.4	VLAMBEVEILIGINGEN	222
13.4.1	Thermo-elektrische beveiliging	222
13.4.2	Ionisatie	222
13.4.3	Stralingsdetectie	223

REGELINGEN EN GEBOUWBEHEERSYSTEMEN	225
---	-----

14.1	THEORIE VAN REGELKRING	226
14.1.1	Opbouw van regelkring	226
14.1.2	Regelbereik en overdrachtsfactor	228
14.1.3	Continue regelaars	228
14.1.3.1	P-regelaars	228
14.1.3.2	PI-regelaars	230
14.1.3.3	PID-regelaars	230
14.1.4	Discontinue regelaars	230
14.1.4.1	Tweepuntsregelaars	232
14.1.4.2	Driepuntsregelaars	234
14.2	PRAKTISCHE TOEPASSINGEN VAN REGELINGEN	234
14.2.1	Vermogensregelingen	234
14.2.2	Temperatuurregelingen	234
14.2.2.1	Aan/uit-regeling	235
14.2.2.2	Hoog/laag-regeling	235
14.2.2.3	Modulerende regeling	236
14.2.3	Weersafhankelijke regelingen	236
14.2.3.1	Opbouw van weersafhankelijke regelingen	237
14.2.3.2	Basis van weersafhankelijke regelingen	237
14.2.4	Frequentieregelingen	239
14.2.5	Regelingen voor stoominstallaties	240
14.2.5.1	Vermogensregelingen	240
14.2.5.2	Drukregelingen	240
14.2.5.3	Niveauregelingen	240
14.3	GEBOUWBEHEERSYSTEMEN	242
14.3.1	Regelkast	242
14.3.2	Controller	242
14.3.3	Bedieningscomputer	243
14.3.4	Energiemanagementprogramma	244

DEEL III

WARMTEAFGIFTE	245
----------------------	-----

Hoofdstuk 15

THERMISCH COMFORT EN BEHAAGLIJKHEID	247
--	-----

15.1	FACTOREN DIE BEHAAGLIJKHEIDGEOVOEL BEÏNVLOEDEN	248
15.1.1	Thermische behaaglijkheid, warmtehuishouding en metabolisme	249
15.1.2	Warmte weerstand van kleding	250
15.2	THERMISCHE BEHAAGLIJKHEIDCRITERIA	250
15.2.1	Ruimteluchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid	251
15.2.2	Ruimteluchttemperatuur en gemiddelde stralingstemperatuur	251
15.2.3	Ruimteluchttemperatuur en lichtsnelheid	252
15.2.4	Luchttemperatuurgradiënt	253
15.2.5	Luchtsamenstelling	253
15.2.6	Ventilatiebehoefte	254

	15.3 BEHAAGLIJKHEIDMODELLEN	255
	15.3.1 Behaaglijkheidmodel van Fanger	255
	15.3.1.1 Voorspeld gemiddeld waardeoordeel PMV en percentage ontevreden PPD	256
	15.3.1.2 Eisen voor kantoren	256
	15.3.2 Adaptief thermisch comfortmodel	257
	15.3.2.1 Grenswaarden voor binnentemperatuur	257
	15.3.2.2 Toepasbaarheid van ATG-model	258
	15.4 BEHAAGLIJKHEIDEISEN AAN VERWARMINGSINSTALLATIES	258
	15.4.1 Soorten warmteafgifte	258
	15.4.1.1 Stralingswarmte	259
	15.4.1.2 Convectieve warmte	259
	15.4.2 Soorten warmteafgiftesystemen	259
	15.4.2.1 Radiatorverwarming	260
	15.4.2.2 Convectorverwarming	260
	15.4.2.3 Vloer- en wandverwarming	260
	15.4.2.4 Plafondverwarming	260
	15.4.3 Eisen aan verwarmingselementen	261
	15.4.4 Temperatuur van warmteafgiftesysteem	262
Hoofdstuk 16	WARMTEVERLIESBEREKENING	263
	16.1 BASIS VAN WARMTEVERLIESBEREKENING	264
	16.1.1 Warmteverlies door uitwendige scheidingsconstructies	264
	16.1.2 Warmteverlies door ventilatie en infiltratie	265
	16.1.3 Aanwarmtoeslag	266
	16.2 GENORMEERDE SCHILTRANSMISSIEBEREKENING	266
	16.2.1 Schiltransmissiesymbolen	266
	16.2.2 Vraagspecificatie uit ISSO-publicatie 51	268
	16.2.3 Overige factoren bij schiltransmissieberekening	273
	16.3 SCHILTRANSMISSIEBEREKENING VAN HOEKWONING	273
	16.3.1 Warmteverlies door transmissie berekenen	274
	16.3.2 Warmteverlies door infiltratie van buitenlucht berekenen	275
	16.3.3 Warmteverlies door ventilatie berekenen	275
	16.3.4 Toeslag voor bedrijfsbeperking berekenen	275
	16.3.5 Totaal warmteverlies berekenen	276
	16.3.6 Overige toepassingen van schiltransmissieberekening	276
	16.3.7 Verwarmingsvermogen berekenen	276
Hoofdstuk 17	RADIATOREN EN BUISELEMENTEN	277
	17.1 GLADDE BUIZEN EN RIBBENBUIZEN	278
	17.1.1 Gladde buizen	278
	17.1.2 Ribbenbuizen	280
	17.2 TYPEN RADIATOREN	281
	17.2.1 Paneelradiatoren en -convectoren	281
	17.2.2 Leden- of kolomradiatoren	282
	17.3 JUISTE RADIATOR KIEZEN: WARMTEAFGIFTE BEPALEN	282
	17.3.1 Warmteverlies onder ontwerpcondities	283
	17.3.2 Correctiefactoren voor niet-genormeerde opstelling	284
	17.3.3 Voorbeelden: radiatorselectie bij afwijkende aanvoer-, retour- en ruimte-temperaturen	287

Hoofdstuk 18

17.4	RADIATOREN AANSLUITEN EN ONDERHOUDEN	290
17.4.1	Soorten aansluitingen	290
17.4.2	Paneelradiatoren: uitvoering, bevestiging en onderhoud	292
17.4.3	Ledenradiatoren: uitvoering, bevestiging en toepassing	293
17.4.4	Radiatoren opstellen	294
17.4.5	Radiatoren inbouwen	294

CONVECTOREN	297
--------------------	-----

18.1	CONVECTOREN: VRIJSTAAND OF INGEBOUWD	298
18.1.1	Convectorschacht en thermische trek	300
18.1.2	Afmetingen van convectoren	300
18.1.3	Voor- en nadelen van convectoren ten opzichte van radiatoren	300
18.2	WARMTEAFGIFTE VAN CONVECTOREN	300
18.2.1	(Ontwerp-)ruimteluchttemperatuur	300
18.2.2	Selectievermogen, correctiefactoren en warmteafgifte	301
18.2.2.1	Selectievermogen bepalen	301
18.2.2.2	Correctiefactor c_w	302
18.2.2.3	Correctiefactor c_h	303
18.2.2.4	Correctiefactor c_o	303
18.2.2.5	Warmteafgifte van convectoren regelen	304
18.3	CONVECTOREN AANSLUITEN EN ONDERHOUDEN	304
18.3.1	Convectoren boven vloer opstellen	304
18.3.2	Convectoren voor voerinbouw in convectorputten	305
18.4	VENTILATORCONVECTOREN	306

Hoofdstuk 19

VLOER- EN WANDVERWARMING	309
---------------------------------	-----

19.1	KENMERKEN VAN VLOERVERWARMING	310
19.1.1	Voor- en nadelen van vloerverwarming	310
19.1.2	Water- en vloeroppervlaktetemperatuur	311
19.2	WARMTEAFGIFTE VAN VLOERVERWARMING BEREKENEN	312
19.2.1	Gewenste warmteafgifte bereiken	314
19.2.2	Ruimtetemperatuur regelen	315
19.3	INSTALLATIEMATERIALEN	317
19.3.1	Leidingmaterialen	317
19.3.2	Regelunits	319
19.3.3	Legpatronen	320
19.3.4	Aantal groepen bepalen	321
19.4	BOUWKUNDIGE VLOEROPBOUW	321
19.4.1	Natsystemen	321
19.4.2	Droogsystemen	323
19.4.3	Keuze van vloerafwerking: warmteweerstand	325
19.5	VOORBEELDBEREKENING VAN VLOERVERWARMINGSINSTALLATIE	326
19.6	TOEPASSINGEN VAN VLOERVERWARMING	330
19.7	WANDVERWARMING	332
19.7.1	Warmteafgifte bij wandverwarming	333
19.7.2	Wandopbouwsystemen	334
19.7.3	Wandinbouwsystemen	334

DEEL IV	OPLEVERING, ONDERHOUD EN BEHEER	337
Hoofdstuk 20	GARANTIE, OPLEVERING, BEDIENING EN ONDERHOUD	339
	20.1 OPLEVERING EN GARANTIE	340
	20.1.1 Oplevering	340
	20.1.2 Garantie	342
	20.2 ONDERHOUDS- EN BEDIENINGSVOORSCHRIFTEN	343
	20.3 ONDERHOUDSCONTRACTEN	344
	20.3.1 Rijksgebouwendienst	345
	20.3.2 Meerjarenonderhoudsbegroting	346
	20.3.3 Prestatiecontracten	347
	20.3.4 Eerste opname	352
	20.3.5 Frequentie van planmatig onderhoud	352
Hoofdstuk 21	EISEN AAN STOOKINSTALLATIES EN -RUIMTEN	355
	21.1 BOUWBESLUIT 2012	356
	21.2 WET MILIEUBEHEER: ACTIVITEITENBESLUIT	357
	21.3 SCIOS: SCOPES EN INSPECTIE	358
	21.4 NEN 3028: EISEN VOOR VERBRANDINGSINSTALLATIES	359
	21.4.1 Eisen aan stookruimte	359
	21.4.2 Overige eisen	363
	21.5 NEN 1078: VOORZIENING VOOR GAS IN NIEUWBOUW	365
	21.6 NEN 8078: VOORZIENING VOOR GAS IN BESTAANDE BOUW	365
	LITERATUUR	367
	BIJLAGEN	369
Bijlage A	LIJST VAN SYMBOLEN	371
	A.1 GROOTHEDEN EN EENHEDEN	371
	A.2 TEKENSYMBOLLEN	373
Bijlage B	BEGRIPPENLIJST	377
	B.1 MASSA EN HOEVEELHEID	377
	B.1.1 Atomen	377
	B.1.2 Moleculen	377
	B.2 VOLUME	378
	B.3 TEMPERATUUR	378
	B.4 WARMTE	379
	B.4.1 Vermogen	379
	B.4.2 Soortelijke warmte	380
	B.4.3 Warmteoverdrachtsvormen	380

INHOUD

B.5	ENERGIE	381
B.5.1	Potentiële energie	381
B.5.2	Kinetische energie	381
B.6	DRUK EN DICHTHEID	382
B.6.1	Druk	382
B.6.2	Dichtheid	382
B.7	VLOEISTOFFEN, GASSEN EN VOCHTIGE LUCHT	383
B.8	GASWETTEN	384
B.8.1	Wet van Boyle	344
B.8.2	Wet van Boyle-Gay Lussac	344
B.9	UITZETTING DOOR WARMTE	385
B.9.1	Lineaire uitzettingscoëfficiënt	385
B.9.2	Kubieke uitzettingscoëfficiënt	385
B.9.3	Verticale temperatuurgradiënt	385
	FORMULIER VOOR TRANSMISSIEBEREKENINGEN	387
	REGISTER	389

Bijlage C

INLEIDING

Warmtetechnieken behandelt verwarmingsinstallaties in de gebouwde omgeving. Er zijn vier delen, die elk een thema behandelen. Het eerste deel gaat over warmteopwekking. We beginnen met wat geschiedenis van de verwarmingstechnieken. Diverse warmteopwekkers zoals gasgestookte ketels en warmtepompen komen daarbij aan bod. Ook gaan we bijvoorbeeld in op verbrandingstechnieken. Vervolgens behandelen we in het tweede deel warmtedistributiesystemen, inclusief leidingsystemen, expansievaten, pompen en regelingen. Voordat we in het derde deel ingaan op warmteafgiftesystemen zoals radiatoren, convectoren en vloeren wandverwarming, staan we stil bij de behaaglijkheidcriteria en het maken van een warmteverliesberekening. Het vierde deel betreft de oplevering en het beheer van de installatie plus de huidige wet- en regelgeving voor stookruimten.

DEEL I – WARMTEOPWEKKING

Hoofdstuk 1 – Ontwikkeling van verwarmingstechnieken

In dit hoofdstuk behandelen we chronologisch de diverse systemen voor gebouwverwarming. De Romeinen zijn de grondleggers van het huidige cv-systeem. Door het ruim beschikbaar zijn van aardgas zijn er veel gasgestookte ketels, steeds meer in een condenserende uitvoering. Vanwege de uitputting van de fossiele brandstoffen en de toenemende verduurzaming zullen we steeds meer zonne-energie en bodemwarmte in combinatie met warmtepompen en geothermie inzetten.

Hoofdstuk 2 – Gasgestookte cv-ketels

In dit hoofdstuk beschrijven we uitgebreid de diverse uitvoeringen van gasgestookte cv-ketels. We gaan in op de atmosferische ketel, de overdrukketel en specifiek de compacte HR-ketelunit zoals deze op vele locaties wordt toegepast. Ook de diverse rookgasafvoersystemen komen aan bod.

Hoofdstuk 3 – Warmtekrachtkoppeling en gasabsorptie

In dit hoofdstuk hebben we het over duurzame en energiebesparende warmteopwekking. We gaan we in op de diverse uitvoeringsvormen van wkk-installaties, inclusief de HRe-ketel, en op gasabsorptiewarmtepompen. Daarbij geven we rekenvoorbeelden van energiebesparing versus investeringskosten.

Hoofdstuk 4 – Warmtepompen en warmte-koudeopslagsystemen

In dit hoofdstuk kijken we naar warmtepompen en wko-systemen. Via warmtepompen kunnen we via dezelfde installatie zowel warmte als koude opwekken, met 'gratis' energie. Deze energie onttrekken we aan de buitenlucht, bodem/grondwater of oppervlaktewater. Omdat deze energie laagwaardig is, waarderen we deze met behulp van een warmtepomp, meestal in de uitvoering van een koelmachine, op.

Hoofdstuk 5 – Zonne-energie

In dit hoofdstuk behandelen we zonnecollectoren. Deze kunnen we gebruiken voor de bereiding van tapwater en voor gebouwverwarming. In beide gevallen is complementaire verwarming door een ketelinstallatie of warmtepomp noodzakelijk, al is het maar om de watertemperatuur te regelen. We omschrijven de diverse systemen en hun aanleg en dimensionering.

Hoofdstuk 6 – Verbrandingstechnieken

In dit hoofdstuk leggen we zowel voor de gas- als oliebranderinstallatie uit hoe het ontsteken en ontbranden van een brandstof/lucht-mengsel plaatsvindt. Daarbij komen de chemische elementen die in lucht, gas/olie en rookgassen voorkomen aan bod. Ook hebben we het over de vorming en beheersing van NO_x.

DEEL II – WARMTE-DISTRIBUTIE**Hoofdstuk 7 – Distributiesystemen**

In dit hoofdstuk beschrijven we leidingsystemen, overdrachtsmedia, verdelers en aansluitmogelijkheden.

Hoofdstuk 8 – Cv-leidingen dimensioneren

In dit hoofdstuk behandelen we het berekenen van leidingweerstand en de eenmalige weerstanden door bochten, knieën, enzovoort. Daarbij gebruiken we diverse relevante tabellen.

Hoofdstuk 9 – Materialen voor verwarmingsinstallaties

In dit hoofdstuk gaan we in op materialen die we in de installatietechniek toepassen. De laatste decennia gebruiken we steeds meer kunststof. Door de betere isolatiewaarden worden lagere systeemtemperaturen mogelijk en wordt kunststof steeds interessanter. Diverse bevestigingsmaterialen komen beknopt aan bod.

Hoofdstuk 10 – Hydraulische schakelingen

In dit hoofdstuk bekijken we de regel- en aansluitmogelijkheden van installaties. Ook bespreken we het toepassen van twee- en driewegkleppen en het menginjectiesysteem.

Hoofdstuk 11 – Circulatiepompen

In dit hoofdstuk behandelen we de diverse pomptypen met de regelmogelijkheden in een installatie. Energieverbruik wordt steeds belangrijker. De plaatsing en regeling van pompen hebben een belangrijke invloed op het verbruik. Ook schenken we aandacht aan de nieuwe Erp-regeling voor circulatiepompen en aan de toepassing van de diverse pompuitvoeringen.

Hoofdstuk 12 – Expansievaten inclusief expansieautomaten

In dit hoofdstuk bespreken we de verschillende typen expansievaten en ontluchtingsvoorzieningen. Lucht in de installatie vermindert de werking van de installatie. De laatste decennia zijn de automatische ontluchtingssystemen onder de aandacht gekomen. Verder gaan we in op de plaatsing van een drukexpansievat en geven we een voorbeeld van een inhoudsberekening.

Hoofdstuk 13 – Beveiligingen

In dit hoofdstuk beschrijven we beveiligingen. Die zijn noodzakelijk om installaties veilig te kunnen laten functioneren. Warmwater, heetwater en stoom kunnen verbranding veroorzaken en tot explosies leiden. Aardgas kan ook explosies veroorzaken en een gevaar vormen bij inademing, zeker bij de vorming van koolmonoxide. We gaan in op druk-, temperatuur-, watergebrek- en vlambeveiligingen.

Hoofdstuk 14 – Regelingen en gebouwbeheersystemen

In dit hoofdstuk behandelen we regelingen die zorgen dat processen automatisch verlopen. In de gebouwde omgeving passen we eindeloos veel regelingen toe, van eenvoudig tot ingewikkeld. Denk bijvoorbeeld aan een thermostatische radiatorafsluiter die een vertrektemperatuur in stand houdt. We gaan in op de theorie van een regelkring, praktische toepassingen van regelingen en gebouwbeheersystemen.

DEEL III – WARMTEAFGIFTE**Hoofdstuk 15 – Thermisch comfort en behaaglijkheid**

In dit hoofdstuk kijken we naar factoren die een rol spelen bij het realiseren van comfort en behaaglijkheid, behaaglijkheidscriteria en behaaglijkheidsmodellen. Met een verwarmingsinstallatie moeten we een comfortabel en behaaglijk binnenklimaat creëren voor de gebruiker van een gebouw. Hiervoor hebben we technische kennis nodig en dienen we op de hoogte te zijn van wat nou eigenlijk comfortabel en behaaglijk is voor de mens en wat niet.

Hoofdstuk 16 – Warmteverliesberekening

In dit hoofdstuk leggen we het maken van een transmissieberekening uit aan de hand van ISSO-publicatie 51. Verder geven we een berekeningsvoorbeeld van het opstellen van een eenvoudige schilberekening voor het vaststellen van de benodigde warmtecapaciteit bij de uitwerking van het voorlopige ontwerp.

DEEL IV – OPLEVERING, ONDERHOUD EN BEHEER

Hoofdstuk 17 – Radiatoren en buiselementen

In dit hoofdstuk behandelen we de warmteafgifte van ribbenbuizen en radiatoren. Paneel- en kolomradiatoren komen aan bod en ook het gebruik van overtemperaturen voor de bepaling van de warmteafgifte van de radiatoren.

Hoofdstuk 18 – Convectoren

In dit hoofdstuk gaan we in op de toepassing en selectie van convectoropstellingen, het afgegeven vermogen, de juiste plaatsing van de convector bij raampartijen, de relatie tussen warmteafgifte en schachthoogte en de toepassing van ventilatorconvectoren met een lage inbouwhoogte.

Hoofdstuk 19 – Vloer- en wandverwarming

In dit hoofdstuk leggen we de toepassingsmogelijkheden, het ontwerp en de selectie van de vloer- en wandverwarmingssystemen uit. We geven een compleet berekeningsvoorbeeld. Ook gaan we in op de keuze van de hart-op-hartafstanden van de vloerverwarmingsbuis in relatie tot de ruimte en mediumtemperaturen.

Hoofdstuk 20 – Garantie, oplevering, bediening en onderhoud

In dit hoofdstuk behandelen we de garantie, de oplevering, de bediening en het onderhoud van installaties. Daarbij gaan we in op de inspectiemethoden die in Nederland vaak worden toegepast conform de BOEI-methodiek van de Rijksgebouwendienst. Ook leggen we de toepassing van de NEN 2767 uit en het opstellen van een meerjarenbegroting.

Hoofdstuk 21 – Eisen aan stookinstallaties en -ruimten

In dit laatste hoofdstuk beschrijven we de veiligheidseisen die op gas stoken van toepassing zijn. Zo moeten we er zeker van zijn dat er voor het verbrandingsproces voldoende buitenlucht toegevoerd wordt naar het ketelhuis. Verder behandelen we de uit te voeren keuringen en inspecties.

Literatuur

In de literatuurlijst vermelden we de geraadpleegde en aanbevolen literatuur. De lezer kan hier de behandelde onderwerpen in terugvinden en aanvullende informatie.

Bijlage A – Lijst van symbolen

In bijlage A zetten we lettersymbolen van grootheden en eenheden uit het boek en teken-symbolen die we kunnen gebruiken bij het lezen en maken van installatietekeningen.

Bijlage B – Begrippenlijst

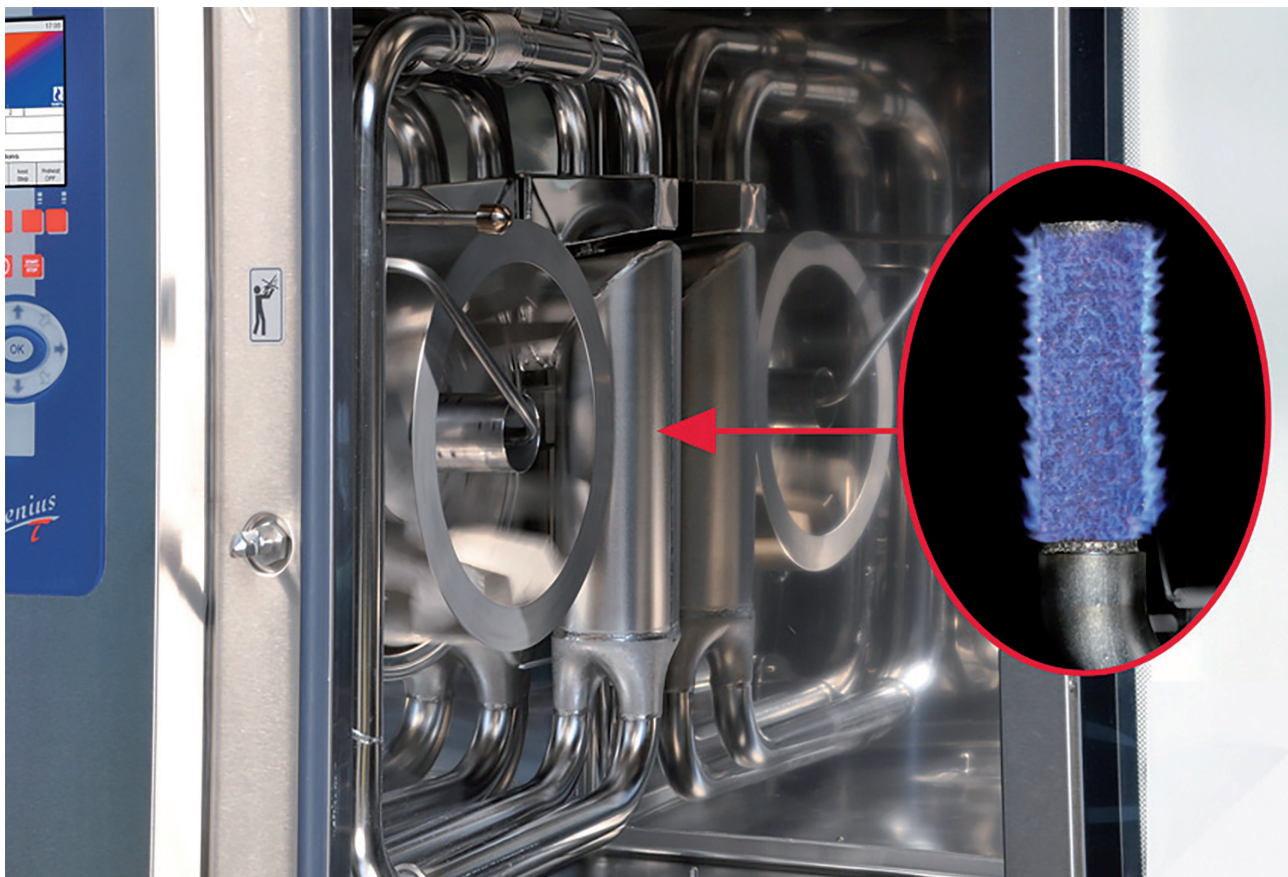
In bijlage B geven we een overzicht van warmtetechnische begrippen. Oorspronkelijk zijn het natuurkundige en scheikundige begrippen. We moeten ze hanteren voor het vastleggen van gegevens en het uitwerken van formules. Verder geven we een uitleg van natuurkundige wetten en komen er diverse formules aan bod.

Bijlage C – Formulier voor transmissieberekeningen

In bijlage C bieden we een kopieerbaar invulformulier voor transmissieberekeningen.

HOOFDSTUK 2

GASGESTOOKTE CV-KETELS



Aan cv-ketels voeren we energie toe met het doel warmte op te wekken en die vervolgens aan een vloeistof af te geven. Een cv-ketel bevindt zich altijd in een stromend leidingsysteem. Het afgekoelde retourwater komt met lage temperatuur aan en wordt vervolgens door de cv-ketel in temperatuur verhoogd tot de gewenste aanvoertemperatuur.

De meeste warmteopwekkingsinstallaties bestaan nog steeds uit gasgestookte ketels. Dit zal in de toekomst veranderen, maar nu is aardgas nog een relatief goedkope brandstof en in bijna heel Nederland beschikbaar. Daarom besteden we hier (en in hoofdstuk 6) ruim aandacht aan de gasgestookte ketels.

In dit hoofdstuk behandelen we de volgende onderwerpen:

- cv-ketels indelen naar eigenschappen;
- compacte cv-ketels;
- middelgrote cv-ketels;
- grote overdruk-cv-ketels;
- heetwater- en stoomketels;
- rookgasafvoersystemen;
- jaarbelastingduurkromme.

2.1 CV-KETELS INDELEN NAAR EIGENSCHAPPEN

We kunnen cv-ketels indelen op basis van kenmerkende eigenschappen:

- medium en temperatuurbereik;
- risico-indeling;
- stookwijze;
- open of gesloten toestellen;
- energetische prestaties.

2.1.1 MEDIUM EN TEMPERATUURBEREIK

Het aan de cv-ketels toegevoerde water wordt verhit door temperatuuroptoe name:

- Warmwater: verhitten we in warmwaterketels tot een temperatuur van maximaal 110 °C, hoofdzakelijk voor het verwarmen van gebouwen (laagwaardige temperatuur). De gangbare aanvoertemperatuur varieert tussen 60 en 90 °C onder ontwerpcondities.
- Heetwater: passen we met een temperatuur boven 110 °C ook toe voor het verwarmen van gebouwen, maar vaker voor processen, in de praktijk meestal tot een temperatuur van circa 170 °C.
- Stoom: passen we toe bij grotere vermogens en hogere temperaturen, niet of nauwelijks voor het verwarmen van gebouwen, maar vooral om processen in industrieën of ziekenhuizen. Daar zetten we stoom in voor bijvoorbeeld bevochtiging, sterilisatie en het creëren van een vacuüm.
- Thermische olie: passen we toe voor processen met een nog hoger temperatuurbereik, 250 tot 400 °C. In de gebouwde omgeving komen dergelijke installaties niet voor en daarom zullen we ze niet verder behandelen.

2.1.2 RISICO-INDELING

Behalve naar temperatuur en druk kunnen we ketels ook indelen naar hun risico voor de omgeving. Het risico van het verstoken van brandstof, met name aardgas, behandelen we in hoofdstuk 6 'Verbrandingstechnieken'.

Internationaal gelden regels waaraan ketels moeten voldoen, naar gelang hun mediumtemperatuur en -druk en hun fasetoestand. Bijvoorbeeld ketels voor de productie van heetwater en stoom met een druk vanaf 0,5 bar overdruk zijn in principe keuringsplichtig en vallen onder de PED (*Pressure Equipment Directive*).

2.1.3 STOOKWIJZE

Ook de stookwijze kunnen we als indelingscriterium gebruiken. Aan ketels wordt energie toegevoerd en overgedragen. Deze energie kan bestaan uit:

- gasvormige brandstoffen;
- vloeibare brandstoffen;
- vaste brandstoffen;
- elektriciteit.

Als we ons beperken tot de situatie in Nederland en de opgestelde ketels voor de gebouwde omgeving, dan betreffen dit hoofdzakelijk aardgasgestookte ketels. Propaangestookte ketels passen we minder toe, wel in buitengebieden waar geen gasleiding ligt. Verder zijn er:

- ketels gestookt met huisbrandolie of biodiesel;
- houtgestookte ketels.

Daarnaast passen we elektrisch verwarmde ketels met kleinere vermogens toe, voor onder andere de productie van stoom voor bevochtigingsdoeleinden.

2.1.4 OPEN OF GESLOTEN TOESTELLEN

We kunnen ketels bovendien indelen naar de toevoer van de benodigde verbrandingslucht voor het toestel. Zo spreken we van een open toestel indien de verbrandingslucht aan de opstellingsruimte wordt onttrokken en van een gesloten toestel indien deze van buiten de opstellingsruimte wordt onttrokken. Verder kennen we atmosferische toestellen waarbij de verbrandingslucht onder atmosferische condities aan de brander wordt toegevoerd en overdrukketels waarbij de verbrandingslucht wordt aangezogen en onder druk wordt toegevoerd door middel van een verbrandingsluchtventilator.

2.1.5 ENERGETISCHE PRESTATIES

Ketels kunnen we ook indelen naar hun energetische prestaties. In tabel 2.1 staat een indeling op basis van het ketelrendement. De vermelde rendementen zijn bepaald op de betrokken *bovenwaarde* van de brandstof; zie ook subparagraaf 6.2.1. Subparagraaf 2.5.1 gaat verder in op de begrippen ‘economiser’ (cv-retourwatervoorverwarmer) en ‘luvo’ (luchtvoorverwarmer).

Keteltype	Aanvoer-temperatuur < 55 °C	Aanvoer-temperatuur > 55 °C	Economiser	Condensor	Luvo
Conventionele ketel	60-75%	60-75%			
VR (verbeterd rendement)	75-80%	75-80%			
HR 100 (hoog rendement)	87,5-92,5%	85-90%		Inclusief	
HR 104 (hoog rendement)	90-95%	87,5-92,5%		Inclusief	
HR 107 (hoog rendement)	92,5-97,5%	90-95%		Inclusief	
Stoomketel		81%	Extra 5%	Extra 10%	Extra 5%
Heetwaterketel		82%	Extra 5%		Extra 5%
Elektrische ketel	40%				

Tabel 2.1: Indeling van ketels naar energetische prestaties.

We zien dat de aanvoertemperatuur bij warmwaterketels van belang is, omdat rookgascondensatie optreedt bij rookgastemperaturen lager dan het dauwpunt. Voor aardgasgestookte toestellen is deze ongeveer 55 tot 60 °C afhankelijk van de luchtvermaat en atmosferische condities.

HR-ketels hebben een rookgascondensor en condenseren afhankelijk van de retourtemperatuur. Heetwaterketels kunnen zowel met economiser als met luvo worden uitgevoerd. Beide verhogen het rendement door de afkoeling van rookgassen. De rendementswinsten mogen dan bij elkaar gesommeerd worden. Dit geldt eveneens voor stoomketels: een rookgascondensor verhoogt de temperatuur van het koude suppletiewater.

2.2 COMPACTE CV-KETELS

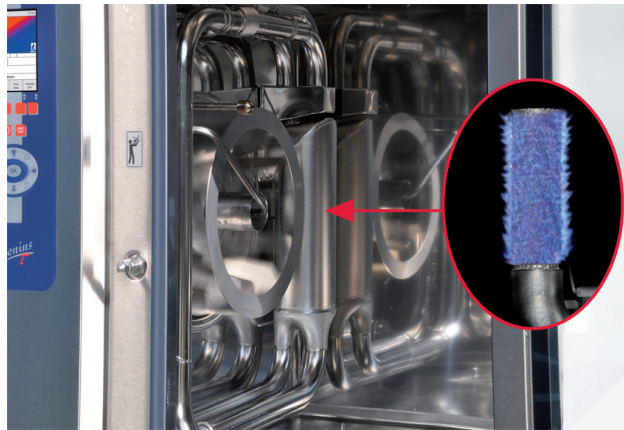
De compacte ketels die we met name toepassen in woonhuizen en kleine utiliteitsgebouwen, zijn op de markt beschikbaar als gaswandketel of staande ketel. Deze paragraaf gaat over compacte cv-ketels, daaropvolgende paragrafen gaan over middelgrote ketels en grote overdrukketels, die een andere bouw hebben.

2.2.1 EIGENSCHAPPEN VAN GASWANDKETELS TOT ONGEVEER 100 kW

In deze paragraaf komen de volgende onderwerpen aan bod:

- eigenschappen van gaswandketels tot ongeveer 100 kW;
- combi-cv-ketels;
- gaskeur;
- een voorbeeld van een cv-ketel;
- de cascadeopstelling.

De moderne warmwaterketels zijn compact gebouwd en kunnen tot een vermogen van ongeveer 100 kW uitgevoerd zijn als gaswandketel. Vrijwel alle wandketels zijn HR-ketels, waarbij de rookgassen condenseren. Condensatie wordt hierbij volledig benut als de retourtemperatuur daalt tot onder de 55 °C. Dit is bijvoorbeeld mogelijk bij vloerverwarming, grote radiatoren, weersafhankelijke regelingen en/of (met name bij de utiliteit) voorverwarming van ventilatielucht. Deze ketels zijn alle voorzien van een geïntegreerde premixbrander (zie afbeelding 2.1).



Afbeelding 2.1: Premixbrander van een HR-ketel.
Bron: Eloma.

Een premixbrander bestaat uit een geperforeerde buis van gesinterd of hoogwaardig materiaal die talloze kleine vlammetjes produceert. Hij heeft een groot regelbereik en een lage NO_x-uitstoot. Het hoge rendement berust op de frequentieregelde circulatiepomp, de verbrandingsluchtventilator en de lage ketelwatertemperatuur.

Door de optredende condensatie ontstaat rookgascondensaat. Vanwege het zure karakter hiervan, moet het worden afgevoerd naar het riool, terwijl de in aanraking komende delen van de ketel en de schoorsteen uitgevoerd moeten worden in aluminium of rvs. Vaak worden deze ketels uitgevoerd als combiketels, waarbij een ingebouwde, geïntegreerde warmtewisselaar zorgt voor warmtapwater.

De meeste cv-ketels tot ongeveer 40 kW hebben een Open Therm-aansluiting; zie subparagraaf 2.2.4. Via een modulerende thermostaat kan de ruimtetemperatuur ook modulerend geregeld worden, waardoor een beter stookgedrag ontstaat dan met een aan/uit-thermostaat. Bij een aan/uit-thermostaat wordt de regeling naar maximaal gestuurd en is er geen modulerend effect. De kleinere gaswandketels tot ongeveer 60 kW hebben een ingebouwde pomp, die vanaf 60 kW hebben meestal een externe pomp.

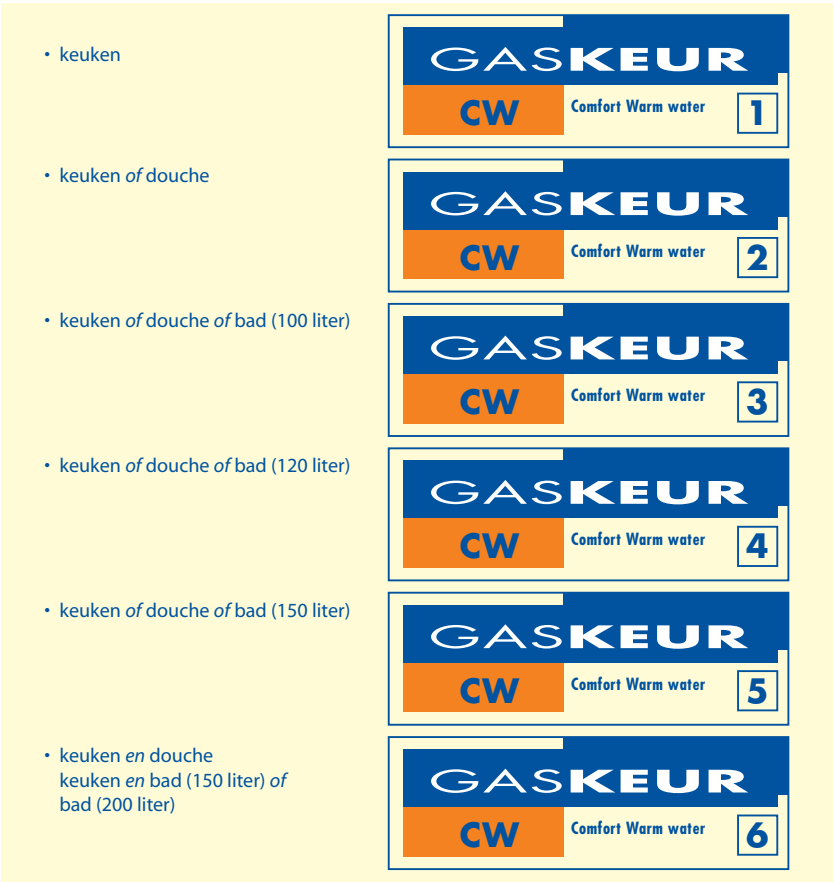
2.2.2 COMBI-CV-KETELS

Een vermogen van minimaal 24 kW is nodig om een redelijke warmwatervoorziening te kunnen realiseren. Wat betreft combi-cv-ketels groter dan 45 kW van het nominaal vermogen dient bij de warmtapwatervoorziening, zowel bij een platenwisselaar als bij een boiler, een dubbele scheiding aanwezig te zijn volgens de Waterwerkbladen (richtlijn bij de NEN 1006). Er zijn zes comfort- of tapwaterleveringsklassen gedefinieerd (zie afbeelding 2.2):

- CW1: levert tussen de 2 en 3 l warmwater van 60 °C/min, voldoende voor een keukenkraan;
- CW2: levert tussen de 3 en 4 l warmwater van 60 °C/min, voldoende voor een keukenkraan of douche;
- CW3: levert tussen de 5 en 6 l warmwater van 60 °C/min, voldoende voor een wastafel, keukenkraan of douche;

- CW4: levert tussen de 7 en 8 l warmwater van 60 °C/min, voldoende voor een kraan of douche in een standaard badkamer van bijvoorbeeld een eengezinswoning;
- CW5: levert tussen de 9 en 11 l warmwater van 60 °C/min. Het verschil met CW4 is dat deze installatie meer comfort biedt: voor korte tijd kunnen meerdere tappunten tegelijk worden gebruikt en het vullen van een bad van 100 l duurt minder dan 8 min;
- CW6: levert vanaf 12 l warmwater van 60 °C/min, geschikt voor gelijktijdig gebruik van een kraan en douche of bad. CW6-ketels hebben een klein ingebouwd voorraadvat om aan de eis te kunnen voldoen.

CW staat voor comfortklasse warmwater.



Afbeelding 2.2: Zes CW-labels. Bron: Kiwa Nederland.

Deze comfortklassenindeling is gebaseerd op richtlijnen van de fabrikanten. De werkelijke hoeveelheden warmwater zijn mede afhankelijk van de diameter (weerstand en stroomsnelheid) van de leidingen. De meest voorkomende CW-klassen zijn CW4 en CW5 of, als er een grote vraag naar warmwater is, CW6 (zie afbeelding 2.3).



Afbeelding 2.3: CW6-ketel Nefit HRC 45, met rechts ingebouwde voorraadboiler. Bron: Nefit.

2.2.3 GASKEUR

Het gaskeurmerk is een belangrijk label waarin alle specificaties van de betreffende cv-ketel zijn verenigd. Elk toestel is voorzien van een gaskeurtypeplaatje (zie afbeelding 2.4):

- HR-keurmerk: geeft de klasse van de ketel aan, bijvoorbeeld HR 100 of HR 107.
- HRww-codering: geeft aan dat cv-ketel voorzien is van een HR-warmwatervoorziening.
- CW: geeft de comfortwaarde van de warmwatervoorziening weer. Bij een normale HR-cv-ketel begint de CW-waarde bij 3 en loopt deze op tot 6, de hoogste klasse.
- SV-merk: geeft aan dat dit een toestel is met schonere verbranding.
- NZ-aanduiding: geeft aan dat het toestel geschikt is voor naverwarming van water uit een zonneboiler. Het toestel moet hiervoor bestand zijn tegen hoge temperaturen. Hiervoor is een extra driewegklep aanwezig, die ervoor zorgt dat indien het water uit de zonneboiler voldoende warm is, dit niet door de cv-ketel stroomt.



Afbeelding 2.4: Voorbeeld van een gaskeur-typeplaatje. Bron: Kiwa Nederland.

Er zijn verschillende merken en typen cv-ketels op de markt met allemaal hun eigen specifieke eigenschappen. Om de werking van cv-ketels goed te kunnen uitleggen, beschrijven we in deze subparagraaf de hrSOLIDEplus van Vaillant (zie afbeelding 2.5).



Afbeelding 2.5: Vaillant-ketel type hrSOLIDEplus. Bron: Vaillant.

We gaan in op:

- de onderdelen;
- de werking.

2.2.3.1 ONDERDELEN

Belangrijke onderdelen van de hrSOLIDEplus zijn:

- de warmtewisselaar;
- de premixbrander;
- de circulatiepomp;
- de elektronische regeling.

Warmtewisselaar

De warmtewisselaar is opgebouwd uit edelstalen ovale rondgebogen buizen (zie afbeelding 2.6). De buitenmantel is van edelstaal met eromheen een mantel van hoogwaardig composiet. Dit zorgt voor extra isolatie en de opvang van condensaat. Door de condensatie waarmee warmte wordt teruggewonnen, ligt het jaargebruiksrendement van deze cv-ketel hoger.



Afbeelding 2.6: Warmtewisselaar HR-Solide.
Bron: Vaillant.

Premixbrander

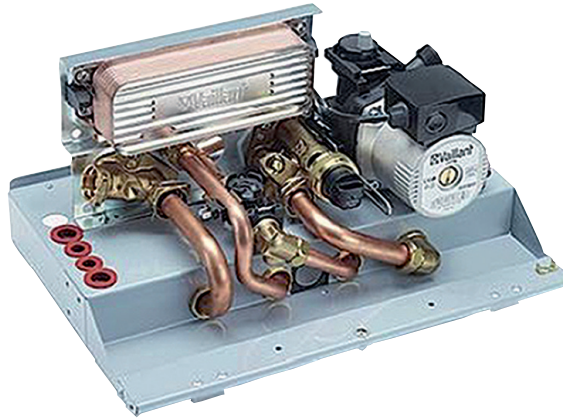
De cilindervormige premixbrander is gemaakt van edelstaal en heeft een branderoppervlak over 360°, gevormd door gaatjes en sleuven (zie afbeelding 2.7). De gas/lucht-verhoudingsregeling bestaat uit de combinatie van een gasregelgedeelte en een gelijkstroomventilator.



Afbeelding 2.7: Horizontaal geplaatste,
cilindervormige premixbrander. Bron: Vaillant.

Circulatiepomp

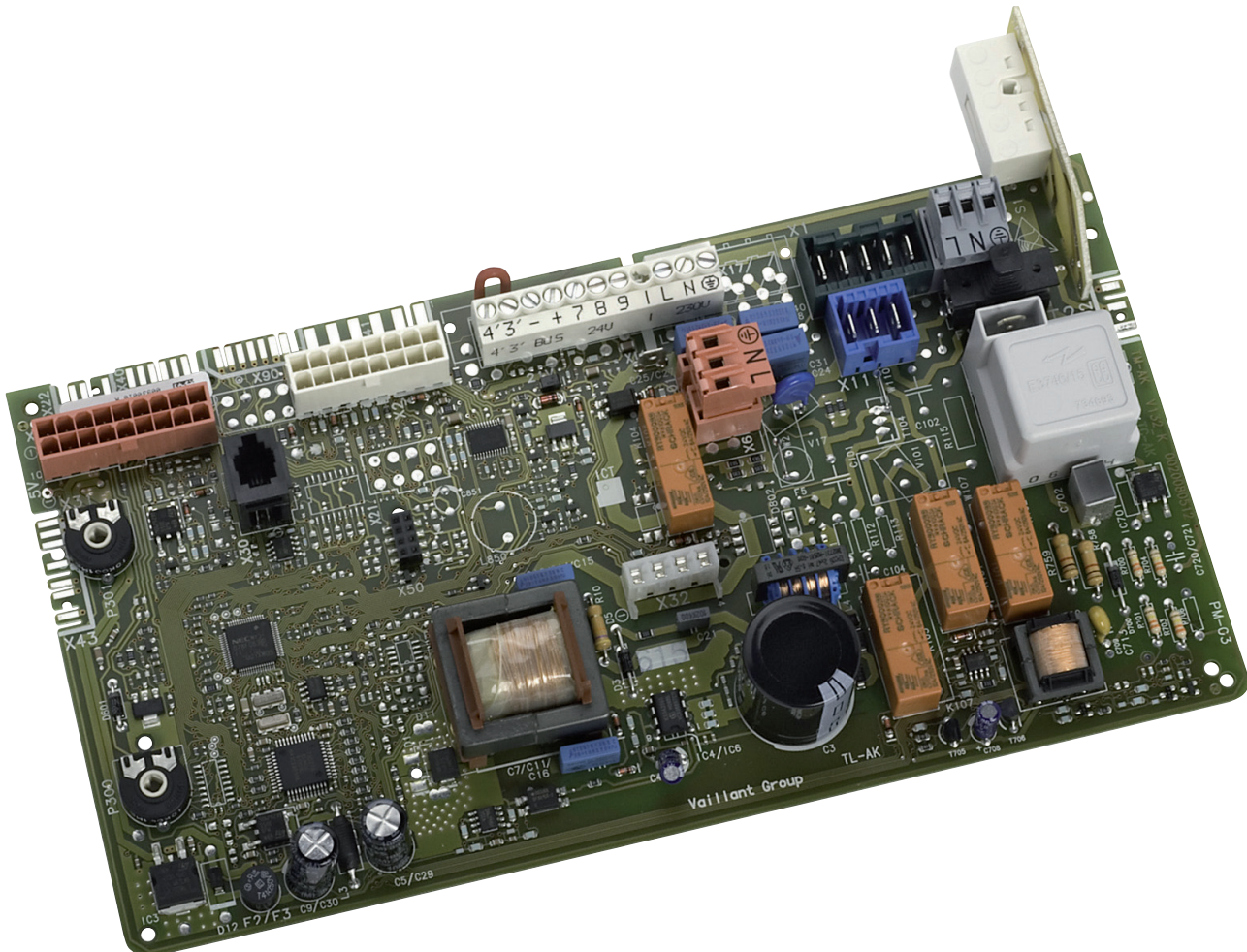
De in twee standen automatisch regelbare circulatiepomp is standaard voorzien van een automatische ontluucher. De opvoerhoogte is afhankelijk van het type toestel. Ook is de volumestroom van de pomp afhankelijk van het toestelvermogen. Het hydraulische blok bestaat uit een platenwisselaar, stromingssensor, driewegklep en automatische handinstelbare bypass (zie afbeelding 2.8).



Afbeelding 2.8: Onderzijde van de hrSOLIDEplus.
Bron: Vaillant.

Elektronische regeling

De microprocessorgestuurde elektronische regeling regelt en beveiligt alle interne toesteltaken en is opgebouwd als één eenvoudig uit te wisselen print. De aansluitingen van onderdelen en randapparatuur zijn via een stekerverbinding te realiseren (zie afbeelding 2.9).



Afbeelding 2.9: Regelpaneel. Bron: Vaillant.