Karakterisatie van afgiftesystemen

Auteur(s): Arnold FRANCK

Datum: 29 januari 2013 v.3.1

Deze studie werd uitgevoerd in het kader van het IWT-VIS traject Smart Geotherm (2011-2017)

Inhoudstafel

1 Inleiding 3
2 Componenten van een afgiftesysteem 3
2.1 Radiatoren 3
2.1.1 Vereenvoudigd 3
2.1.2 Gedetailleerd 9
2.2 Vloerverwarming 12
2.2.1 Vereenvoudigd 12
2.2.2 Gedetailleerd 16
2.3 TABS 18
2.3.1 Vereenvoudigd 19
2.3.2 Gedetailleerd 21
2.4 Klimaatplafonds 30
2.4.1 Vereenvoudigd 30
2.4.2 Gedetailleerd 35
2.5 Ventiloconvectoren 36
2.5.1 Vereenvoudigd 36
2.5.2 Gedetailleerd 41
2.6 Sanitair warm water 43
2.7 Schakelbuffer 44
2.8 Circulatiepompen 44
2.8.1 Vereenvoudigd 44

1 Inleiding

Een werkpakket binnen het Smart-Geotherm project is de karakterisatie van afgiftesystemen. Met afgiftesystemen worden zowel systemen voor verwarmen als voor koelen bedoeld.

De karakteristieke gegevens van afgiftesystemen zullen dienen als input voor het Modelica-simulatiepakket.

2 Componenten van een afgiftesysteem

2.1 Radiatoren

2.1.1 Vereenvoudigd

2.1.1.1 Nominale inlaattemperatuur

Proefwaterregime: inlaattemperatuur 75 °C (EN-442). In werkelijkheid is 55 °C realistischer.

2.1.1.2 Nominale uittredetemperatuur

Proefwaterregime: uittredetemperatuur 65 °C (EN-442). In werkelijkheid, stel 45 °C.

2.1.1.3 Nominale ruimtetemperatuur

Zie Deeltaak 1.1 'Thermisch comfort van gebouwen'.

Kamertemperatuur gemiddeld 20 °C (EN-442).

- Woonkamer, bureel en keuken: 21°C
- Badkamer: 24 °C
- Slaapkamer: 18 °C

2.1.1.4 Nominaal vermogen

Warmteafgiftes werden gemeten volgens de norm EN-442, bij een watertemperatuur van 75/65 °C en een kamertemperatuur van 20 °C (ΔT=50 °C). Dit is de genormaliseerde warmteafgifte Φ_{n50}.

Hieronder enkele tabellen als voorbeeld van de Radson 'Integra', een klassieke paneelradiator; warmteafgifte (W). De waarden voor de Radson 'Compact' zijn dezelfde. Verder worden ook voor de Henrad 'Standard' warmteafgiftes opgegeven.

Warmteafgiftes bij andere regimes kunnen worden berekend door middel van door de constructeurs ter beschikking gestelde Excel-rekenbladen:

RADSON_Calculator_paneel_kolom_deco_r

HENRAD_Standard_warmteafgifte.xls

type 11

		hoogte						
lengte	watt	300	400	450	500	600	750	900
450	75/65/20	248	318	351	384	446	534	616
600	75/65/20	331	424	468	512	595	712	821
750	75/65/20	413	530	585	640	744	890	1026
900	75/65/20	496	635	702	768	893	1068	1231
1050	75/65/20	579	741	819	896	1042	1246	1436
1200	75/65/20	661	847	936	1024	1190	1424	1642
1350	75/65/20	744	953	1053	1152	1339	1602	1847
1500	75/65/20	827	1059	1170	1280	1488	1781	2052
1650	75/65/20	909	1165	1287	1407	1637	1959	2257
1800	75/65/20	992	1271	1404	1535	1786	2137	2462
1950	75/65/20							
2100	75/65/20							
volume (l/m)		1,80	2,42	2,73	3,04	3,67	4,60	5,53
gewicht (kg/m)		9,60	12,82	14,43	16,04	19,27	24,10	28,93
Watt/m 90/70/20 °C		705	902	996	1089	1266	1512	1741
n-waarde		1,3498	1,3451	1,3427	1,3404	1,3357	1,3287	1,3217

RADSON

type 21S

		hoogte						
lengte	watt	300	400	450	500	600	750	900
450	75/65/20	361	448	490	530	607	718	823
600	75/65/20	481	598	653	706	809	957	1097
750	75/65/20	602	747	816	883	1012	1196	1372
900	75/65/20	722	896	979	1059	1214	1436	1646
1050	75/65/20	842	1046	1142	1236	1416	1675	1920
1200	75/65/20	962	1195	1306	1412	1619	1914	2195
1350	75/65/20	1083	1345	1469	1589	1821	2153	2469
1500	75/65/20	1203	1494	1632	1766	2024	2393	2744
1650	75/65/20	1323	1643	1795	1942	2226	2632	3018
1800	75/65/20	1444	1793	1958	2119	2428	2871	3292
1950	75/65/20	1564	1942	2122	2295	2631	3110	3567
2100	75/65/20	1684	2092	2285	2472	2833	3350	3841
2250	75/65/20	1805	2241	2448	2648	3035	3589	4115
2400	75/65/20	1925	2390	2611	2825	3238	3828	4390
2550	75/65/20	2045	2540	2774	3001	3440	4067	4664
2700	75/65/20	2165	2689	2938	3178	3642	4307	4938
3000	75/65/20	2406	2988	3264	3531	4027	4785	5487
volume (l/m)		4,00	5,17	5,75	6,33	7,50	9,35	11,20
gewicht (kg/m)		15,60	21,17	23,95	26,73	32,30	39,45	46,60
Watt/m 90/70/20 °C		1029	1277	1394	1507	1726	2038	2334
n-waarde		1,3668	1,3620	1,3596	1,3572	1,3523	1,3451	1,3379

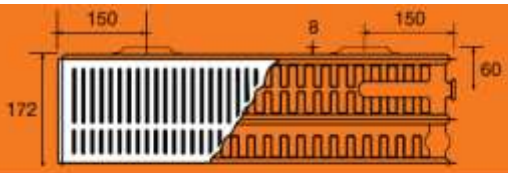
RADSON

type 22

		hoogte						
lengte	watt	300	400	450	500	600	750	900
450	75/65/20	474	601	661	718	824	968	1092
600	75/65/20	632	802	881	957	1099	1290	1456
750	75/65/20	790	1002	1101	1196	1374	1613	1820
900	75/65/20	948	1202	1321	1436	1649	1935	2184
1050	75/65/20	1106	1403	1541	1675	1924	2258	2548
1200	75/65/20	1264	1603	1762	1914	2198	2580	2912
1350	75/65/20	1422		1982	2153	2473	2903	3276
1500	75/65/20	1580	2004	2202	2393	2748	3225	3641
1650	75/65/20	1737	2204	2422	2632	3023	3548	4005
1800	75/65/20	1895	2405	2642	2871	3298	3870	4369
1950	75/65/20	2053	2605	2863	3110	3572	4193	4733
2100	75/65/20	2211	2806	3083	3350	3847	4515	5097
2250	75/65/20	2369	3006	3303	3589	4122	4838	5461
2400	75/65/20	2527	3206	3523	3828	4397	5160	5825
2550	75/65/20	2685	3407	3743	4067	4672	5483	6189
2700	75/65/20	2843	3607	3964	4307	4946	5805	6553
3000	75/65/20	3159	4008	4404	4785	5496	6450	7281
volume (l/m)		3,71	4,89	5,48	6,06	7,24	9,00	10,76
gewicht (kg/m)		17,90	23,78	26,71	29,65	35,52	44,33	53,14
Watt/m 90/70/20 °C		1344	1703	1870	2030	2328	2725	3069
n-waarde		1,3845	1,3757	1,3713	1,3669	1,3581	1,3449	1,3316

RADSON

type 33



		hoogte						
lengte	watt	300	400	450	500	600	750	900
450	75/65/20	672	863	952	1037	1195	1404	1580
600	75/65/20	896	1151	1270	1383	1594	1871	2107
750	75/65/20	1121	1439	1587	1729	1992	2339	2634
900	75/65/20	1345	1726	1904	2075	2390	2807	3161
1050	75/65/20	1569	2014	2222	2420	2789	3275	3688
1200	75/65/20	1793	2302	2539	2766	3187	3743	4214
1350	75/65/20	2017	2589	2857	3112	3586	4211	4741
1500	75/65/20	2241	2877	3174	3458	3984	4679	5268
1650	75/65/20	2465	3165	3491	3803	4382	5146	5795
1800	75/65/20	2689	3452	3809	4149	4781	5614	6322
1950	75/65/20	2913	3740	4126	4495	5179	6082	6848
2100	75/65/20	3137	4028	4444	4841	5578	6550	7375
2250	75/65/20	3362	4316	4761	5186	5976	7018	7902
2400	75/65/20	3586	4603	5078	5532	6374	7486	8429
2550	75/65/20	3810	4891	5396	5878	6773	7953	8956
2700	75/65/20	4034	5179	5713	6224	7171	8421	9482
3000	75/65/20	4482	5754	6348	6915	7968	9357	10536
volume (l/m)		5,52	7,30	8,19	9,08	10,86	13,52	16,19
gewicht (kg/m)		26,67	35,48	40,43	45,02	54,19	67,95	81,71
Watt/m 90/70/20 °C		1905	2440	2689	2926	3365	3939	4422
n-waarde		1,3768	1,3651	1,3592	1,3533	1,3415	1,3238	1,3061

RADSON

Type	Type 10						Type 11						Type 20					
Hoogte / Hauteur Lengte / Longueur	300	400	500	600	700	900	300	400	500	600	700	900	300	400	500	600	700	900
400			208	244		351			339	400	457	559					470	
500	169	215	261	305	350	439	259	344	424	500	571	699			442	516	587	725
600	203	258	313	366	419	526	310	412	509	600	685	838			530	619	704	869
700			365	427		614		481	594	700	799	978			618		822	
800	270	344	417	488	559	702	414	550	678	800	914	1,118			706	825	939	1,159
900			469	549		789			763	900	1,028	1,257			795		1,057	
1000	338	430	521	610	699	877	517	687	848	1,000	1,142	1,397			883	1,031	1,174	1,449
1100			573	671		965		756	933	1,100	1,256	1,537			971		1,291	
1200	406	516	625	732	839	1,052	620	824	1,018	1,200	1,370	1,676			1,060	1,237	1,409	
1400	473	602	729	854	979	1,228	724	962	1,187	1,400	1,599	1,956			1,236	1,443	1,644	
1600	541	688	834	976	1,118		827	1,099	1,357	1,600	1,827	2,235			1,413		1,878	
1800	608	774	938	1,098	1,258		931	1,237	1,526	1,800	2,056				1,589			
2000	676	860	1,042	1,220			1,034	1,374	1,696	2,000	2,284				1,766			
2200	744	946	1,146	1,342			1,137	1,511	1,866	2,200								
2400	811	1,032	1,250	1,464			1,241	1,649	2,035	2,400								
2600	879	1,118	1,355	1,586			1,344	1,786	2,205	2,600								
2800	946	1,204	1,459	1,708			1,448	1,924	2,374	2,800								
3000	1,014	1,290	1,563	1,830			1,551	2,061	2,544	3,000								

HENRAD

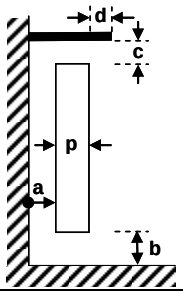
Type	Type 21						Type 22						Type 33					
Hoogte / Hauteur Lengte / Longueur	300	400	500	600	700	900	300	400	500	600	700	900	300	400	500	600	700	900
400				564		776			614	711	804	981				1,006		1,379
500		500	605	705	799	971	506	641	768	889	1,006	1,227	709	903	1,085	1,257	1,421	1,724
600		600	726	845	958	1,165	607	769	921	1,067	1,207	1,472	851	1,083	1,301	1,508	1,705	2,069
700			847	986		1,359		897	1,075	1,245	1,408	1,717			1,518	1,760	1,989	2,414
800		800	968	1,127	1,278	1,553	810	1,025	1,228	1,422	1,609	1,962	1,134	1,444	1,735	2,011	2,273	2,758
900			1,089	1,268		1,747		1,153	1,382	1,600	1,810	2,208		1,625	1,952	2,263	2,557	3,103
1000		1,000	1,210	1,409	1,597	1,941	1,012	1,281	1,535	1,778	2,011	2,453	1,418	1,805	2,169	2,514	2,841	3,448
1100			1,331	1,550		2,135		1,409	1,689	1,956	2,212	2,698		1,986	2,386	2,765	3,125	3,793
1200		1,200	1,452	1,691	1,916	2,329	1,214	1,537	1,842	2,134	2,413	2,944	1,702	2,166	2,603	3,017	3,409	4,138
1400		1,400	1,694	1,973	2,236	2,717	1,417	1,793	2,149	2,489	2,815	3,434	1,985	2,527	3,037	3,520	3,977	4,827
1600		1,600	1,936	2,254	2,555	3,106	1,619	2,050	2,456	2,845	3,218	3,925	2,269	2,888	3,470	4,022	4,546	5,517
1800		1,800	2,178	2,536			1,822	2,306	2,763	3,200	3,620		2,552	3,249	3,904	4,525	5,114	
2000		2,000	2,420	2,818			2,024	2,562	3,070	3,556	4,022		2,836	3,610	4,338	5,028	5,682	
2200		2,200	2,662	3,100			2,226	2,818	3,377	3,912			3,120	3,971	4,772			
2400		2,400	2,904	3,382			2,429	3,074	3,684	4,267			3,403	4,332	5,206			
2600		2,600	3,146	3,663			2,631	3,331	3,991	4,623			3,687	4,693	5,639			
2800		2,800	3,388	3,945			2,834	3,587	4,298	4,978			3,970	5,054	6,073			
3000		3,000	3,630	4,227			3,036	3,843	4,605	5,334			4,254	5,415	6,507			

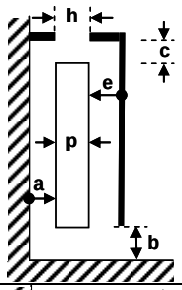
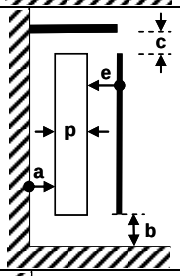
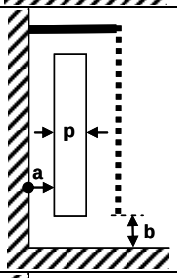
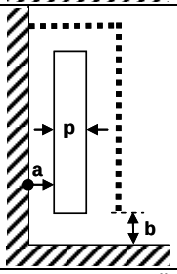
HENRAD

In de realiteit kan een radiator geplaatst worden in omstandigheden die afwijken van de genormaliseerde beproevingsmethode. In dergelijke gevallen kan de werkelijke warmteafgifte bepaald worden door een correctiefactor toe te passen op de genormaliseerde warmteafgifte:

$$\Phi = f \cdot \Phi_{n50}$$

In onderstaande tabel worden voor radiatoren een aantal waarden van f opgegeven (Rapport n°1):

Opstelling van de radiator (*)		Dimensionele eisen	Correctiefactor	
			Eisen voor c	f [-]
	Onder vensterbank of in nis	a ≥ 5 cm b ≥ 10 cm c ≥ p d ≤ 3 cm	c > 12 cm 6 ≤ c ≤ 12 cm 4 < c < 6 cm	f = 1 f = 0,97 f = 0,95

	Onder vensterbank met opening en met scherm vóór de radiator. Eventuele roosters (in de inlaat- en uitlaatopeningen voor lucht) moeten een nuttige sectie hebben van minstens 85% van de totale sectie.	a ≥ 5 cm b ≥ 10 cm h = p e ≥ 2 cm	(geen eisen)	f = 0,90
	Onder vensterbank of in nis en met scherm vóór de radiator. Eventuele roosters (in de inlaat- en uitlaatopeningen voor lucht) moeten een nuttige sectie hebben van minstens 85% van de totale sectie.	a ≥ 5 cm b ≥ 10 cm c ≥ p e ≥ 2 cm	c > 12 cm 6 ≤ c ≤ 12 cm c = p/2	f = 1 f = 0,97 f = 0,80
	Onder vensterbank of in nis. Verborgen door een roosterwerk met grote mazen.	a ≥ 5 cm b ≥ 10 cm	(geen eisen)	f = 0,70
	Volledig ingebouwd in een roosterwerk met grote mazen.	a ≥ 5 cm b ≥ 10 cm	(geen eisen)	f = 0,85
(*): voor convectoren dient de opstelling steeds te gebeuren volgens de instructies van de fabrikant. In dat geval geldt dat f = 1.				

2.1.1.5 Stralingsfractie (bij nominale condities)

De stralingsfractie S_k (facteur de rayonnement) volgens norm EN 442-2 (Tabel 4) hangt af van de vorm van de radiator (aantal panelen en het al dan niet voorkomen van vinnen op deze panelen):

Type radiator	Beschrijving	S_k
10	1 paneel zonder vinnen	0,50
11	1 paneel + vinnen	0,35
21	2 panelen waarvan 1 met vinnen	0,20
22	2 panelen + vinnen	0,15
33	3 panelen + vinnen	0,10

2.1.1.6 Radiatorcoëfficiënt (volgens EN 442-2)

Hiermee wordt bedoeld de exponent (gemiddeld ≈ 1,3) die door de constructeur van de radiator ter beschikking wordt gesteld. Hoe hoger het stralingsaandeel (of hoe lager het convectieaandeel), hoe lager de exponent. De exponent is nodig om de werkelijke warmteafgifte van de radiator te kunnen berekenen uit de genormaliseerde warmteafgifte Φ_{n50}:

$$\frac{\Phi}{\Phi_{n50}} = \left(\frac{\Delta\theta_m}{49{,}83}\right)^n$$

Waarbij:

$$\Delta\theta_m = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \theta_a$$

Of bij grote temperatuurverschillen:

$$\Delta\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1 - \theta_a}{\theta_2 - \theta_a}}$$

Coëfficiënt van warmteoverdracht door convectie en door straling:

$$h = a.(\Delta\theta_m)^{n-1}$$

Waarbij:

$\Delta\theta_m$: Verschil tussen gemiddelde temperatuur van de radiator en de omgevingstemperatuur θ_a
θ_1: Inlaattemperatuur radiator
θ_2: Uittredetemperatuur radiator
n: exponent, ter beschikking gesteld door de constructeur
a: ?? (wellicht coëfficiënt afhankelijk van de vorm van de radiator)

2.1.1.7 Waterinhoud

Richtwaarden in functie van het geïnstalleerd vermogen (Rapport n°1):

Soort radiator	Waterinhoud (ℓ/kW)
Paneelradiatoren	2.5 – 7
Elementenradiatoren in staal	8 – 16
Radiatoren in gietijzer	5 – 10
Radiatoren in aluminium	1 – 6
Convectoren	0.3 – 2.5

2.1.1.8 Droge massa

Dit wordt vermeld in de tabellen van RADSON: de massa in kg per meter radiatorlengte; voor HENRAD in de tabel onder §2.1.2.7.

2.1.1.9 Specifieke warmtecapaciteit van de droge massa

Dit is de waarde van (plaat)staal. Koudgewalst plaatstaal St 12.03, volgens DIN-1623/1 en EN-10130. De specifieke warmtecapaciteit is 490-500 J/kg.K.

2.1.2 Gedetailleerd

2.1.2.1 Lengte, breedte en hoogte

Waarden kunnen worden afgelezen in bovenstaande tabellen.

2.1.2.2 Aantal panelen

Eén (type 11), twee (types 21/21S en 22) of drie panelen (type 33). Het plaatstaal heeft een dikte van 1,25 mm.

Volgens de norm NBN EN 442-1 mag de dikte van het plaatstaal niet minder zijn dan 1,11 mm.

2.1.2.3 Aantal convectie-elementen (tussen de panelen)

Radson 'Integra' en 'Compact': 2 lamellen per warmtekanaal. De pas van de warmtekanalen is 50 mm en de pas van de convectielamellen is 25 mm. Het aantal convectielamellen kan worden afgeleid uit bovenstaande tabellen.

2.1.2.4 Absorptie en emissiecoëfficiënt van de afwerking

De Radson paneelradiatoren zijn vervaardigd uit koudgewalst plaatstaal St 12.03, volgens DIN-1623/1 en EN-10130.

2.1.2.5 Drukvalkarakteristiek (of Kv-waarde)

Het geleidingsvermogen van een klep (het tegenovergestelde van de weerstand) wordt aangegeven door de Kv-waarde (in m^3/h). De Kv-waarde wordt aangegeven als de hoeveelheid doorgestroomd water per tijdseenheid (m^3/h) bij een eenheid van drukverschil (1 bar) over de klep. Die waarde varieert met het openingspercentage van de klep. De doorgelaten hoeveelheid (bij een bepaalde klepstand) is evenredig met de wortel uit het drukverschil:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$$

Bij de speciale situatie met een volledig open klep spreken we over de Kvs-waarde.

Opnieuw voor het voorbeeld van de Radson paneelradiatoren (met het Oventrop kraanlichaam) kunnen de Kv-waarden worden berekend met het door Radson ter beschikking gestelde Excel-rekenblad:

RADSON_Kv-calculator.xls

Voor regelafsluiters van het merk DANFOSS RA2000 (RA-N) kunnen Kv-waarden naargelang de grootte van de aansluiting worden opgegeven (½" voor Radson en Henrad):

Type	Bestelnr.	Uitvoering	Aansluiting ISO 7-1		Instelpositie [1]								
					kvmax							kv2	kvs
			inl.[3] R_p	uitl. R	1	2	3	4	5	6	7	N	
RA-N 10	**013G0031** **013G0032** **013G0151** **013G0231** **013G0232**	Haaks Recht Haaks (UK) Dubbel haaks re.[4] Dubbel haaks li.[4]	3/8	3/8	0,04	0,08	0,12	0,19	0,25	0,33	0,38	0,56	0,65
RA-N 15	**013G0033** **013G0034** **013G0153** **013G0233** **013G0234**	Haaks Recht Haaks (UK) Dubbel haaks re.[4] Dubbel haaks li.[4]	1/2	1/2	0,04	0,08	0,12	0,20	0,30	0,40	0,51	0,73	0,90
RA-N 20	**013G0035** **013G0036**	Haaks Recht	3/4	3/4	0,10	0,15	0,17	0,26	0,35	0,46	0,73	1,04	1,40
	013G0155	Haaks (UK)	3/4	3/4	0,16	0,20	0,25	0,35	0,47	0,60	0,73	0,80	1,00
RA-N 25	**013G0037** **013G0038**	Haaks Recht	1	1	0,10	0,15	0,17	0,26	0,35	0,46	0,73	1,04	1,40

2.1.2.6 Convectieve warmteoverdrachtscoëffiënten aan binnen- en buitenzijde

Binnenzijde (water) en buitenzijde (lucht).

Buitenzijde: coëfficiënt van warmteoverdracht door convectie en door straling:

$$h = a.(\Delta\theta_m)^{n-1}$$

$$\Phi = a.S.(\Delta\theta_m)^n$$

Waarbij:

S: oppervlakte warmteoverdracht (m²)

2.1.2.7 Waterinhoud

De waterinhoud (in ℓ/m) kan worden afgelezen in de tabellen van Radson ‘Integra’. De waarden zijn dezelfde voor Radson ‘Compact’.

Voor de Henrad ‘Standard’ wordt volgende tabel opgegeven (waarden per meter radiatorlengte: W afgifte, kg massa, ℓ waterinhoud, m² oppervlakte; n exponent):

Hoogte [mm]		Type 10	Type 11	Type 20	Type 21	Type 22	Type 33	hartafstand [mm]
300	W	338	517			1.012	1.418	250
	kg	6,17	8,38			15,90	23,80	
	l	1,89	1,89			3,70	5,40	
	m²	0,68	2,09			3,51	5,26	
	n	1,28	1,31			1,33	1,32	
400	W	430	687		1.000	1.281	1.805	350
	kg	8,22	11,68		18,78	21,83	32,67	
	l	2,34	2,34		4,67	4,67	6,87	
	m²	0,91	2,95		3,37	4,92	7,38	
	n	1,29	1,31		1,33	1,33	1,33	
500	W	521	848	883	1.210	1.535	2.169	450
	kg	10,28	14,99	20,08	23,84	27,77	41,53	
	l	2,80	2,80	5,63	5,63	5,63	8,33	
	m²	1,14	3,80	2,28	4,31	6,33	9,49	
	n	1,30	1,30	1,32	1,33	1,33	1,34	
600	W	610	1.000	1.031	1.409	1.778	2.514	550
	kg	12,33	18,30	24,30	28,90	33,70	50,40	
	l	3,25	3,25	6,60	6,60	6,60	9,80	
	m²	1,37	4,66	2,74	5,24	7,74	11,61	
	n	1,31	1,29	1,32	1,33	1,33	1,35	
700	W	699	1.142	1.174	1.597	2.011	2.841	650
	kg	14,19	21,33	28,00	33,50	39,13	58,47	
	l	3,77	3,77	7,63	7,63	7,63	11,37	
	m²	1,60	5,51	3,20	6,18	9,15	13,72	
	n	1,32	1,29	1,32	1,34	1,34	1,35	
900	W	877	1.397	1.449	1.941	2.453	3.448	850
	kg	17,90	27,40	35,40	42,70	50,00	74,60	
	l	4,80	4,80	9,70	9,70	9,70	14,50	
	m²	2,06	7,22	4,12	8,05	11,97	17,96	
	n	1,33	1,29	1,33	1,36	1,35	1,37	

Zie ook Tabellen 36-38 (waterinhoud per lengte-eenheid van buizen en per geïnstalleerd vermogen) en Figuur 67 (geschatte waterinhoud op basis van verwarmingsvermogen) van Rapport n°1.

2.1.2.8 Droge massa

De massa (in kg/m) kan worden afgelezen in de tabellen van Radson 'Integra'. De waarden zijn dezelfde voor Radson 'Compact'.

Voor de Henrad 'Standard', zie tabel in vorige paragraaf.

2.1.2.9 Specifieke warmtecapaciteit van de droge massa

Zie paragraaf §2.1.1.9.

2.1.2.10 Geleidingscoëfficiënt van panelen en convectie-elementen

2.1.2.11 Sectie van met water doorstroomde panelen

Ontwikkelde lengte van elk 'pad'.

2.2 Vloerverwarming

2.2.1 Vereenvoudigd

2.2.1.1 Nominale inlaattemperatuur

Bij zeer lage-temperatuurverwarming (ZLTV) is de vertrekwatertemperatuur aan de generator (i.c. warmtepomp) maximum 40 °C en groter dan of gelijk aan 30 °C. Bijvoorbeeld 35 °C.

2.2.1.2 Nominale uittredetemperatuur

Bij zeer lage-temperatuurverwarming (ZLTV) is het temperatuurverschil vertrek-retour best tussen 5 en 10 °C. Bijvoorbeeld 30 °C.

2.2.1.3 Nominale ruimtetemperatuur

Dit hangt af van het soort lokaal (badkamer vs. slaapkamer). Zie Deeltaak 1.1 'Thermisch comfort van gebouwen'.

2.2.1.4 Nominaal vermogen

Bij de warmteverliesberekening moet er bij vloerverwarming geen rekening gehouden worden met de transmissieverliezen doorheen de verwarmde vloer.

De firma Thermoduct stelt tabellen ter beschikking met afgiftevermogens in functie van de vloerbekleding, de gemiddelde watertemperatuur en de pasafstand (zie verder) tussen de buizen. De tabellen zijn enkel geldig voor een nat vloerverwarmingssysteem en zijn opgesteld volgens de norm NBN EN 1264-2. Ze gaan uit van een chape met een dikte van 5 cm en verwarmingsbuizen met een diameter van 18 mm.

Naargelang de vloerbekleding (warmteweerstand):

R_λ (m²K/W)	**Vloerafwerking**
0	Keramische tegel
0,05	Kunststof vloerbekleding
0,10	Tapijt
0,15	Dik tapijt of parket

Enkel de tabellen met een gemiddelde watertemperatuur van 35 °C (regime 40/30) worden gegeven; de tabellen geven de warmteafgifte (W) met daaronder de berekende vloertemperatuur (°C) bij deze afgifte:

T gem. [°C]	T lokaal [°C]	LP 10	LP 15	LP 20	LP 25	LP 30
35	16	117	102	89	77	68
		25,8	24,5	23,4	22,4	21,6
	18	104	91	79	69	60
		26,7	25,6	24,6	23,7	23,0
	20	91	79	69	60	53
		27,6	26,6	25,8	25,0	24,4
	22	78	68	59	51	45
		28,5	27,6	26,9	26,3	25,7
	24	64	56	49	43	37
		29,4	28,7	28,1	27,5	27,1

$R_\lambda = 0$

T gem. [°C]	T lokaal [°C]	LP 10	LP 15	LP 20	LP 25	LP 30
35	16	86	77	68	61	54
		23,2	22,4	21,7	21,1	20,5
	18	77	68	61	55	48
		24,4	23,7	23,1	22,5	22,0
	20	67	60	53	48	42
		25,6	25,0	24,4	24,0	23,5
	22	57	51	46	41	36
		26,8	26,3	25,8	25,4	25,0
	24	47	42	38	34	30
		28,0	27,5	27,1	26,8	26,5

$R_\lambda = 0,05$

T gem. [°C]	T lokaal [°C]	LP 10	LP 15	LP 20	LP 25	LP 30
35	16	69	62	57	51	47
		21,7	21,2	20,7	20,3	19,9
	18	61	55	50	46	41
		23,1	22,6	22,2	21,8	21,4
	20	53	48	44	40	36
		24,5	24,0	23,7	23,3	23,0
	22	46	41	38	34	31
		25,8	25,5	25,1	24,8	24,6
	24	38	34	31	28	26
		27,1	26,9	26,6	26,3	26,1

$R_\lambda = 0,10$

T gem. [°C]	T lokaal [°C]	LP 10	LP 15	LP 20	LP 25	LP 30
35	16	57	52	48	44	41
		20,8	20,4	20,0	19,7	19,4
	18	51	47	43	39	36
		22,2	21,9	21,6	21,3	21,0
	20	44	41	37	34	32
		23,7	23,4	23,1	22,9	22,6
	22	38	35	32	29	27
		25,2	24,9	24,7	24,4	24,3
	24	31	29	26	24	22
		26,6	26,4	26,2	26,0	25,9

$R_\lambda = 0,15$

De Belgische firma HENCO levert complete vloerverwarmingssystemen. De warmteafgifte (W/m²) met een PE-Xc/AL/PE-Xc meerlaagspijp met een diameter van 16 mm wordt gegeven in volgende tabellen; net daaronder staat de temperatuur van de vloer:

		θv	45°C / ΔT 10°C				40°C / ΔT 8°C				35°C / ΔT 5°C			
	θu	Rt	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15
T10	16		135	115	90	75	113	96	75	62	94	80	62	52
			28	27	25	23	27	25	23	22	25	24	22	21
	18		124	105	82	68	101	86	67	56	82	70	55	45
			29	28	26	25	28	26	25	24	26	25	24	23
	20		112	95	74	62	90	76	60	50	71	60	47	39
			30	29	27	26	29	28	26	25	27	26	25	24
	22		100	85	66	55	78	66	52	43	59	50	39	33
			32	30	29	28	30	29	27	27	28	27	26	26
	24		89	75	59	49	66	56	44	37	47	40	31	26
			33	31	30	29	31	30	29	28	29	28	28	27

		θv	45°C / ΔT 10°C				40°C / ΔT 8°C				35°C / ΔT 5°C			
	θu	Rt	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15
T15	16		121	105	81	68	101	88	68	57	84	73	56	47
			27	26	24	23	26	24	23	22	24	23	22	21
	18		110	96	74	63	90	79	61	51	73	64	49	42
			28	27	25	24	27	26	24	23	25	24	23	23
	20		100	87	67	68	80	70	54	45	63	55	42	36
			30	28	27	27	28	27	26	25	26	26	25	24
	22		90	78	60	51	70	60	47	39	53	46	35	30
			31	30	28	27	29	28	27	26	28	27	26	25
	24		79	69	53	45	59	51	40	33	42	37	28	24
			32	31	30	29	30	29	28	28	29	28	27	27

		θv	45°C / ΔT 10°C				40°C / ΔT 8°C				35°C / ΔT 5°C			
	θu	Rt	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15
T20	16		108	96	73	63	90	80	61	52	75	67	51	43
			26	25	23	22	25	24	22	21	23	23	21	21
	18		99	88	69	57	81	72	55	47	66	58	44	38
			27	27	25	24	26	25	24	23	25	24	23	22
	20		90	80	60	52	72	64	48	41	56	50	38	33
			29	28	26	25	27	26	25	25	26	25	24	24
	22		80	71	54	46	62	55	42	36	47	42	32	27
			30	30	28	27	28	28	27	26	27	27	26	25
	24		70	63	48	41	53	47	36	31	38	34	26	22
			31	30	29	28	30	29	28	28	28	28	27	27

		θv	45°C / ΔT 10°C				40°C / ΔT 8°C				35°C / ΔT 5°C			
	θu	Rt	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15	0,02	0,05	0,1	0,15
T22.5	16		102	92	69	60	85	77	58	50	71	64	48	41
			26	25	23	22	24	24	22	21	23	22	21	21
	18		94	84	64	55	77	69	52	45	62	56	42	36
			27	26	24	24	26	25	23	23	24	24	23	22
	20		85	76	57	50	68	61	46	40	53	48	36	31
			28	28	26	25	27	26	25	24	26	25	24	24
	22		76	68	52	45	59	53	40	34	45	40	30	26
			30	29	27	27	28	28	26	26	27	26	26	25
	24		67	60	45	40	50	45	34	29	36	32	24	21
			31	30	29	28	29	29	28	27	28	28	27	27

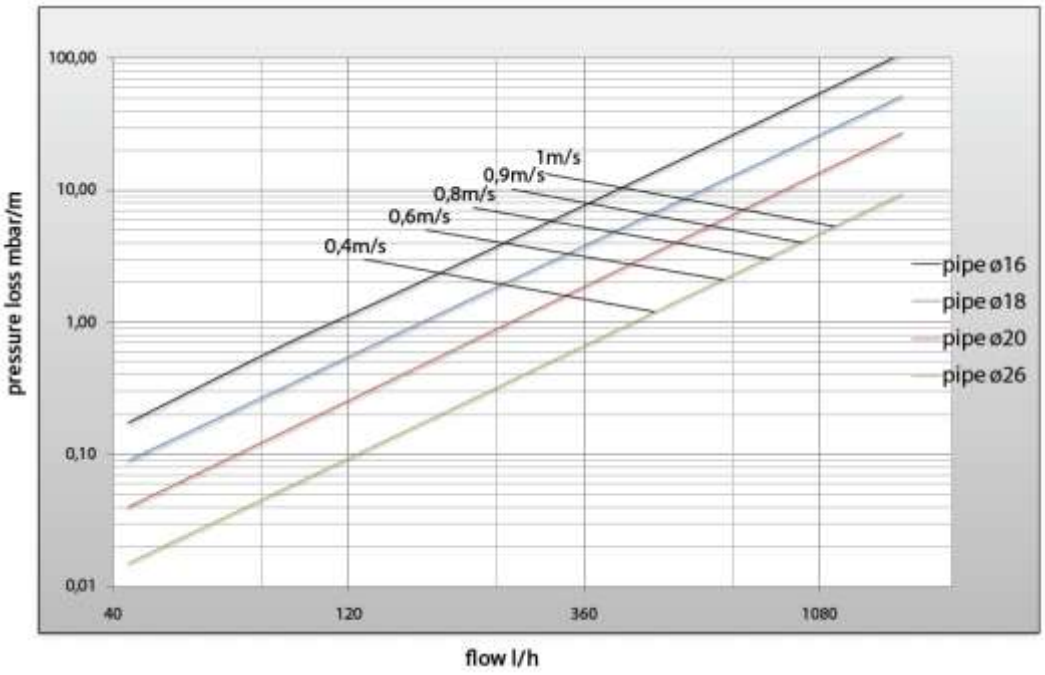
Waarbij:

- T: de afstand tussen de buizen in mm
- θ_v: de vertrekwatertemperatuur in °C
- θ_u: de ruimtetemperatuur in °C

2.2.1.5 Stralingsfractie (bij nominale condities)

2.2.1.6 Radiatorcoëfficiënt (volgens EN 442-2)

Drukverliezen volgens HENCO:



2.2.1.7 Waterinhoud

Omwille van de beperking van de totale drukverliezen, moet de totale buislengte per kring beperkt worden tot 120 meter. HENCO raadt aan om de lengte te beperken tot 110 m bij een diameter van 16 mm.

2.2.1.8 Droge massa

2.2.1.9 Specifieke warmtecapaciteit van de droge massa

Een vloerelement uit beton heeft een soortelijke warmte c tussen 840 en 870 J/kgK en een dichtheid ρ tussen 2450 en 2500 kg/m³.

De warmte opslagcapaciteit of accumulatie (W/m²K) kan berekend worden met:

$$C = \frac{c.\rho.d}{3600}$$

2.2.2 Gedetailleerd

2.2.2.1 Vloeroppervlakte

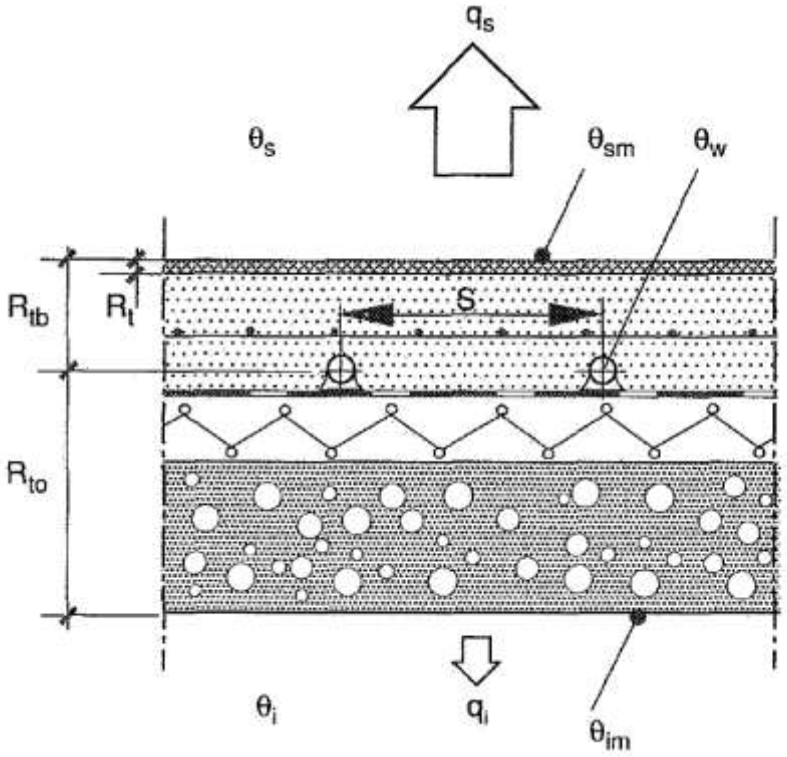
Dit is de netto-vloeroppervlakte: de totale beschikbare vloeroppervlakte verminderd met de oppervlakten waar geen verwarmingsbuizen kunnen worden gelegd (bv. onder badkuip).

2.2.2.2 Opbouw van de vloer

Het meest gebruikte systeem van vloerverwarming is het natte systeem waarbij een buizennet, dat doorlopen wordt met water op lage temperatuur (max. 40 tot 55 °C), ingebed wordt in de dekvloer.

Gevraagd worden de sectie met afmetingen, positie van de leidingen en voor elk materiaal de warmtegeleiding, dichtheid en specifieke warmtecapaciteit. Dit wordt geïllustreerd door middel van onderstaand schema met volgende grootheden (WTCB-TV n°181):

Groot-heid	Eenheid	Definitie
θ_s	°C	Droge resulterende temperatuur van de omgeving boven de vloer; gewenste temperatuur van het te verwarmen vertrek
θ_{sm}	°C	Gemiddelde bovenste vloeroppervlaktetemperatuur
θ_i	°C	Droge resulterende temperatuur van de omgeving onder de vloer
θ_{im}	°C	Gemiddelde onderste vloeroppervlaktetemperatuur
θ_w	°C	Gemiddelde watertemperatuur in de buis
q_s	W/m²	Warmteafgifte naar boven
q_i	W/m²	Warmteafgifte naar beneden
R_{tb}	m²K/W	Warmteweerstand boven de buis; vanaf aslijn tot bovenoppervlak
R_{to}	m²K/W	Warmteweerstand onder de buis; vanaf aslijn tot onderoppervlak
R_t	m²K/W	Warmteweerstand van vloerbedekking
s	m	Pasafstand tussen de buizen



De totale warmteweerstand boven de buizen R_{tb} met warm water moet beperkt worden tot 0,20 m²K/W. De warmteweerstand van de vloerbedekking R_t moet beperkt worden tot 0,17 m²K/W.

Onderstaande tabel geeft de minimale warmteweerstand van vloerisolatie onder verwarmingsbuizen (NBN EN-1264-4):

Minimale warmteweerstand (m²K/W)	Temperatuur onverwarmde ruimte onder vloer (°C)			Vloer op volle grond	Vloer boven verwarmde ruimte
	$\theta_s < -5$	$-5 \leq \theta_s \leq 0$	$0 \leq \theta_s \leq 10$		
$R_{\lambda,ins}$	2,00	1,50	1,25	1,25	0,75

Opmerking: Voor homogene isolatielagen of –platen is de warmteweerstand te bepalen als: $R_{\lambda,ins} = d_{\lambda,ins}/\lambda_{ins}$, waarbij $d_{\lambda,ins}$ de dikte is van de isolatielaag (in m) en λ_{ins} de warmtegeleidingscoëfficiënt van het isolatiemateriaal (in W/mK). In het geval van niet-homogene of geprofileerde isolatieplaten dient bij de bepaling van $R_{\lambda,ins}$ een oppervlaktegewogen gemiddelde dikte van de isolatieplaat in rekening gebracht te worden; in het geval van isolatieplaten met speciale vorm (bvb. met noppen) kan een volumegewogen gemiddelde dikte aangenomen worden; meer details hierover zijn gegeven in NBN EN 1264-3.

De oppervlaktetemperatuur van de vloer θ_{sm} mag maximaal 29 °C bedragen in de verblijfszone en maximaal 35 °C in de randzone met verhoogde warmteafgifte.

2.2.2.3 Onderlinge afstand tussen de leidingen

Deze gemiddelde afstand wordt de pasafstand s genoemd; dit is het resultaat van de berekening van de warmteafgifte in een bepaald vertrek. Er worden richtwaarden gegeven naargelang de netto-vloeroppervlakte van het vertrek:

s (m)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
$A_{n,max}$ (m²)	6	12	18	24	30	36	42	48

Om het koudestralingseffect gedeeltelijk te compenseren kan men een randstrook invoeren met verhoogde warmteafgifte langs de koude buitenwanden van het vertrek. Dit wordt gerealiseerd door middel van een kleinere pasafstand tussen de buizen. Het invoeren van een randzone met verhoogde buizenconcentratie is slechts nodig voor vertrekken waar een comforteis gesteld is (woonkamer, bureau, …).

2.2.2.4 Buitendiameter en dikte van de leidingen

Meest gebruikte systemen (WTCB-TV n°181):

- Ø 12/16 mm (buitendiameter 16 mm, wanddikte 2 mm)
- Ø 13/17 mm (buitendiameter 17 mm, wanddikte 2 mm)
- Ø 14/18 mm (buitendiameter 18 mm, wanddikte 2 mm)
- Ø 16/20 mm (buitendiameter 20 mm, wanddikte 2 mm)

2.2.2.5 Thermische geleidbaarheid van de leidingen

PE-RT (Polyethylene of Raised Temperature Resistance: netvormig polyetheen)

- Dikte verwarmingsbuis: 0,933 g/cm³
- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,38-0,40 W/mK

PE-Xa (bv. Uponor Wirsbo)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,35-0,38 W/mK

PEX-AL-PEX (PE-X met Al-laag ertussen)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,40 W/mK

PB (polybuteen)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,22 W/mK

PP (polypropyleen)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,22 W/mK

2.2.2.6 Ruwheid aan binnenkant van de leidingen

PE-Xa en PEX-AL-PEX

- Ruwheid van het interne oppervlak: 0,0004 mm

2.2.2.7 Convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt aan vloeroppervlakte

De warmteoverdrachtscoëfficiënt zal afhangen van de positie van het oppervlak en van de oppervlaktetemperatuur in relatie met de kamertemperatuur. De warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling is voor alle gevallen ongeveer gelijk aan 5,5 W/m²K (Olesen, 1997).

De convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt zal echter wijzigen. Een plafond heeft een capaciteit om te koelen tot 100 W/m² en om te verwarmen tot 40-50 W/m². Een vloer heeft een capaciteit om te verwarmen tot 100 W/m² en om te koelen tot 40 W/m².

Warmtetransfer tussen de ingebedde buizen en de wand, de vloer of het plafond zal de wetten van de warmtegeleiding volgen aangezien er zich geen lucht in de constructie bevindt.

2.2.2.8 Absorptie en emissiecoëfficiënt van de vloerafwerking

2.3 TABS

TABS = Thermo-Actieve Bouwdeel Systemen (‘betonkernactivering’ of BKA).

De norm NBN EN 15377-3 (2008) is van toepassing.

In het eindwerk ‘Modellering van geactiveerde gebouwmassa op componentniveau’ van Y. Hannaert en S. Moens (De Nayer Instituut, 2007) worden prefab-welfsels van de firma Echo, Climadeck KP20 en VS12, gemodelleerd.

2.3.1 Vereenvoudigd

2.3.1.1 Nominale inlaattemperatuur

Verwarming via ZLTV (zeer lage-temperatuurverwarming) en koeling via HTK (hoge-temperatuurkoeling).

Een belangrijk verschil tussen BKA en andere geïntegreerde verwarming is de aanvoertemperatuur. Vloerverwarming bijvoorbeeld werkt met aanvoertemperaturen hoger dan 30 °C. BKA werkt in geval van koeling met aanvoertemperaturen tussen 14 en 20 °C. Bij verwarming ligt de aanvoertemperatuur tussen de 24 en 30 °C (ter Borch *et al.*, 2011 en ISSO 81).

De aanvoertemperatuur voor koeling dient zodanig ingesteld te worden dat de oppervlaktetemperatuur niet onder de dauwpunttemperatuur daalt om condensatie te vermijden.

Een veilige methode is de aanvoertemperatuur te beperken tot de dauwpuntstemperatuur van de lucht in de ruimte. Dit dauwpunt moet berekend worden met de maximaal mogelijke relatieve vochtigheid. Een andere mogelijkheid is de ventilatielucht af te koelen tot onder de ruimtetemperatuur; zo kan de latente warmte worden afgevoerd. Het vochtgehalte blijft zo onder controle, waardoor de wateraanvoertemperatuur indien nodig lager kan worden ingesteld (ter Borch *et al.*, 2011).

WTCB Rapport n°1 spreekt van watertemperaturen van 22 tot 28 °C voor verwarming en van 16 tot 20 °C voor koeling.

2.3.1.2 Nominale uittredetemperatuur

Vloer- en wandkoeling en betonkernactivering: ΔT = 3-5 °C (ISSO 81).

2.3.1.3 Nominale ruimtetemperatuur

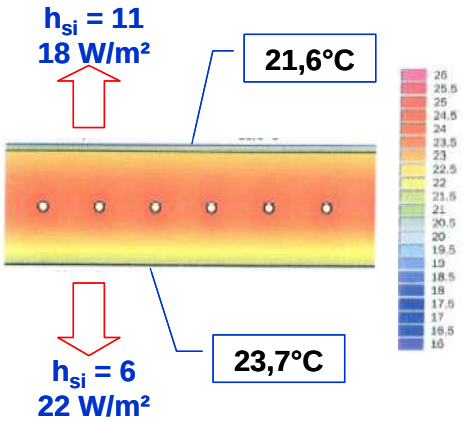
Dit hangt af van het soort lokaal (badkamer vs. slaapkamer). Zie Deeltaak 1.1 ‘Thermisch comfort van gebouwen’.

2.3.1.4 Nominaal vermogen

Volgens studiebureau Heedfeld NV (Energiebesparingsforum 27/09/2012); benaderende afgiften:

- Koeling: 45 W/m²
- Verwarming: 33 W/m²

WTCB Rapport n°1 spreekt van vermogens van 20 tot 40 W/m² voor verwarming en van 40 tot 60 W/m² voor koeling. Aangezien er hogere vermogens worden bereikt in de koelfunctie, wordt het ontwerp en de dimensionering van het systeem preferentieel uitgewerkt voor topkoeling van gebouwen. Voorbeeld van numerieke berekening (h_{si} = warmteoverdrachtscoëfficiënt in W/m²K):



Norm NBN EN 15377-3 vermeldt een warmteweerstand R van een betonnen plaat met verhoogde vloer gelijk aan 0,45 m²K/W (voorbeeld). De warmtegeleidbaarheid λ van enkel de betonnen plaat bedraagt 1,15-2,0 W/mK (conductief gebied).

Zie ook doctoraat Maarten Sourbron (Tabel 3.4):

Parameter	Vloer	Plafond
Minimale oppervlaktetemperatuur (°C)	19	19
Maximum koelvermogen (W/m²)	42	65
Maximale oppervlaktetemperatuur (°C)	29	33
Maximum verwarmingsvermogen (W/m²)	86	79

Bij kamertemperatuur in de winter gelijk aan 20 °C en in de zomer gelijk aan 26 °C

2.3.1.5 Stralingsfractie (bij nominale condities)

Warmteoverdracht bij BKA gebeurt door een combinatie van straling en convectie. De verdeling tussen beide is functie van het temperatuurverschil tussen de ruimtelucht en de betonoppervlakte en verloopt lineair van:

- 20% convectie – 80% straling bij $\Delta T_{lucht\text{-}opp}$ = 1 °C tot
- 30% convectie – 70% straling bij $\Delta T_{lucht\text{-}opp}$ = 4 °C

Straling is dus de dominante manier van warmteoverdracht (bron: THERMAC handboek).

Hannaert en Moens stellen dat de warmteovergangscoëfficiënt door convectie α_c kan berekend worden door methodes beschreven in ISSO-publicaties 10 'Vloerverwarming' (1985) en 48 'Koelplafonds' (2001) alsook beschreven door Rietschel en Fitzner (Raum Klimatechnik, Springer Verlag 2005). Samenvattend wordt gesteld dat convectie 30-35% en straling 67-70% voor hun rekening nemen.

2.3.1.6 Radiatorcoëfficiënt (volgens EN 442-2)

2.3.1.7 Waterinhoud

2.3.1.8 Droge massa

2.3.1.9 Specifieke warmtecapaciteit van de droge massa

Een vloerelement uit beton heeft een soortelijke warmte c tussen 840 en 870 J/kgK en een dichtheid ρ tussen 2450 en 2500 kg/m³.

De warmte opslagcapaciteit of accumulatie (W/m²K) kan berekend worden met:

$$C = \frac{c.\rho.d}{3600}$$

De soortelijke warmtecapaciteit van beton wordt nauwelijks beïnvloed door de samenstelling of de aard van de verwerkte toeslagmaterialen. Immers, cementsteen en alle gangbare toeslagmaterialen hebben ongeveer dezelfde soortelijke warmtecapaciteit. Ook de structuur en zelfs de volumieke massa hebben geen invloed omdat de soortelijke warmtecapaciteit wordt uitgedrukt per kg materiaal.

2.3.2 Gedetailleerd

2.3.2.1 Vloeroppervlakte

2.3.2.2 Opbouw van de vloer

Overzicht vloertypes

	Vloertype	BKA	Overige installaties in het werk aan te brengen	Uitvoering leidingen BKA	Storten van betonmortel in het werk
A	In het werk gestort	Naar wens in dikte en in zonering	Geen beperking	Op de bouwplaats	Volledige dikte
B	In het werk gestort schuimbetontussenlaag	Naar wens in dikte en in zonering	Geen beperking	Op de bouwplaats	Volledige dikte
C	Staalplaatbetonvloer	Naar wens in dikte en in zonering	Geen beperking	Op de bouwplaats	Volledige dikte
D	Breedplaatvloer	In de prefab schil, zonering per 2,4 of 3 m	Geringe beperking	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	ca. 75% van de dikte
E	Breedplaatvloer	Op de prefab schil zonering naar wens	Geringe beperking	Op de bouwplaats	ca. 75% van de dikte
F	Breedplaat met gewicht-besparende maatregelen	In de prefab schil, zonering per 2,4 of 3 m	Beperking t.p.v. 'luchtkasten'	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	ca. 75% van de dikte
G	Breedplaat met gewicht-besparende maatregelen	Op de prefab schil, zonering naar wens	Beperking t.p.v. 'luchtkasten'	Op de bouwplaats	ca. 75% van de dikte
H	Vleugelplaatvloer	In het prefab element, zonering per 1200 mm	T.p.v de 'vleugels' en plaateinden	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	ca. 25% van de doorsnede
I	Kanaalplaatvloer	In de druklaag of in het prefab element, zonering per 1200 mm	T.p.v. gespaarde sleuven in langsrichting en plaateinden	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	Plaatsleuven en sparingen
J	Sandwichbreedplaatvloer	In het prefab element, zonering per 2400 mm	Vanaf bovenzijde tussen platen in	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	Bovenzijde is afwerkzijde
K	Volle-diktevloer	In het prefab element, zonering per 2400 mm	Volledig geïngineerd en ingestort	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	Plaatsleuven en sparingen evt. afwerkvloer
L	Staalbalkbetonplaatvloer	In het prefab element, zonering per 2400 mm	Geringe beperking	In de fabriek, koppelingen op de bouwplaats	Geen dampwel gietvloer

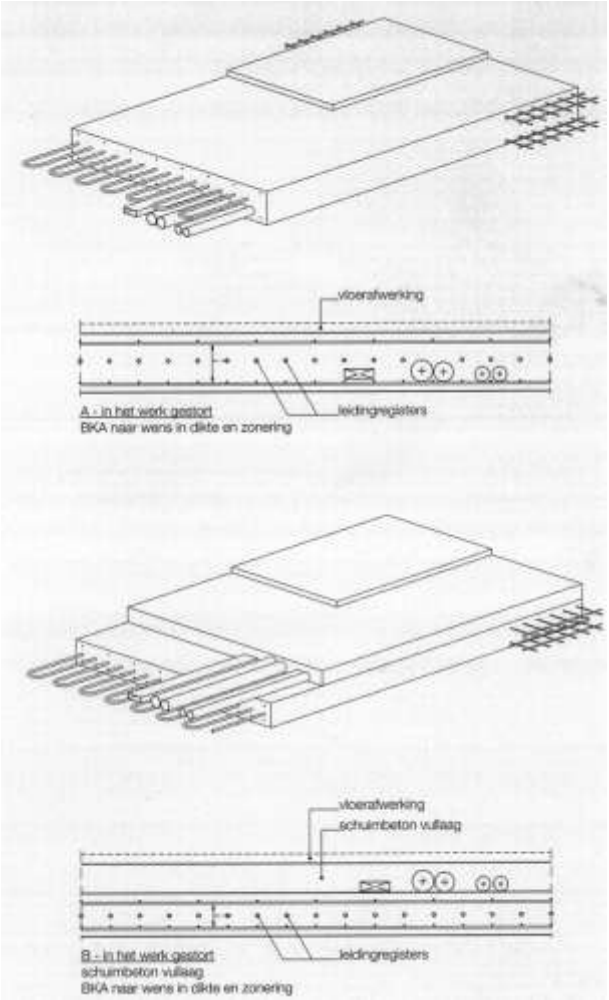
Behoudens vloertypen B* en L* kunnen alle vloeren worden uitgevoerd in een variant met een zwevende dekvloer al of niet met vloerverwarming. Dit geeft een scheiding van accumulatie in het beton van het plafonddeel en de activering van de vloer. Tevens geeft het een aanmerkelijke verbetering in wering van contactgeluid. Bij type L is nog wel een topvloer (gietvloer op zwaluwstaartvloer) mogelijk.

* scheiding van constructieve vloer en toplaag zit al in het vloersysteem.

Type A, B: in het werk gestort

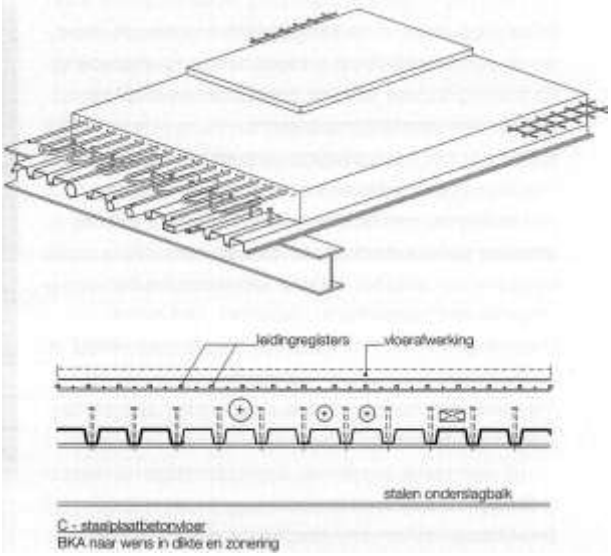
De vloer wordt op het werk bekist en tijdelijk ondersteund. De wapening wordt aangebracht waaraan vervolgens de leidingen van de BKA door middel van speciale haken wordt opgehangen. Na het storten van het beton en de uitharding wordt de bekisting en ondersteuning weggenomen.

In het werk gestorte vloeren bieden de meeste ruimte en flexibiliteit voor leidingen en ventilatiekanalen.



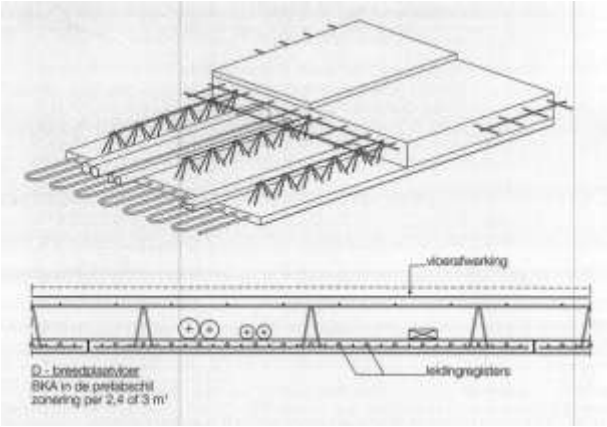
Type C: staalbetonvloerplaat

De vloer bestaat uit een geprofileerde dunne staalplaat die constructief samenwerkt met de daarop gestorte betonvloer. Omdat de staalplaat minder accumulerend vermogen bezit als een betonschil, lijkt dit systeem meer op vloerverwarming dan BKA.



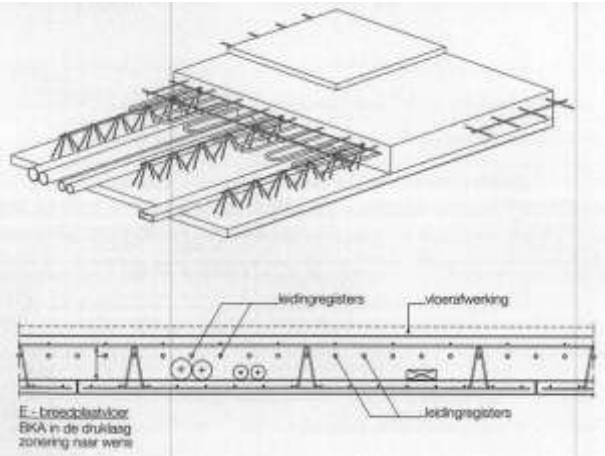
Type D: breedplaatvloer met leidingen in de onderschil

Het leidingregister wordt voorzien in de dunne geprefabriceerde betonnen vloerelementen. De constructief meewerkende betonlaag en de overige benodigde wapening wordt in het werk aangebracht.



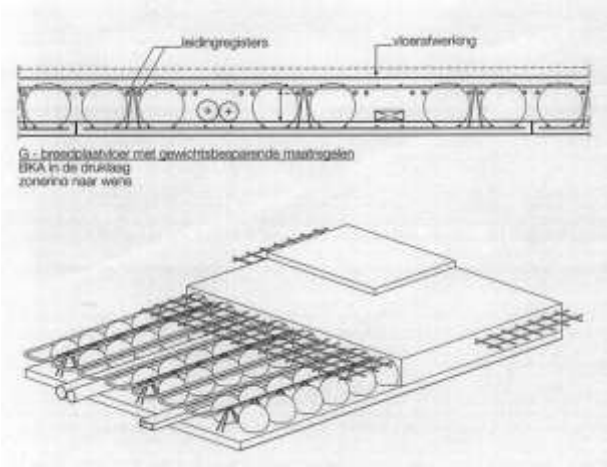
Type E: breedplaatvloer met leidingen in de druklaag

Dit type is een variant van het type D. In dit geval wordt het leidingregister evenwel op het werk in de druklaag voorzien.

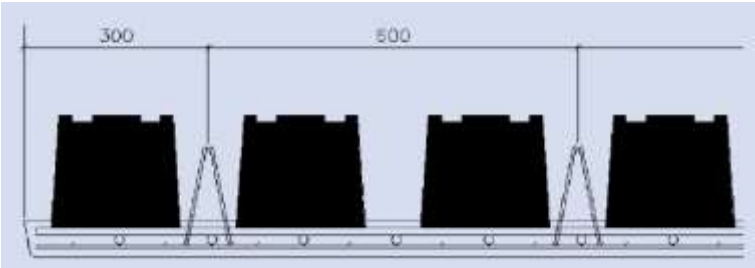


Type G: breedplaatvloer met gewichtsbesparende maatregelen, BKA in de prefabschil

Het leidingregister bevindt zich in de prefab-onderschil. Op deze onderschil zijn kunststof of polystyreen bollen, potten, … aangebracht. Er ontstaat een grote vrijheid voor het plaatsen van de koppelleidingen en verluchtingskanalen.



Airdeck is een voorbeeld van dit type:

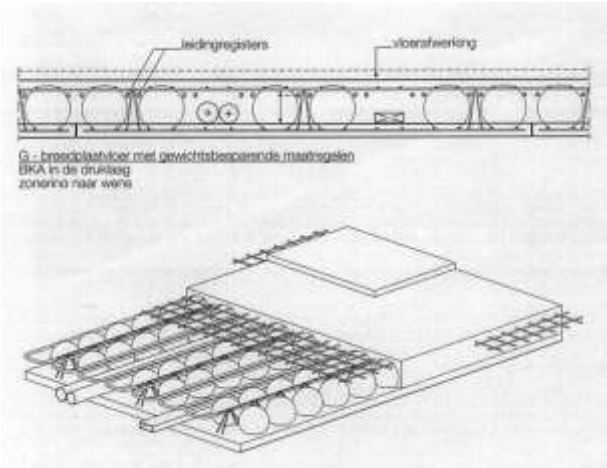


De polypropyleen airboxen zijn geordend in een 300×300 mm raster. Volgende vloertypes zijn mogelijk:

Vloertype	Dikte (mm)	Hoogte airbox (mm)
A280	280	180
A340	340	240
A390	390	290
A450	450	350

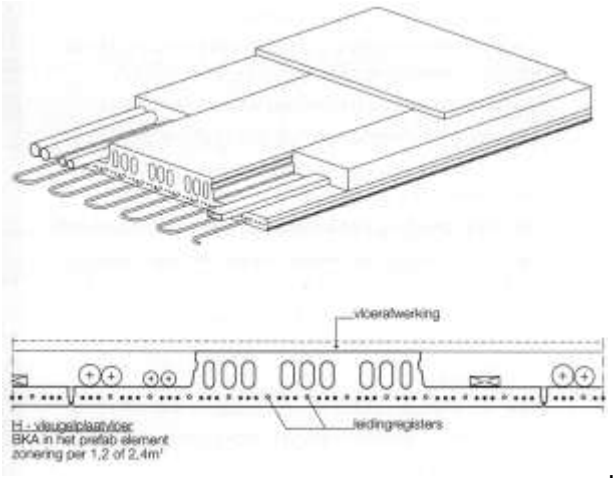
Type H: breedplaatvloer met gewichtsbesparende maatregelen, BKA in de druklaag

Dit type is een variant van het vorige. Het leidingregister wordt op het werk aangebracht in de betonnen druklaag.



Type H: vleugelplaatvloer

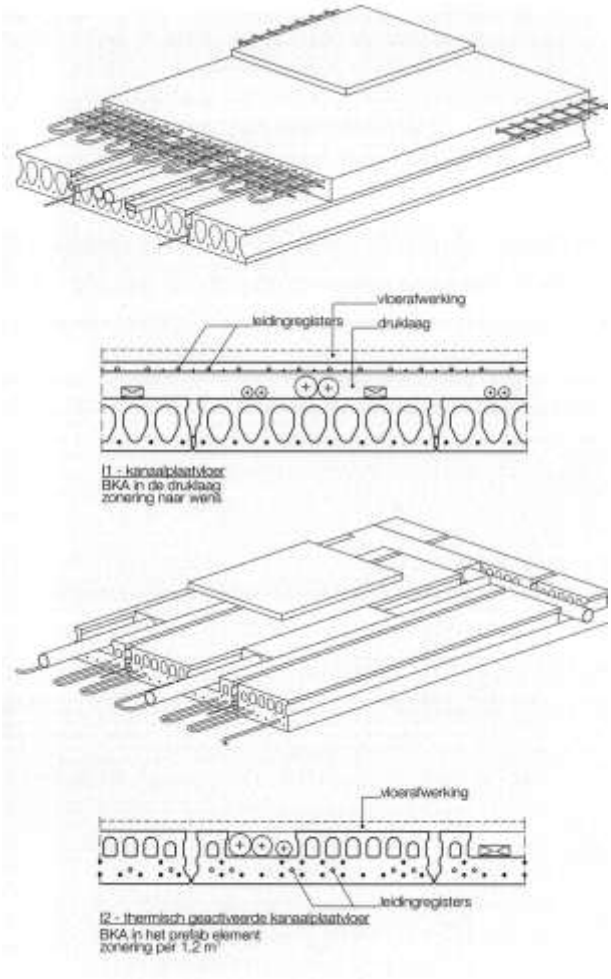
Deze vloer is de combinatie van een breedplaatvloer en een kanaalplaatvloer. Het leidingregister wordt fabrieksmatig aangebracht in de betonnen onderschil. In de open ruimte tussen de kanaalplaten kunnen bijkomende leidingpakketten worden aangebracht. Deze ruimten achteraf al dan niet opgestort met beton of een ander vulmateriaal.



Type I: Kanaalplaatvloer

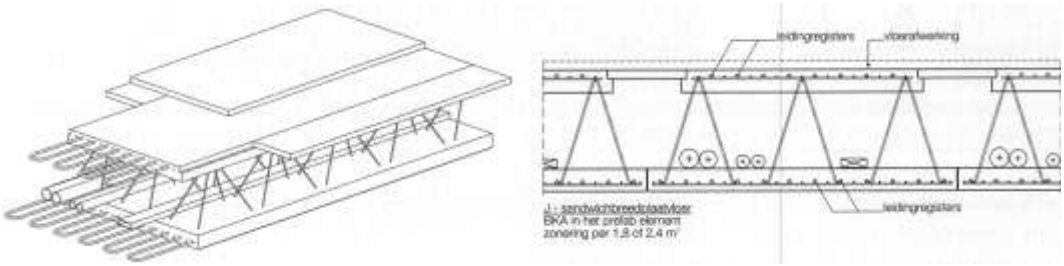
Deze geprefabriceerde vrijdragende vloer is voorzien van holle ruimten.

Hoewel de leidingen destijds ook op het vloerelement in een druklaag werden aangebracht, worden ze nu meestal fabrieksmatig voorzien in de onderschil van het vloerelement.



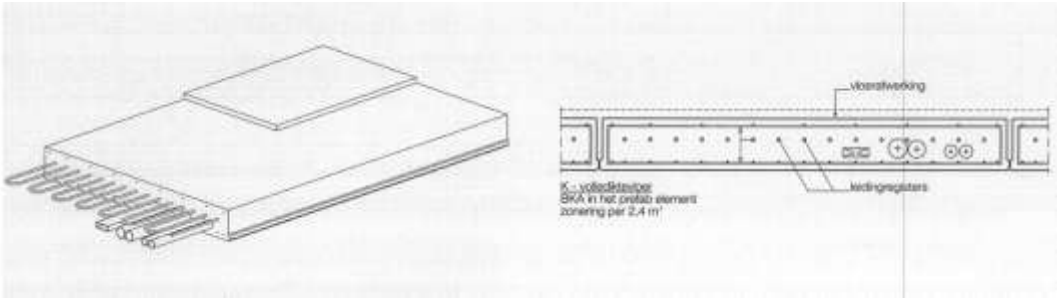
Type J: sandwichbreedplaatvloer

Deze vloer bestaat uit twee op elkaar liggende breedplaatvloeren. Leidingen kunnen zowel in de onder- als bovenlaag worden opgenomen.



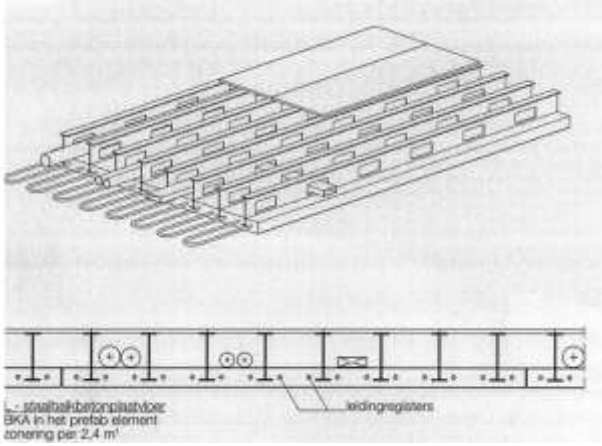
Type K: volle-dikte vloer

In deze massieve vloer zijn de wapening en het leidingregister fabrieksmatig opgenomen.



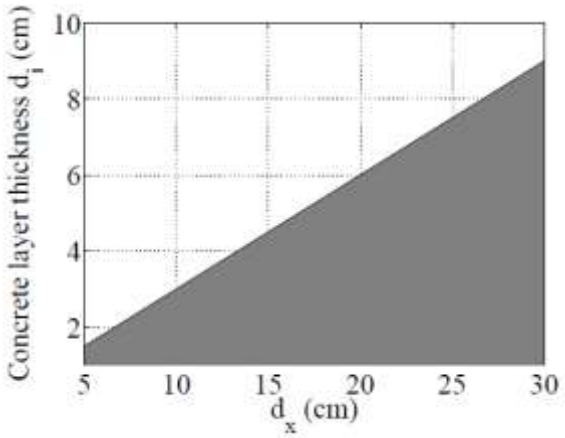
Type L: staalbalkbetonplaatvloer

Deze vloer bestaat uit een betonnen prefab-onderschil waarin IPE-liggers met de onderflens zijn ingestort. De leidingen zijn aangebracht in de betonplaat of in de ter plaatse gegoten topvloer.



De positie van de watervoerende leidingen in de betondoorsnede bepaalt welk oppervlak efficiënter verwarmt of koelt. Een vloer waarbij de leidingen zich lager in de onderschil bevinden zal sneller en beter koelen via het plafondvlak. Een verwarming van het vloeroppervlak zal efficiënter zijn als de watervoerende lagen hoger in de constructie zijn. Zoals in het overzicht werd aangegeven, zijn er vloersystemen waarbij zowel in boven- als onderlaag leidingen kunnen worden voorzien. Het gewenste koel- en verwarmingsvermogen kunnen daarom de positie van de leidingen bepalen. De ligging van de leidingen en de betondekking op de leidingen bepalen het vermogen en/of de reactiesnelheid van het systeem. De diameter van de leidingen en hun onderlinge afstand zijn hierop van invloed. Hoe groter de diameter of hoe kleiner de afstand, des te groter het vermogen en de reactiesnelheid.

Wanneer het EMPA RC-model wordt gebruikt, dan is volgens het doctoraat van M. Sourbron de dikte van de betonlaag boven en beneden de watervoerende buizen d_i functie van de afstand tussen die buizen d_x ($d_i/d_x > 0{,}3$):



2.3.2.3 Onderlinge afstand tussen de leidingen

De norm NBN EN 15377-3 vermeldt een afstand tussen 0,15 en 0,30 m.

2.3.2.4 Buitendiameter en dikte van de leidingen

Meest gebruikte systemen (WTCB-TV n°181):

- Ø 12/16 mm (buitendiameter 16 mm, wanddikte 2 mm)
- Ø 13/17 mm (buitendiameter 17 mm, wanddikte 2 mm)
- Ø 14/18 mm (buitendiameter 18 mm, wanddikte 2 mm)
- Ø 16/20 mm (buitendiameter 20 mm, wanddikte 2 mm)

2.3.2.5 Thermische geleidbaarheid van de leidingen

PE-RT (Polyethylene of Raised Temperature Resistance: netvormig polyetheen)

- Dikte verwarmingsbuis: 0,933 g/cm³
- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,38-0,40 W/mK

PE-Xa (bv. Uponor Wirsbo)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,35-0,38 W/mK

PEX-AL-PEX (PE-X met Al-laag ertussen)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,40 W/mK

PB (polybuteen)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,22 W/mK

PP (polypropyleen)

- Warmtegeleidingscoëfficiënt: 0,22 W/mK

2.3.2.6 Ruwheid aan binnenkant van de leidingen

2.3.2.7 Convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt aan vloeroppervlakte

De warmteoverdracht door convectie en door straling tussen de woonruimte en het betonnen oppervlak wordt gekarakteriseerd door een gezamenlijke warmteoverdrachtscoëfficiënt (α) van 11 W/m²K voor opwaartse warmtestroming (van vloer naar ruimte) en 6 W/m²K voor neerwaartse stroming (van plafond naar ruimte). Dezelfde waarden zijn geldig voor zowel koeling als voor verwarming (NBN EN 15377 en doctoraat M. Sourbron).

De warmteoverdrachtscoëfficiënt zal afhangen van de positie van het oppervlak en van de oppervlaktetemperatuur in relatie met de kamertemperatuur. De warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling is voor alle gevallen ongeveer gelijk aan 5,5 W/m²K (Olesen, 1997).

De convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt zal echter wijzigen. Een plafond heeft een capaciteit om te koelen tot 100 W/m² en om te verwarmen tot 40-50 W/m². Een vloer heeft een capaciteit om te verwarmen tot 100 W/m² en om te koelen tot 40 W/m².

Warmtetransfer tussen de ingebedde buizen en de wand, de vloer of het plafond zal de wetten van de warmtegeleiding volgen aangezien er zich geen lucht in de constructie bevindt.

Doctoraat Maarten Sourbron (Tabel 3.3):

Parameter	Waarde (W/m²K)	Opmerking
$h_{c,c}$	3,36	Warmteoverdracht aan plafond door convectie bij koelen
$h_{c,h}$	0,48	Warmteoverdracht aan plafond door convectie bij verwarmen
$h_{c,c}$	0,44	Warmteoverdracht aan vloer door convectie bij koelen
$h_{c,h}$	3,62	Warmteoverdracht aan vloer door convectie bij verwarmen
h_r	5,6	Warmteoverdracht door straling

THERMAC-handboek:

De warmteoverdrachtscoëfficiënt α is functie van het temperatuurverschil tussen de gemiddelde temperatuur van de vloer en de ruimtetemperatuur. Vermits bij BKA de oppervlaktetemperaturen liggen rond de 23 à 24 °C, blijkt voor BKA een goede waarde voor α 10 W/m²K te zijn. Voor koeling blijkt α ongeveer 6 W/m²K te zijn. Deze waarden kunnen als een constante worden gebruikt in berekeningen met BKA.

Dit komt overeen met bovenste paragraaf (NBN EN 15377; doctoraat M. Sourbron); tussen koeling en verwarming wisselt de warmteoverdracht en het komt er feitelijk op neer dat de opwaartse stroming een α geeft van 10 W/m²K en de neerwaartse stroming een α van 6 W/m²K.

Het optreden van kleine temperatuurverschillen tussen vloer/plafondoppervlak en de ruimtelucht geeft aanleiding tot het zelfregelend effect: door een plotselinge stijging van de interne lasten, wordt automatisch het afgegeven vermogen groter bij koeling en kleiner bij verwarming.

Eindwerk Hannaert en Moens:

Er wordt een tabel met warmteovergangscoëfficiënten voorgesteld in functie van de ΔT en naargelang het de overgang aan de vloer, een wand of het plafond betreft:

Overgang	ΔT (K)	Waarde (W/m²K)
Vloer	3	8,3
Vloer	7	9,5

Wand	3	7,6
Wand	7	8,5
Plafond	3	6,5
Plafond	7	7,0

Er wordt gesteld dat een warmteovergangscoëfficiënt aan de vloer van 11 W/m²K te hoog is voor betonkernactivering en dat beter de waarde van 8 W/m²K wordt gebruikt. De voornaamste reden is dat het temperatuursverschil tussen aanvoer en retour hooguit 3 K bedraagt.

2.3.2.8 Absorptie en emissiecoëfficiënt van de vloerafwerking

Is dit met betrekking tot akoestiek?

2.4 Klimaatplafonds

De Belgische firma Interalu is marktleider op vlak van klimaatplafonds. Ze hebben klimaatplafonds in gipskarton (Planterm) of in staal (Easy-Klima Plus). Hun allernieuwste plafondsysteem is het zogenaamde SAPP-plafond (Smart Acoustic Passive Power). SAPP is voor 40% open en dat laat toe om via nachtspoeling de massa van het gebouw (inertie) te integreren. Als dusdanig is dit systeem compatibel met betonkernactivering hoewel een 'dubbele' investering economisch niet zinvol is en in de praktijk niet zal voorkomen. Het SAPP-systeem kan bestaan uit volle of uit geperforeerde profielen.

2.4.1 Vereenvoudigd

2.4.1.1 Nominale inlaattemperatuur

Vloer- en wandkoeling: 15 tot 20 °C (ISSO 81). Condensatie mag niet plaatsvinden.

Voor Halton CBC (zie verder): maximum 35 °C bij verwarmen, minimum 14-16 °C bij koelen.

2.4.1.2 Nominale uittredetemperatuur

Vloer- en wandkoeling en betonkernactivering: ΔT = 3-5 °C (ISSO 81).

2.4.1.3 Nominale ruimtetemperatuur

Zie Deeltaak 1.1 'Thermisch comfort van gebouwen'.

Volgende tabel geeft voor verschillende combinaties van luchttemperatuur en relatieve vochtigheid de minimale oppervlaktetemperatuur om condensatie te vermijden (bron: Gids actieve gebouwen, Lessius Mechelen, september 2012).

Relatieve vochtigheid (%) →	**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**
Luchttemperatuur (°C):	**Dauwpuntstemperatuur (°C):**					
25					18	19
26					18,9	20
27				18,3	19,8	20,9
28				19,6	20,9	21,8
29			18,8	20,2	21,5	22,8

30		18,3	20	21,3	22,2	23,9
31		19,1	20,8	22,1	23,6	25
32	18	20,2	21,6	23,1	24,6	25,5

2.4.1.4 Nominaal vermogen

De hoeveelheid warmte (W/m²) die weggekoeld kan worden bij een bepaald verschil in ruimtetemperatuur en de gemiddelde vloer (of plafond)temperatuur (bron: Gids actieve gebouwen, Lessius Mechelen, september 2012):

$$q = 7 \cdot (t_{opp.gem.} - t_{operatief})$$

Hierin is $t_{operatief}$ de operatieve of resulterende ruimtetemperatuur. Als de ruimte zich in thermisch evenwicht bevindt, dan komt deze temperatuur overeen met de ruimtetemperatuur in het vertrek.

Het koelvermogen is dan (negatieve waarde bij koelen):

$$P_{koel} = q \cdot A$$

Volgens de norm NBN EN 15377-1 is de warmteovergangscoëfficiënt aan het plafond ongeveer gelijk aan 6,5 W/m²K (bron: WTCB Rapport n°1). De maximale oppervlaktetemperatuur is volgens diezelfde norm gelijk aan 29 °C waardoor de maximale warmteafgifte 59 W/m² bedraagt. Het verschil in stralingstemperatuur in twee tegenovergestelde richtingen (tussen plafond en vloer) moet kleiner zijn dan 5 K, zonder hierbij de maximale oppervlaktetemperatuur van het verwarmde plafond te overschrijden.

De vermogensafgifte van het SAPP-systeem van Interalu werd getest door de universiteit van Stuttgart, Institut für GebäudeEnergetik volgens de norm EN 14037. De staallamellen hebben een breedte van 30 mm en worden gescheiden door openingen van 20 mm breedte. De kunststofbuizen in PE-RT die boven de lamellen liggen, hebben een diameter van 14×1,25 mm; de buisafstand is 50 mm. Er was geen isolatie boven het systeem en de convectie was vrij. Bij een temperatuurverschil ΔT = 15 K bedroeg de warmteafgifte 71 W/m². Het aandeel straling bedroeg 60%. Voor de vergelijking

$$\dot{q} = C \cdot \Delta T^n$$

is n = 1,126 en C = 3,377.

De vermogensopname van de SAPP-panelen van Interalu werd eveneens getest door de universiteit van Stuttgart, Institut für GebäudeEnergetik volgens de norm EN 14240. Het geteste SAPP-systeem had dezelfde configuratie als bij de test van de vermogensafgifte, met uitzondering van het feit dat het systeem 16% geperforeerd is. Bij een temperatuurverschil ΔT = 8 K bedroeg de warmteopname 80 W/m².

De firma Beddeleem levert de klimaatplafonds 'JB Cool'. Dit systeem bestaat uit stalen plafonddelen met polypropyleen (PP-R) buizen (2,4 kg/m²). Het genormaliseerd koelvermogen volgens EN 14240 bedraagt tussen 80 (ΔT = 8 K) en 95 W/m² (ΔT = 10 K) en het genormaliseerd verwarmingsvermogen volgens EN 14037 bedraagt 94 W/m². Deze systemen werden eveneens getest aan de Universiteit van Stuttgart. De thermische transmissie door straling is 60% en 40% voor convectie.

Voor de panelen van TROX Technik (WK-D-WF), gemeten volgens DIN-4715 (nu nieuwere norm EN 14240): *q* tussen 136 en 153 W/m² naargelang de montage. Dit type kan gebruikt worden als vrij hangend element.

Voor de panelen van TROX Technik (WK-D-UG), gemeten volgens DIN-4715: *q* tussen 50 en 80 W/m². Dit type kan in een plaaster plafond worden ingewerkt.

Volgens studiebureau Heedfeld NV (Energiebesparingsforum 27/09/2012):

- Gipskartonplaat voorzien van PUR-schuim en Aℓ-diffusieplaten: ±55 W/m² bij koeling en ±70 W/m² bij verwarming (eerder beperkte vermogens).

- Metalen moduleplafonds en metalen lamellen: tot 100 W/m² zowel in geval van verwarming als koeling.

Voor HALTON CBC (gecombineerde actieve unit voor koeling, verwarming en ventilatie, die verzonken in een verlaagd plafond wordt gemonteerd en geschikt is voor ruimten met een hoge koellast en een lage vochtigheidslast), is het totaal koelvermogen P_t (W) afhankelijk van het type nozzle:

Koeling: nozzel A

qv	l/s	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Leff	m³/h	25	29	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83
1200	ΔPtot	86	112	141														
	Pw	252	276	305														
	Pt	302	333	370														
	LpA	14	16	17														
	Lmin	1,6	1,6	1,6														
	Ld	2,4	2,6	3														
1800	ΔPtot				77	93	111	131										
	Pw				401	437	470	505										
	Pt				473	516	556	599										
	LpA				15	16	17	18										
	Lmin				1,6	1,6	1,6	1,6										
	Ld				2	2,4	2,6	2,6										
2400	ΔPtot							73	85	98	111	125	141					
	Pw							574	611	651	688	725	762					
	Pt							667	712	758	803	847	891					
	LpA							16	17	17	18	18	19					
	Lmin							1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6					
	Ld							2	2	2,4	2,4	2,6	2,6					
3000	ΔPtot											80	90	100	111	123	135	147
	Pw											802	841	882	921	963	1002	1041
	Pt											924	970	1018	1065	1113	1160	1206
	LpA											17	18	18	19	19	20	21
	Lmin											1,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0
	Ld											2	2	2,4	2,4	2,4	2,6	2,6

Koeling: nozzel B

qv	l/s	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Leff	m³/h	36	40	43	47	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83	86	90	94	97	101	104	108	112	115	119	122	126
1200	ΔPtot	68	82	98	115	133																					
	Pw	258	280	301	325	346																					
	Pt	330	359	387	418	447																					
	LpA	11	13	15	17	19																					
	Lmin	1,6	1,6	1,6	1,6	2,6																					
	Ld	2,4	2,6	2,8	3	3,2																					
1800	ΔPtot						71	81	91	102	114	126	139														
	Pw						439	464	490	515	541	566	590														
	Pt						546	579	612	644	677	710	740														
	LpA						13	14	15	17	18	19	20														
	Lmin						1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,6														
	Ld						2,2	2,4	2,6	2,6	2,8	3	3														
2400	ΔPtot											73	81	88	97	105	114	124	133	143							
	Pw											641	668	696	725	753	780	808	835	863							
	Pt											784	819	853	890	925	959	994	1029	1063							
	LpA											16	17	18	19	20	21	22	23	24							
	Lmin											1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,6	2,6							
	Ld											2,2	2,4	2,4	2,4	2,6	2,6	2,6	3	3							
3000	ΔPtot																75	82	88	95	101	109	116	123	131	139	148
	Pw																859	890	920	949	978	1008	1037	1067	1098	1128	1157
	Pt																1038	1076	1113	1150	1186	1223	1259	1296	1335	1371	1408
	LpA																19	20	21	22	22	23	24	25	26	26	27
	Lmin																1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	2,6	2,6
	Ld																2	2,2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,6	2,6	2,6	2,8	3

Koeling: nozzel C

qv	l/s	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Leff	m³/h	50	54	58	61	65	68	72	76	79	83	86	90	94	97	101	104
1200	ΔPtot	73	84	96	108	121	135	149									
	Pw	305	317	331	344	358	370	382									
	Pt	406	424	445	466	485	506	525									
	LpA	14	15	16	18	19	21	22									
	Lmin	4,6	5,6	5,6	6,6	6,6	7,6	5,6									
	Ld	3	3,2	3,6	3,6	3,8	4,2	4,2									
1800	ΔPtot								76	83	91	99	108	117	126	135	145
	Pw								519	535	549	564	578	594	607	623	637
	Pt								670	692	713	736	757	780	801	824	845
	LpA								16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Lmin								4,6	5,6	6,6	5,6	6,6	6,6	6,6	6,6	7,6
	Ld								3	3	3,2	3,2	3,4	3,6	3,6	3,8	3,8

qv	l/s	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Leff	m³/h	101	104	108	112	115	119	122	126	130	133	137	140	144	148	151	155	158	162	166	169
2400	ΔPtot	79	84	90	96	103	109	116	123	130	137	145									
	Pw	759	774	792	808	823	839	855	872	888	904	920									
	Pt	959	982	1007	1030	1053	1076	1098	1123	1146	1169	1192									
	LpA	22	23	24	25	26	26	27	28	29	29	30									
	Lmin	4,6	5,6	5,6	6,6	5,6	6,6	6,6	7,6	6,6	6,6	7,6									
	Ld	2,8	3	3	3	3,2	3,2	3,2	3,6	3,6	3,6	3,8									
3000	ΔPtot								81	86	91	96	101	106	112	117	123	129	135	141	147
	Pw								1016	1035	1053	1071	1086	1104	1122	1139	1157	1173	1190	1208	1226
	Pt								1268	1293	1318	1343	1366	1391	1415	1440	1465	1488	1513	1538	1563
	LpA								27	27	28	29	29	30	30	31	32	32	33	33	34
	Lmin								4,6	5,6	5,6	6,6	6,6	5,6	6,6	6,6	6,6	7,6	6,6	6,6	6,6
	Ld								2,6	2,8	3	3	3	3	3,2	3,2	3,2	3,4	3,6	3,6	3,6

Koeling: nozzel D

qv	l/s	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Leff	m³/h	68	72	76	79	83	87	90	94	97	101	104	108	112	115	119	122	126	130	133	137	140	144
1200	ΔPtot	72	80	88	97	106	115	125	136	146													
	Pw	344	360	376	392	405	421	437	450	466													
	Pt	481	503	526	549	570	593	616	637	660													
	LpA	17	18	19	20	21	23	24	25	26													
	Lmin	5,6	6,6	5,6	6,6	7,6	6,6	7,6	7,6	6,6													
	Ld	3,0	3,0	3,2	3,2	3,6	3,6	3,8	3,8	3,0													
1800	ΔPtot										73	78	84	89	95	101	108	114	121	127	134	142	149
	Pw										580	598	613	631	649	666	684	700	717	735	753	768	786
	Pt										781	805	828	853	878	903	928	951	975	1000	1025	1048	1073
	LpA										22	22	23	24	24	25	26	26	27	28	28	29	30
	Lmin										5,6	6,6	5,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	7,6	7,6	7,6	5,6
	Ld										2,6	2,8	3	3	3	3,2	3,2	3,2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,8

Koeling: Nozzel D

qv	l/s	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Leff	m³/h	137	140	144	148	151	155	158	162	166	169	173	176	180	184	187	191	194
2400	ΔPtot	79	83	88	92	97	101	106	111	116	121	126	132	137	143	148		
	Pw	859	878	896	916	935	953	972	992	1010	1029	1047	1067	1086	1104	1124		
	Pt	1131	1158	1183	1209	1236	1261	1288	1315	1339	1366	1391	1418	1445	1469	1496		
	LpA	28	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	35	35	36	36		
	Lmin	5,6	5,6	6,6	6,6	5,6	6,6	6,6	6,6	7,6	6,6	6,6	6,6	7,6	7,6	7,6		
	Ld	2,6	2,6	2,8	3	3	3	3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,4	3,6	3,6	3,6		
3000	ΔPtot													92	96	100	104	108
	Pw													1202	1224	1243	1255	1255
	Pt													1560	1589	1616	1635	1642
	LpA													36	36	37	37	38
	Lmin													6,6	6,6	5,6	5,6	6,6
	Ld													2,6	2,8	2,8	3	3

De prestatiegegevens zijn met de HVC (Halton Velocity Control) in positie 3 (open positie). Positie 2 (halfopen) is P_w-20% en positie 1 (gesloten) is P_w-38%. Het verdient aanbeveling om de installatie in positie 2 te ontwerpen.

Wat het maximale verwarmingsvermogen van Halton CBC betreft is dit eveneens afhankelijk van de grootte van de nozzle (tussen 80 en 120 Pa):

- Nozzle A: 160 W/m
- Nozzle B: 250 W/m
- Nozzle C en D: 300 W/m

De Zwitserse firma Energie Solaire SA maakt stralingspanelen in roestvrij staal, type AWE, die voor koelen en verwarmen kunnen worden gebruikt. De twee standaardafmetingen zijn 2400×900 en 1600×900 mm. Een typisch waterdebiet is 50 ℓ/h.m² en in dat geval is Δθ = 2 K bij een vermogen van 100 W/m².

2.4.1.5 Stralingsfractie (bij nominale condities)

- Voor de panelen van TROX Technik (WK-D-WF): 70% convectie en 30% straling.
- Voor de panelen van TROX Technik (WK-D-UG): 50% convectie en 50% straling.

2.4.1.6 Radiatorcoëfficiënt (volgens EN 442-2)

Voor Halton CBC is het waterzijdig drukverlies Δp_w (kPa):

$$\Delta p_w = k_{coil} \cdot q_{mw} \cdot Z$$

Met k-waarde:

$$k_{coil} = a + b \cdot L_{eff}$$

Waarbij:

- q_{mw}: waterhoeveelheid in kg/s
- L_{eff}: effectieve lengte van de balk in mm (zie bovenstaande tabellen)
- andere parameters:

Type CBC	a	b	Z
Koeling	86,60	0,2297	1,87
Verwarming	35,59	0,9252	1,87

Het waterdebiet is 0,020-0,100 kg/s voor koelen en 0,010-0,040 kg/s voor verwarmen. In het eerste geval stijgt de temperatuur in de warmtewisselaar met 1 tot 4 °C; in het tweede geval daalt de temperatuur in de warmtewisselaar met 5 tot 15 °C.

2.4.1.7 Waterinhoud

2.4.1.8 Droge massa

Voor Halton CBC: 14 kg per meter lengte (L_{eff} uit bovenstaande tabellen).

2.4.1.9 Specifieke warmtecapaciteit van de droge massa

Halton CBC: de leidingen zijn in koper met een wanddikte van 1 mm en de vinnen zijn in aluminium.

2.4.2 Gedetailleerd

2.4.2.1 Oppervlakte per paneel

2.4.2.2 Schakeling van de panelen

2.4.2.3 Opbouw van een paneel met afmetingen, positie van de leidingen

2.4.2.4 Buitendiameter en dikte van de leidingen

2.4.2.5 Bevestigingswijze van de leidingen

2.4.2.6 Thermische geleidbaarheid van de leidingen

2.4.2.7 Ruwheid aan binnenkant van de leidingen

2.4.2.8 Convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt aan water- en luchtzijde, voor koeling en verwarming

2.4.2.9 Absorptie en emissiecoëfficiënt van het paneel

2.5 Ventiloconvectoren

2.5.1 Vereenvoudigd

2.5.1.1 Voor alle ventilatorstanden (inclusief 'uit'):

Nominale inlaattemperatuur (Eurovent)

Bij koelen: 7 °C

Bij verwarmen: 70 °C

Nominale uittredetemperatuur

Bij koelen: 12 °C

Bij verwarmen: 60 °C

Nominale ruimtetemperatuur (Eurovent)

Bij koelen:

- Droge luchttemperatuur: 27 °C
- Natteboltemperatuur: 19 °C

Bij verwarmen: 20 °C

Nominaal thermisch vermogen

Voorbeeld van Carrier 'Idrofan 42N' (waarden in kW).

Koelen:

Ventilatorstand:	5	4	3	2	1
Type 15	0,75	1,05	1,16	1,36	1,47
Type 30	2,02	2,45	2,75	3,02	3,33
Type 45	2,75	3,30	3,90	4,36	5,00

Verwarmen:

Ventilatorstand:	5	4	3	2	1
Type 15	0,60	0,99	1,14	1,35	1,51
Type 30	2,73	3,14	3,51	3,82	4,27
Type 45	3,90	4,50	5,00	5,60	6,10

Nominaal elektrisch vermogen ventilatoren

Voorbeeld van Carrier 'Idrofan 42N' (waarden in W):

Ventilatorstand:	5	4	3	2	1
Type 15	16	17	19	23	30
Type 30	42	44	46	50	57
Type 45	69	77	83	92	128

Voorbeeld Jaga 'Brise' ventiloconvector geschikt voor klimatisatie van winkels, kantoorruimten, schoolgebouwen, hotels, vergaderzalen, wintertuinen, …; vermogen in kW:

STANDAARD WARMTEWISSELAAR

	VERWARMEN									KOELEN					
	kW 75/65/20°C			kW 55/45/20°C			kW 35/30/20°C			kW totaal 7/12°C - 25°C D.B. 50% R.V.			kW voelbaar 7/12°C - 25°C D.B. 50% R.V.		
TYPE	max.	med.	min.	max.	med.	min.	max.	med.	min.	max.	med.	min.	max.	med.	min.
02	4.00	**2.40**	1.00	3.60	**2.16**	0.90	3.04	**1.82**	0.76	1.63	**1.47**	1.24	1.16	**1.04**	0.88
03	5.56	**3.34**	1.39	5.00	**3.00**	1.25	4.22	**2.53**	1.06	2.28	**2.05**	1.73	1.67	**1.50**	1.27
04	8.07	**4.84**	2.02	7.26	**4.36**	1.82	6.13	**3.68**	1.53	3.37	**3.03**	2.56	2.40	**2.16**	1.28
06	11.53	**6.92**	2.88	10.38	**6.23**	2.60	8.76	**5.26**	2.19	4.88	**4.39**	3.71	3.50	**3.15**	2.66
08	19.48	**11.69**	4.87	16.78	**10.07**	4.20	14.17	**8.50**	3.54	8.02	**7.22**	6.10	5.80	**5.22**	4.41
10	21.02	**12.61**	5.26	18.92	**11.35**	4.73	15.97	**9.58**	3.99	9.97	**8.79**	7.40	6.90	**6.21**	5.24

OPTIE TWEEDE WARMTEWISSELAAR B4

	VERWARMEN								
	kW 75/65/20°C			kW 55/45/20°C			kW 35/30/20°C		
TYPE	max.	med.	min.	max.	med.	min.	max.	med.	min.
02	2.07	**1.24**	0.52	1.86	**1.12**	0.47	1.57	**0.94**	0.39
03	2.85	**1.71**	0.71	2.57	**1.54**	0.64	2.17	**1.30**	0.54
04	3.83	**2.30**	0.96	3.45	**2.07**	0.86	2.92	**1.75**	0.73
06	5.63	**3.38**	1.41	5.06	**3.04**	1.27	4.28	**2.57**	1.07
08	9.22	**5.53**	2.31	7.71	**4.63**	1.93	7.01	**4.21**	1.75
10	10.65	**6.39**	2.66	9.58	**5.75**	2.40	8.09	**4.85**	2.02

De vermogens zijn functie van de watertemperatuurregimes en de stand van de ventilator.

De lengte van de warmtewisselaar is voor de types ‘02’, ‘03’, ‘04’, ‘06’, ‘08’ en ‘10’ respectievelijk 55,7; 55,7; 83,2; 83,2; 110,7 en 138,2 cm. Verder gelden voor Jaga ‘Brise’ nog volgende technische gegevens:

	LUCHTDEBIET* m³/u			MAX. OPGENOMEN VERMOGEN Watt	OPGENOMEN STROOMSTERKTE A	WERPLENGTE* m	WATERINHOUD STANDAARD liter warmtewisselaar		GEWICHT kg wand		GEWICHT kg plafond	
TYPE	max.	med.	min.				Standaard	B4	bekleding	Inbouw	bekleding	Inbouw
02	380	**295**	220	45	0.21	4	0.66	0.21	18.0	14.0	18.0	14.5
03	500	**390**	290	68	0.32	6	0.86	0.27	19.0	14.5	19.0	15.0
04	700	**545**	410	103	0.48	7	1.34	0.44	24.0	15.0	24.0	20.0
06	880	**690**	510	125	0.59	9	1.96	0.65	26.0	20.5	26.0	22.0
08	1350	**1050**	720	193	0.92	7	3.75	1.24	38.0	33.0	38.0	33.0
10	1700	**1325**	955	210	0.99	11	4.03	1.34	50.0	43.5	50.0	43.5

* Gemeten met nieuw filter.

Voorbeeld GEO ‘Flex-Geko’ ventiloconvectoren: gedetailleerde gegevens op bladzijde 10 en 11 van de commerciële brochure.

2.5.1.2 Stralingsfractie (bij nominale condities)

De stralingsfractie S_k volgens norm EN 442-2 (Tabel 4) hangt af van het al dan niet aanwezig zijn van een carter:

- Zonder carter: S_k = 0,05
- Met carter: S_k = 0,00

2.5.1.3 Radiatorcoëfficiënt (volgens EN 442-2)

Of volledige prestatietabel met vermogen voor de mogelijke inlaat- en uitlaattemperaturen.

Voorbeeld van Carrier ‘Idrofan 42N’:

Bij koelen (kW):

EWT °C	ΔT K		42N S15					42N S20					42N S26			42N S30					42N S42			42N S45					42N S65		
			Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur			Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur			Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur		
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3
Température d'entrée d'air: 19°C bh/27°C bs																															
5	3	T	2,01	1,83	1,57	1,36	0,96	3,25	2,90	2,57	2,28	1,81	4,26	3,67	2,63	5,12	4,64	4,11	3,54	2,90	5,95	5,24	3,98	7,72	6,75	5,85	5,04	4,19	8,93	7,63	6,05
		S	1,50	1,42	1,21	1,06	0,78	2,22	2,03	1,81	1,59	1,28	2,99	2,50	1,80	3,43	3,13	2,79	2,42	1,95	4,12	3,60	2,68	5,22	4,51	3,95	3,30	2,73	6,17	5,17	4,08
5	5	T	1,78	1,64	1,40	1,23	0,89	2,59	2,39	2,07	1,82	1,48	3,37	2,92	2,13	4,09	3,75	3,43	3,02	2,48	4,68	4,17	3,31	6,21	5,41	4,83	4,10	3,44	7,11	6,14	5,00
		S	1,39	1,33	1,13	0,99	0,74	1,94	1,80	1,59	1,39	1,13	2,63	2,19	1,58	3,03	2,77	2,50	2,19	1,76	3,61	3,17	2,40	4,63	3,99	3,53	2,92	2,43	5,45	4,58	3,64
5	7	T	1,54	1,43	1,21	1,09	0,80	1,93	1,83	1,57	1,36	1,14	2,49	2,16	1,62	3,09	2,83	2,64	2,41	1,99	3,57	3,16	2,55	4,92	4,23	3,81	3,13	2,61	5,61	4,86	3,96
		S	1,28	1,23	1,04	0,92	0,69	1,65	1,56	1,36	1,19	0,97	2,22	1,86	1,36	2,59	2,37	2,17	1,93	1,55	3,11	2,71	2,08	4,07	3,48	3,10	2,52	2,09	4,77	4,03	3,21
5	9	T	1,28	1,20	1,00	0,92	0,71	1,48	1,41	1,24	1,12	0,98	1,92	1,66	1,27	2,37	2,18	2,05	1,90	1,57	2,76	2,43	1,97	3,85	3,27	2,95	2,40	2,00	4,48	3,81	3,09
		S	1,14	1,11	0,93	0,84	0,64	1,38	1,34	1,18	1,05	0,89	1,82	1,54	1,18	2,15	1,99	1,86	1,69	1,36	2,56	2,25	1,79	3,46	2,93	2,67	2,13	1,78	4,06	3,42	2,76
7	3	T	1,71	1,56	1,34	1,17	0,83	2,72	2,45	2,17	1,92	1,53	3,54	3,07	2,22	4,27	3,88	3,46	3,00	2,47	4,94	4,36	3,35	6,44	5,63	4,92	4,22	3,52	7,43	6,37	5,09
		S	1,36	1,29	1,10	0,96	0,70	2,00	1,83	1,63	1,43	1,15	2,70	2,25	1,62	3,10	2,82	2,51	2,18	1,75	3,72	3,24	2,42	4,72	4,07	3,57	2,97	2,46	5,58	4,67	3,68
7	5	T	1,47	1,36	1,16	1,03	0,75	2,06	1,91	1,66	1,45	1,19	2,68	2,32	1,70	3,29	3,01	2,75	2,45	2,01	3,78	3,36	2,65	5,00	4,36	3,90	3,30	2,75	5,73	4,94	4,04
		S	1,25	1,19	1,01	0,89	0,66	1,72	1,60	1,41	1,23	1,00	2,33	1,94	1,40	2,69	2,46	2,22	1,95	1,56	3,22	2,82	2,13	4,12	3,55	3,15	2,60	2,15	4,85	4,08	3,25
7	7	T	1,22	1,14	0,96	0,87	0,65	1,56	1,46	1,26	1,09	0,93	2,05	1,76	1,29	2,51	2,29	2,11	1,92	1,58	2,94	2,57	2,04	4,00	3,42	3,05	2,51	2,09	4,64	3,95	3,17
		S	1,12	1,08	0,90	0,81	0,61	1,45	1,38	1,20	1,05	0,87	1,93	1,62	1,20	2,27	2,08	1,91	1,70	1,37	2,70	2,37	1,84	3,58	3,05	2,74	2,22	1,84	4,20	3,54	2,83
7	9	T	1,02	0,96	0,80	0,74	0,56	1,24	1,19	1,06	0,95	0,82	1,58	1,37	1,09	1,96	1,80	1,69	1,54	1,27	2,28	2,00	1,62	3,19	2,71	2,44	1,98	1,65	3,72	3,15	2,55
		S	1,00	0,96	0,80	0,73	0,55	1,18	1,16	1,04	0,93	0,80	1,52	1,30	1,03	1,82	1,69	1,60	1,47	1,19	2,15	1,89	1,53	2,94	2,49	2,28	1,81	1,51	3,45	2,91	2,37
9	3	T	1,40	1,28	1,10	0,96	0,69	2,17	1,96	1,73	1,53	1,22	2,81	2,43	1,78	3,38	3,09	2,78	2,43	2,00	3,91	3,46	2,69	5,10	4,46	3,93	3,36	2,82	5,87	5,04	4,07
		S	1,22	1,15	0,98	0,86	0,63	1,77	1,62	1,44	1,27	1,01	2,39	2,00	1,44	2,74	2,50	2,23	1,94	1,56	3,29	2,87	2,15	4,18	3,61	3,17	2,63	2,18	4,94	4,14	3,27
9	5	T	1,15	1,07	0,90	0,81	0,60	1,64	1,50	1,31	1,15	0,94	2,16	1,85	1,34	2,63	2,39	2,16	1,92	1,58	3,07	2,69	2,09	4,04	3,52	3,11	2,62	2,17	4,67	3,99	3,22
		S	1,09	1,04	0,88	0,78	0,58	1,51	1,40	1,24	1,09	0,88	2,03	1,70	1,23	2,36	2,16	1,95	1,71	1,37	2,83	2,47	1,87	3,63	3,14	2,79	2,29	1,90	4,26	3,60	2,87
9	7	T	0,97	0,90	0,76	0,68	0,51	1,29	1,20	1,04	0,91	0,78	1,69	1,46	1,06	2,08	1,89	1,73	1,55	1,27	2,43	2,13	1,67	3,31	2,83	2,50	2,07	1,72	3,86	3,27	2,60
		S	0,97	0,90	0,76	0,68	0,51	1,23	1,18	1,03	0,91	0,77	1,63	1,38	1,03	1,92	1,77	1,64	1,48	1,20	2,29	2,01	1,58	3,05	2,60	2,35	1,89	1,58	3,59	3,02	2,43
9	9	T	0,82	0,77	0,64	0,58	0,44	1,03	1,00	0,89	0,80	0,69	1,26	1,13	0,91	1,56	1,44	1,36	1,25	1,04	1,81	1,59	1,31	2,57	2,17	1,97	1,58	1,32	3,00	2,54	2,06
		S	0,82	0,77	0,64	0,58	0,44	1,00	0,99	0,89	0,80	0,69	1,21	1,07	0,89	1,45	1,36	1,32	1,23	1,00	1,71	1,51	1,26	2,40	2,02	1,89	1,47	1,24	2,80	2,38	1,96
11	3	T	1,07	0,98	0,84	0,74	0,54	1,70	1,52	1,34	1,18	0,95	2,22	1,92	1,37	2,67	2,43	2,16	1,88	1,55	3,11	2,73	2,09	4,03	3,52	3,07	2,64	2,20	4,69	3,98	3,17
		S	1,05	0,98	0,84	0,74	0,54	1,56	1,42	1,26	1,11	0,89	2,09	1,76	1,26	2,41	2,20	1,96	1,70	1,37	2,88	2,52	1,89	3,67	3,17	2,79	2,32	1,92	4,31	3,63	2,87
11	5	T	0,91	0,83	0,71	0,63	0,46	1,35	1,22	1,06	0,93	0,75	1,79	1,53	1,09	2,17	1,96	1,75	1,53	1,25	2,55	2,23	1,69	3,36	2,92	2,53	2,14	1,76	3,90	3,32	2,63
		S	0,91	0,83	0,71	0,63	0,46	1,29	1,21	1,06	0,93	0,75	1,72	1,44	1,06	2,01	1,84	1,68	1,48	1,20	2,40	2,10	1,61	3,12	2,69	2,39	1,96	1,63	3,64	3,09	2,47
11	7	T	0,78	0,72	0,61	0,54	0,40	1,04	0,97	0,85	0,76	0,65	1,36	1,17	0,87	1,67	1,53	1,40	1,26	1,03	1,95	1,71	1,35	2,68	2,29	2,03	1,67	1,39	3,13	2,65	2,11
		S	0,78	0,72	0,61	0,54	0,40	1,00	0,97	0,85	0,76	0,65	1,31	1,11	0,86	1,56	1,45	1,36	1,24	1,01	1,84	1,63	1,31	2,50	2,13	1,94	1,55	1,30	2,93	2,48	2,02
11	9	T	0,65	0,61	0,51	0,46	0,35	0,85	0,82	0,73	0,66	0,57	0,99	0,92	0,75	1,16	1,08	1,05	0,99	0,84	1,33	1,18	1,01	1,96	1,64	1,52	1,19	1,00	2,28	1,94	1,59
		S	0,65	0,61	0,51	0,46	0,35	0,81	0,82	0,73	0,66	0,57	0,96	0,87	0,74	1,08	1,02	1,02	0,98	0,83	1,26	1,12	0,98	1,83	1,52	1,46	1,10	0,93	2,13	1,81	1,52
13	3	T	0,84	0,76	0,66	0,57	0,40	1,38	1,22	1,07	0,95	0,75	1,85	1,57	1,10	2,20	1,99	1,75	1,49	1,21	2,60	2,26	1,69	3,35	2,91	2,50	2,15	1,78	3,92	3,30	2,59
		S	0,84	0,76	0,66	0,57	0,40	1,33	1,22	1,07	0,95	0,75	1,78	1,50	1,08	2,06	1,88	1,69	1,47	1,18	2,45	2,15	1,62	3,12	2,70	2,39	1,99	1,66	3,66	3,09	2,46
13	5	T	0,73	0,67	0,57	0,50	0,36	1,09	0,99	0,86	0,76	0,61	1,45	1,24	0,89	1,76	1,59	1,43	1,25	1,02	2,07	1,81	1,38	2,76	2,38	2,07	1,74	1,43	3,21	2,73	2,15
		S	0,73	0,67	0,57	0,50	0,36	1,05	0,99	0,86	0,76	0,61	1,40	1,18	0,87	1,64	1,51	1,39	1,24	1,00	1,96	1,72	1,33	2,58	2,21	1,98	1,61	1,34	3,00	2,55	2,05
13	7	T	0,62	0,57	0,48	0,43	0,32	0,81	0,77	0,69	0,62	0,53	1,02	0,89	0,71	1,27	1,16	1,09	0,99	0,81	1,47	1,29	1,05	2,07	1,75	1,58	1,28	1,06	2,41	2,05	1,65
		S	0,62	0,57	0,48	0,43	0,32	0,78	0,77	0,69	0,62	0,53	0,98	0,84	0,70	1,18	1,10	1,06	0,99	0,80	1,39	1,23	1,02	1,93	1,63	1,51	1,19	1,00	2,26	1,91	1,57
13	9	T	0,50	0,47	0,39	0,36	0,27	0,66	0,64	0,57	0,52	0,45	0,77	0,71	0,59	0,83	0,80	0,79	0,76	0,66	0,89	0,83	0,77	1,33	1,08	1,05	0,82	0,74	1,53	1,31	1,11
		S	0,50	0,47	0,39	0,36	0,27	0,63	0,64	0,57	0,52	0,45	0,74	0,67	0,58	0,78	0,76	0,77	0,76	0,65	0,84	0,79	0,74	1,24	1,01	1,01	0,76	0,69	1,43	1,23	1,06

EWT Température d'entrée d'eau
ΔT Augmentation de température de l'eau
bh Température de bulbe humide
bs Température de bulbe sec
T Puissance frigorifique totale, kW
S Puissance frigorifique sensible, kW

Bij verwarmen (kW):

Puissance calorifique totale, kW																														
EWT	ΔT	42N S15					42N S20					42N S26			42N S30					42N S42			42N S45					42N S65		
°C	K	Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur			Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur			Vitesse du ventilateur					Vitesse du ventilateur		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3	4	5	1	2	3
Température d'entrée d'air: 19°C																														
50	5	0.96	0.86	0.72	0.63	0.38	1.82	1.70	1.56	1.40	1.16	2.40	2.01	1.59	2.68	2.42	2.23	1.99	1.73	3.18	2.79	2.13	3.87	3.56	3.18	2.86	2.48	4.51	3.84	3.25
50	10	0.87	0.78	0.65	0.57	0.28	1.64	1.53	1.41	1.27	1.05	2.17	1.81	1.43	2.42	2.18	2.01	1.80	1.56	2.87	2.52	1.93	3.50	3.21	2.87	2.58	2.24	4.07	3.47	2.94
60	5	1.30	1.16	0.98	0.85	0.54	2.47	2.30	2.11	1.90	1.57	3.25	2.72	2.15	3.63	3.27	3.01	2.69	2.34	4.30	3.77	2.89	5.24	4.81	4.30	3.87	3.35	6.10	5.20	4.40
60	10	1.21	1.08	0.91	0.79	0.45	2.29	2.14	1.96	1.77	1.46	3.02	2.52	2.00	3.37	3.04	2.80	2.51	2.17	4.00	3.51	2.69	4.87	4.47	4.00	3.60	3.12	5.67	4.83	4.09
70	5	1.63	1.46	1.23	1.07	0.69	3.11	2.90	2.66	2.40	1.98	4.10	3.42	2.71	4.58	4.13	3.80	3.40	2.95	5.42	4.76	3.64	6.61	6.07	5.42	4.88	4.23	7.69	6.56	5.55
70	10	1.55	1.38	1.17	1.01	0.62	2.94	2.74	2.52	2.26	1.87	3.87	3.24	2.56	4.33	3.90	3.59	3.21	2.79	5.12	4.50	3.44	6.25	5.74	5.12	4.61	4.00	7.27	6.20	5.24
80	5	1.97	1.76	1.49	1.29	0.85	3.75	3.50	3.21	2.89	2.39	4.94	4.13	3.27	5.52	4.98	4.59	4.10	3.56	6.54	5.74	4.40	7.98	7.32	6.54	5.89	5.10	9.29	7.91	6.70
80	10	1.89	1.69	1.42	1.24	0.77	3.59	3.34	3.07	2.76	2.28	4.72	3.95	3.12	5.28	4.76	4.38	3.92	3.40	6.25	5.48	4.20	7.62	7.00	6.25	5.62	4.87	8.87	7.56	6.40
Température d'entrée d'air: 20°C																														
50	5	0.92	0.82	0.70	0.60	0.37	1.75	1.64	1.50	1.35	1.12	2.31	1.93	1.53	2.58	2.33	2.14	1.92	1.66	3.06	2.68	2.05	3.73	3.42	3.06	2.75	2.38	4.34	3.70	3.13
50	10	0.83	0.74	0.63	0.54	0.27	1.58	1.47	1.35	1.21	1.00	2.08	1.74	1.37	2.32	2.09	1.93	1.72	1.49	2.75	2.41	1.85	3.35	3.08	2.75	2.47	2.14	3.90	3.33	2.81
60	5	1.26	1.13	0.95	0.83	0.52	2.40	2.24	2.05	1.85	1.52	3.16	2.64	2.09	3.53	3.18	2.93	2.62	2.27	4.18	3.67	2.81	5.10	4.68	4.18	3.76	3.26	5.93	5.05	4.28
60	10	1.17	1.05	0.88	0.77	0.44	2.22	2.07	1.90	1.71	1.41	2.93	2.45	1.94	3.27	2.95	2.72	2.43	2.11	3.88	3.40	2.60	4.73	4.34	3.88	3.49	3.02	5.50	4.69	3.97
70	5	1.60	1.43	1.21	1.05	0.68	3.04	2.83	2.60	2.34	1.93	4.00	3.35	2.65	4.47	4.03	3.71	3.32	2.88	5.30	4.65	3.56	6.46	5.93	5.30	4.77	4.13	7.52	6.41	5.42
70	10	1.51	1.35	1.14	0.99	0.60	2.87	2.68	2.45	2.21	1.82	3.78	3.16	2.50	4.22	3.81	3.51	3.14	2.72	5.00	4.39	3.36	6.10	5.60	5.00	4.50	3.90	7.10	6.05	5.12
80	5	1.94	1.73	1.46	1.27	0.83	3.68	3.43	3.15	2.84	2.34	4.85	4.06	3.21	5.42	4.89	4.50	4.02	3.49	6.42	5.63	4.31	7.83	7.19	6.42	5.77	5.01	9.11	7.76	6.57
80	10	1.85	1.65	1.40	1.21	0.76	3.51	3.28	3.01	2.71	2.23	4.63	3.87	3.06	5.17	4.66	4.29	3.84	3.33	6.12	5.38	4.11	7.47	6.86	6.12	5.51	4.78	8.69	7.41	6.27
Température d'entrée d'air: 21°C																														
50	5	0.89	0.79	0.67	0.58	0.35	1.69	1.57	1.44	1.30	1.07	2.22	1.86	1.47	2.48	2.24	2.06	1.84	1.60	2.94	2.58	1.98	3.59	3.29	2.94	2.65	2.29	4.18	3.56	3.01
50	10	0.80	0.71	0.60	0.52	0.26	1.51	1.41	1.29	1.16	0.96	1.99	1.66	1.31	2.22	2.00	1.84	1.65	1.43	2.63	2.31	1.77	3.21	2.95	2.63	2.37	2.05	3.74	3.18	2.69
60	5	1.22	1.09	0.92	0.80	0.51	2.33	2.17	1.99	1.79	1.48	3.07	2.56	2.03	3.43	3.09	2.85	2.54	2.21	4.06	3.56	2.73	4.95	4.55	4.06	3.65	3.16	5.76	4.91	4.16
60	10	1.13	1.01	0.86	0.74	0.42	2.16	2.01	1.84	1.66	1.37	2.84	2.37	1.88	3.17	2.86	2.63	2.36	2.04	3.76	3.30	2.52	4.58	4.21	3.76	3.38	2.93	5.34	4.55	3.85
70	5	1.56	1.40	1.18	1.02	0.66	2.97	2.77	2.54	2.29	1.89	3.91	3.27	2.59	4.37	3.94	3.63	3.24	2.81	5.18	4.54	3.48	6.31	5.80	5.18	4.66	4.04	7.35	6.26	5.30
70	10	1.47	1.32	1.11	0.97	0.58	2.80	2.61	2.40	2.16	1.78	3.69	3.08	2.44	4.12	3.72	3.42	3.06	2.65	4.88	4.28	3.28	5.95	5.46	4.88	4.39	3.80	6.93	5.90	5.00
80	5	1.90	1.70	1.43	1.24	0.81	3.61	3.37	3.09	2.78	2.30	4.76	3.98	3.15	5.32	4.79	4.41	3.95	3.42	6.29	5.53	4.23	7.68	7.05	6.29	5.66	4.91	8.94	7.62	6.44
80	10	1.81	1.62	1.37	1.19	0.74	3.44	3.21	2.95	2.65	2.19	4.54	3.79	3.00	5.07	4.57	4.21	3.76	3.26	6.00	5.27	4.03	7.32	6.72	6.00	5.40	4.68	8.52	7.26	6.14

EAT Température d'entrée d'air
EWT Température d'entrée d'eau
ΔT Différence de température disponible = EWT (Température d'entrée d'eau) - EAT (Température d'entrée d'air)

2.5.1.4 Waterinhoud

Voorbeeld van Carrier 'Idrofan 42N':

- Met 2 buizen: tussen 0,6 en 2,1 liter
- Met 4 buizen: tussen 0,6 en 1,8 liter

2.5.1.5 Droge massa van de warmtewisselaar

2.5.1.6 Specifieke warmtecapaciteit van de warmtewisselaar

2.5.2 Gedetailleerd

2.5.2.1 Lengte, breedte en hoogte

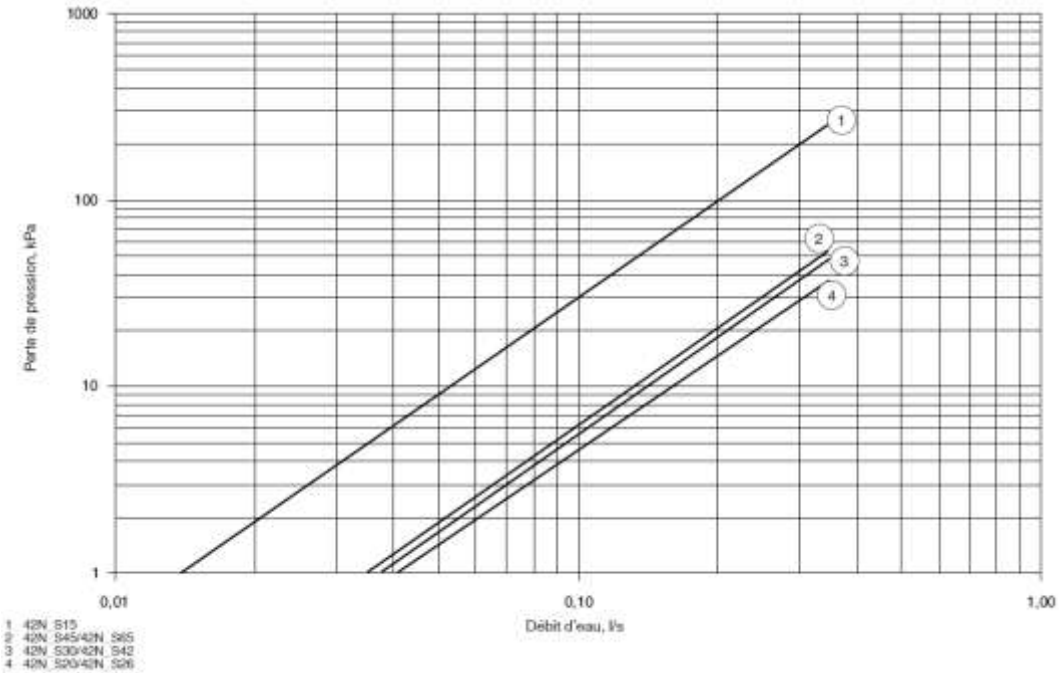
Voorbeeld van Carrier 'Idrofan 42N':

Type:	15	20-26	30-42	45-65
Breedte (mm)	830	1030	1230	1430
Hoogte (mm)	332	532	732	932
Diepte (mm)	220	220	220	220

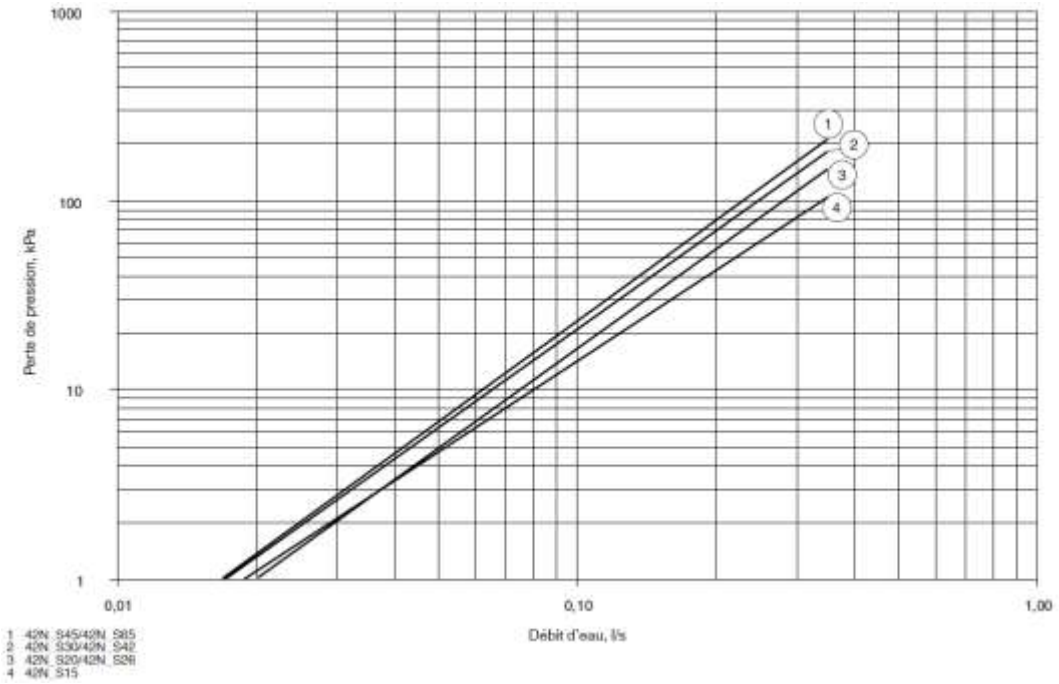
2.5.2.2 Geometrie van de warmtewisselaar

2.5.2.3 Drukvalkarakteristiek (of Kv-waarde)

Voorbeeld van Carrier 'Idrofan 42N' (4 buizen):



Bij koelen (ingangstemperatuur water = 7 °C)

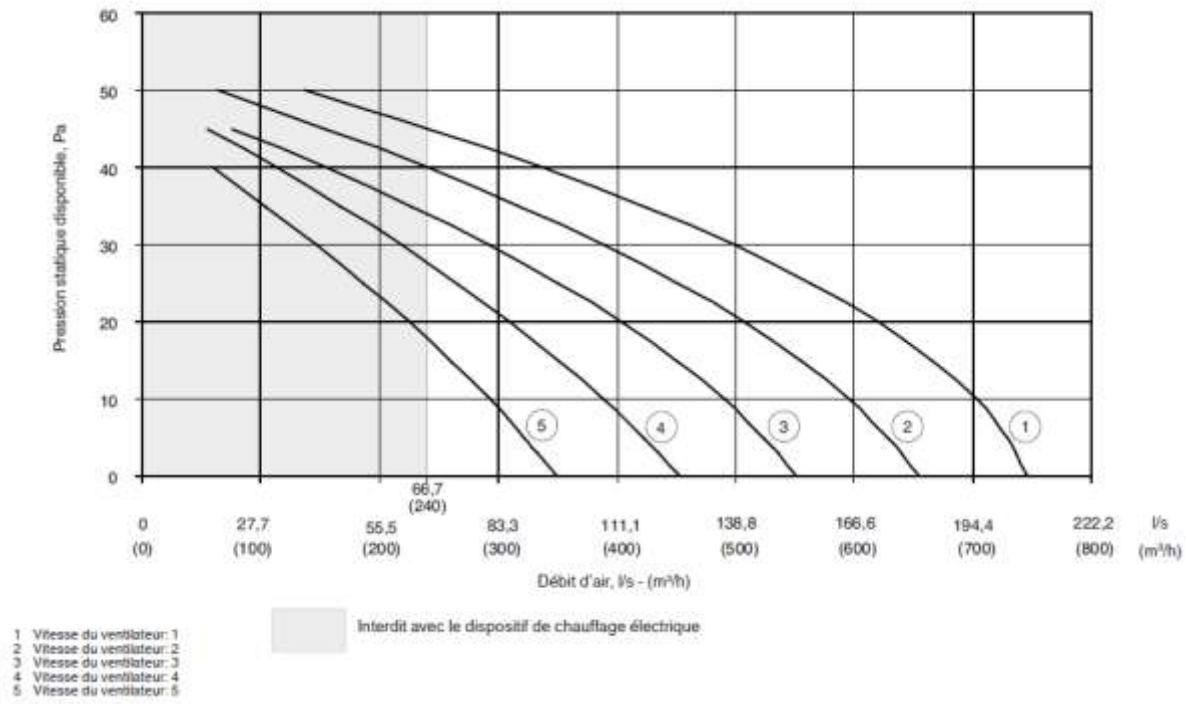


Bij verwarmen (ingangstemperatuur water = 70 °C)

2.5.2.4 Warmteoverdrachtscoëfficiënten van de natuurlijke of gedwongen convectie

2.5.2.5 Ventilatorkarakteristiek voor de verschillende werkingspunten

Debiet ten opzichte van de druk. Bijvoorbeeld Carrier 'Idrofan 42N' Model 30 (4 buizen):



2.5.2.6 Waterinhoud

2.5.2.7 Droge massa van de warmtewisselaar

2.5.2.8 Specifieke warmtecapaciteit van de warmtewisselaar

2.5.2.9 Geleidingscoëfficiënt van de warmtewisselaar

2.6 Sanitair warm water

Buffervat: delta-T, verbruik/verlies in kWh, warmtewisselend oppervlak

Gebruikers en debieten

Temperatuur: 50 °C (wekelijkse opstook tot 60 °C wegens Legionella-bacterie).

Benodigde vermogens (W) voor een laadtijd van 4u (bron: 'Code Goede Praktijk'):

Inhoud boiler (liter)	Boilertemperatuur		
	50°C	55°C	60°C
100	1.164	1.309	1.455
150	1.746	1.964	2.182
200	2.328	2.619	2.910
250	2.910	3.273	3.637
300	3.492	3.928	4.365
350	4.074	4.583	5.092
400	4.656	5.238	5.819
450	5.238	5.892	6.547
500	5.819	6.547	7.274

Vereisten voor wasplaatsen verbonden met arbeidsplaatsen, in het kader van de wet op het welzijn op het werk.

De kamertemperatuur voor lokalen met wasplaatsen moet 20 °C bedragen en voor lokalen met stortbaden is dit 22 °C.

Per 3 werknemers die gelijktijdig hun werktijd beëindigen is er tenminste één kraan. Dit mag verminderd worden tot één kraan per 5 werknemers die gelijktijdig hun arbeidsdag beëindigen maar dit is aan voorwaarden onderworpen.

Per groep van 6 werknemers die gelijktijdig hun werktijd beëindigen is er één stortbad voorzien. Het water moet een temperatuur van 36 tot 38 °C hebben.

Toiletten: per 4 WC's of urinoirs is er 1 wastafel. Het aantal WC's is ten minste 1 per 25 werknemers van het mannelijk geslacht die gelijktijdig tewerkgesteld zijn en ten minste 1 per 15 werknemers van het vrouwelijk geslacht die gelijktijdig tewerk gesteld zijn; het aantal urinoirs is ten minste 1 per 15 werknemers.

2.7 Schakelbuffer

Om een minimale volumestroom over de condensor te kunnen garanderen, en het risico van pendelgedrag te minimaliseren, is vaak een schakelbuffer gewenst. Een CV-buffer kan echter soms ook nog een nuttige functie hebben als warmte-opslag, bijvoorbeeld om nachttarief maximaal te benutten (hoewel dit voordeel uiterst beperkt is mede door standverliezen).

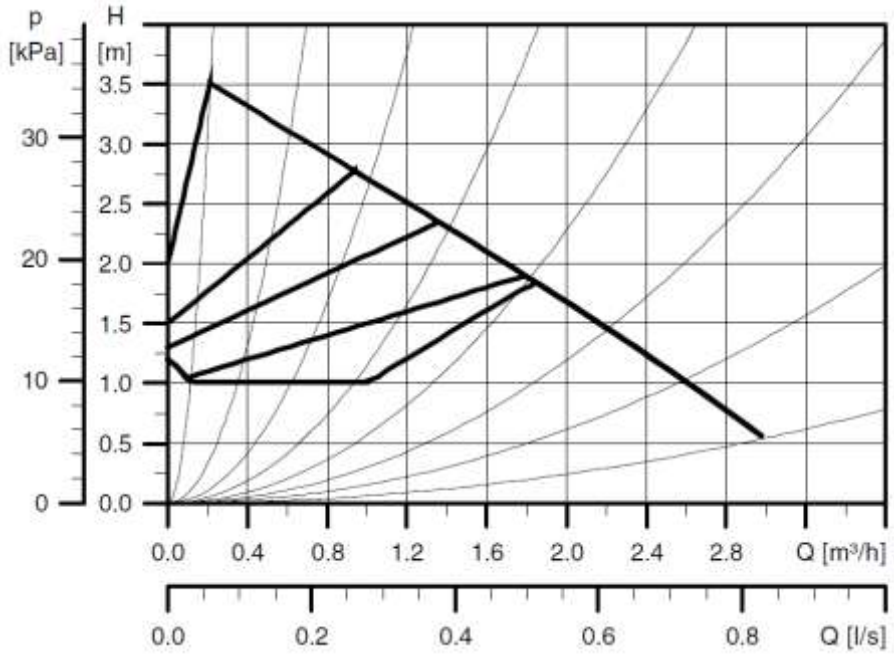
De buffer is parallel aan de warmtepomp geschakeld.

2.8 Circulatiepompen

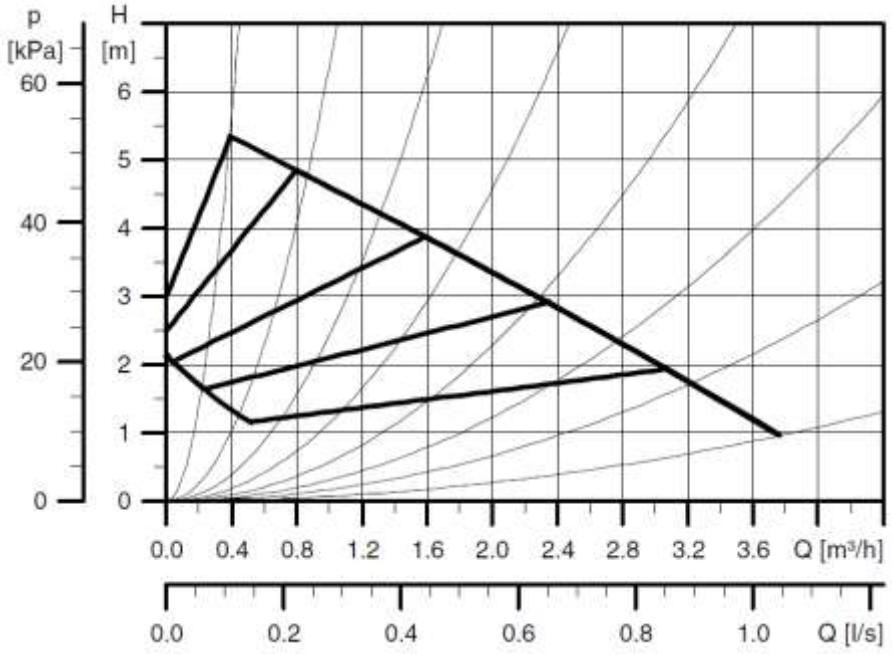
2.8.1 Vereenvoudigd

2.8.1.1 Nominale drukopbouw

Grundfos ALPHA2 prestatiecurven bij een variabele verschildruk. Hierbij is het eerste getal de nominale diameter van de aansluitingen (DN) en het tweede getal de opvoerhoogte in dm. De verschildruk is het drukverschil tussen zuig- en persaansluiting.



ALPHA 15-40, 25-40, 32-40

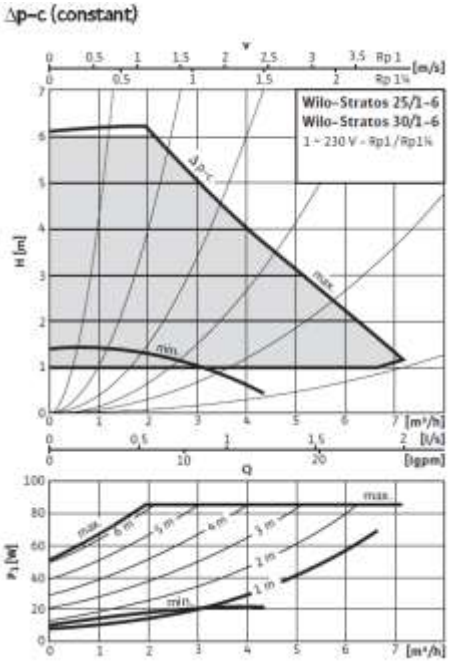


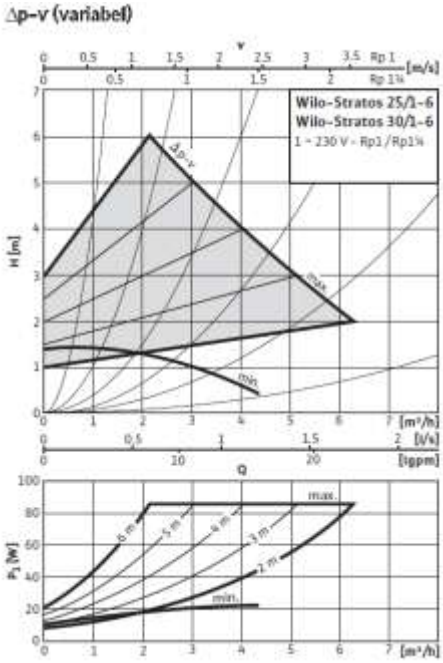
ALPHA 15-60, 25-60, 32-60

Een andere hoogrendementspomp is de Wilo Stratos; deze werkt met een constante of variabele verschildruk of met een temperatuursgestuurde verschildruk. Bij een constante verschildruk wordt de door de pomp opgewekte verschildruk over het toelaatbare debietbereik constant op de ingestelde waarde gehouden. Bij een variabele verschildruk wordt deze laatste lineair geregeld waarbij de druk afneemt met toenemend debiet. Er bestaan combinaties van beide regelingen: de verschildruk zal constant worden gehouden tot een bepaald debiet maar wanneer dat debiet lager wordt, dan zal de verschildruk lineair dalen.

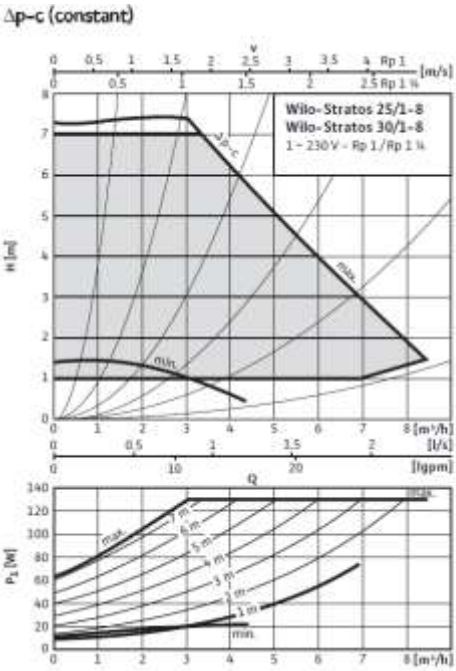
Tenslotte is er ook nog de temperatuursgestuurde verschildruk. Er is de regeling met positieve werking (bij stijgende temperatuur wordt de verschildruk lineair verhoogd) en de regeling met negatieve werking (bij stijgende temperatuur wordt de verschildruk lineair verlaagd teneinde de retourtemperatuur te laten stijgen). Bij deze laatste regeling moet de pomp absoluut in de terugloop van de installatie gebouwd worden.

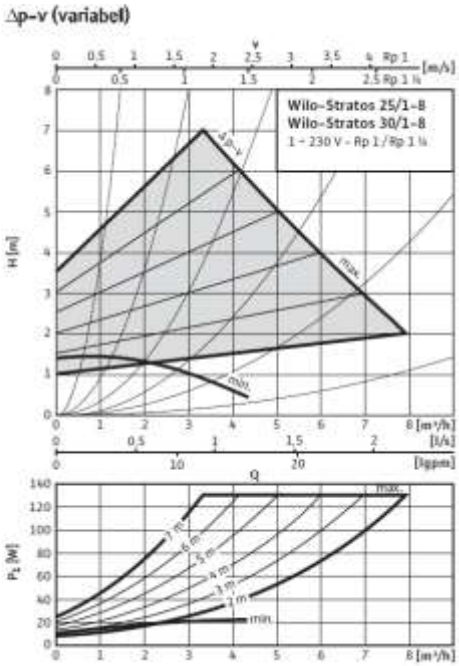
Voor Wilo Stratos 25/1-6 en 30/1-6 (eerste getal is DN, tweede getal is opvoerhoogte in m):





Voor Wilo Stratos 25/1-8 en 30/1-8:





Voor andere Wilo-pompen kunnen de grafieken worden teruggevonden in de documentatie van de leverancier.

2.8.1.2 Nominaal massadebiet

Zie bovenstaande grafieken (densiteit water ρ = 998 kg/m³).

2.8.1.3 Nominaal elektrisch vermogen

De door de motor benodigde energie wordt met opgenomen vermogen P_1 van de pomp aangeduid. Voor Wilo zijn deze waarden af te lezen uit de grafieken.

Grundfos ALPHA2:

- Opvoerhoogte 40 dm: 3 → **18 W** (0,04 → 0,18 A)
- Opvoerhoogte 50 dm: 3 → **26 W** (0,04 → 0,24 A)
- Opvoerhoogte 60 dm: 3 → **34 W** (0,04 → 0,32 A)

2.8.1.4 Nominaal rendement

Voor natloperpompen liggen de rendementen η tussen 5 en 54% (hoogrendement-pomp), voor droogloperpompen ligt dit tussen 30 en 80% (Bron: Wilo 'Basisprincipes van de pomptechniek').

Het pomprendement η_p wordt met behulp van volgende formule bepaald:

$$\eta_p = \frac{Q.H.\rho}{367.P_2}$$

Waarbij:

- Q: debiet in m³/h
- H: opvoerhoogte in m
- P_2: vermogen aan de pompas in kW
- ρ: dichtheid van het pompmedium in kg/m³

Het pomprendement η_p moet met het motorrendement η_m worden vermenigvuldigd om het totale rendement η_{tot} te kennen; richtwaarden voor η_{tot} worden in volgende tabel gegeven:

Motorvermogen P_2 (W)	η_{tot} (%)
≤ 100	5 – 25
100 – 500	20 – 40

500 – 2500	30 – 50

2.8.1.5 Droge massa

Grundfos ALPHA2 (130 of 180 is inbouwlengte in mm):

Pomptype	Massa netto (kg)	Massa bruto (kg)	Transport volume (m^3)
15-40-130 / 15-60-130	2,4	2,6	0,00351
25-40-130 / 25-60-130	2,4	2,6	0,00351
25-40-180 / 25-60-180	2,6	3,0	0,00432
32-40-180 / 32-60-180	2,7	3,1	0,00432

2.8.1.6 Specifieke warmtecapaciteit van de droge massa

2.8.1.7 Waterinhoud

Zie tabel bij paragraaf 2.7.1.5.