

ISSO-publicatie 49 Vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling

Status: Actueel



ISBN: 978-90-5044-432-3

Kennisleverancier: ISSO

Taal: NL

Publicatiedatum: 01/04/26

De kennis in de ISSO-publicatie 49 Vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling helpt je om installaties voor verwarmen en koelen optimaal te ontwerpen en toe te passen. Deze kennis sluit aan op de huidige installatiepraktijk en de wet- en regelgeving, waaronder de NEN-EN 1264. De nadruk ligt op vloerverwarming, die door de hoge isolatiewaarden van moderne woningen meestal volstaat. Wandverwarming en -koeling komen nog aan bod, maar zijn minder prominent aanwezig en beter afgestemd op de praktijk. Daarnaast krijg je uitgebreid inzicht in de combinatie van vloerverwarming met warmtepompen. Je leert meer over verschillende typen vloerverwarmingsverdelers, zoals laagtemperatuur- en hybride varianten, en krijgt duidelijke richtlijnen voor ontwerp en dimensionering. Dit helpt je om systemen efficiënt en toekomstgericht in te richten. Met praktische rekenvoorbeelden krijg je beter inzicht in het vermogen van het afgiftesysteem en de warmteafgifte. Zo kun je keuzes onderbouwen en specificaties van leveranciers goed beoordelen.

ISSO-PUBLICATIE 49 VLOER- EN WANDVERWARMING EN VLOER- EN WANDKOELING

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	7
Afkortingen	9
Symbolenlijst	11
Grafische symbolen	15
Begrippenlijst	17
1 Inleiding	19
1.1 Doelstelling	19
1.2 Toepassing	19
1.3 Toepassingsgebied publicatie	19
2 Uitgangspunten	21
2.1 Lagetemperatuurverwarming (LTV)	21
2.2 Grenswaardes	21
2.3 Warmtepomp als opwekker	22
2.4 Ontwerpaspecten	23
2.5 Vloer- en wandverwarming	24
2.6 Vloer- en wandkoeling	25
2.7 Vloerdikte en bouwhoogte	25
2.8 Inslijpen/infrezen van leidingen	25
2.9 Advies op maat	26
2.10 Milieu Prestatie Gebouwen (MPG)	26
3 Systeemtypologie	27
3.1 Systemen voor de woning- en utiliteitsbouw	27
3.1.1 Verwarming met elektrische weerstand	27
3.1.2 Verwarming en/of koeling met lucht	27
3.1.3 Verwarming en/of koeling met water	27
3.2 Vloer- of wandverwarming als basisverwarming	27
3.3 Vloer- of wandverwarming als hoofdverwarming	28
3.4 Systeem voor industriegebouwen	28
3.5 Thermische massa constructies	29
3.5.1 Thermische massa vloeren en wanden	29
3.5.2 Zware thermische massa	31
3.5.3 Middelzware thermische massa	33
3.5.4 Lichte thermische massa	34
4 Verwarmen	37
4.1 Programmafase	37
4.2 Uitvoeringsvormen	38
4.2.1 Vloerverwarming	38
4.2.2 Infrezen vloerverwarming	39
4.2.3 Wandverwarming	40
4.2.4 Plafondverwarming	41
4.3 Detaillering	41
4.3.1 Legpatroon	41
4.3.2 Veldgrootte	43
4.3.3 Meerdere registers	43
4.3.4 Leidingafstand	44
4.3.5 Kwaliteit van de leiding	44
4.3.6 Wand- en kolomaansluitingen	45
4.3.7 Verticale leidingen	45
4.4 Ontwerpfase	45

4.4.1 Aan het vertrek toe te voeren vermogen	45
4.4.2 Plaats van de verdeler	45
4.4.3 Dimensionering vloer- en wandverwarming	46
4.4.4 Combinatie met warmte- en/of koudeleverende bronnen	49
4.4.5 Keuze type verdeler	49
4.4.6 Waterkwaliteit	52
4.4.7 Regelsystemen	52
4.4.8 Hydraulische schakeling	54
4.4.9 Circulatiepomp	59
4.4.10 Afsluiters	59
4.4.11 Inregelen	59
4.4.12 Documenten na ontwerpfase	60
5 Koelen	61
5.1 Programmafase	61
5.2 Ontwerpfase	61
5.2.1 Uit het vertrek af te voeren vermogen	61
5.2.2 Dimensionering vloer- en wandkoeling	61
5.2.3 Voorkomen van condensatie in vloer c.q. wand of op installatiedelen	63
5.2.4 Documenten na ontwerpfase	64
6 Bouwkundige aspecten en uitvoering	65
6.1 Isolatie	65
6.1.1 Aanbrengen isolatie	65
6.1.2 Drukvastheid isolatie	65
6.2 Randstroken/randisolatie	65
6.3 Beschermende folie	66
6.4 Dampremmende folie	66
6.5 Wapening	66
6.6 Montagenet	67
6.6.1 Wapeningsnet	67
6.6.2 Corrosie wapeningsnet	67
6.7 Dekvloer	67
6.7.1 Samenstelling dekvloer	67
6.7.2 Aanbrengen dekvloer	67
6.7.3 Uitharden dekvloer	68
6.8 Roosters, schrobputten e.d.	68
6.9 Voegen	69
6.9.1 Dilatatievoegen	69
6.9.2 Krimpvoegen	69
6.10 Voorbereidingen installatie	69
6.11 Bevestiging van de leiding	70
6.12 Montage verdeler	70
7 Oplevering en Nazorg	73
7.1 Oplevering	73
7.1.1 Vullen en ontluchten	73
7.1.2 Vorstbeveiliging	73
7.1.3 Beproeven	73
7.1.4 Opstarten verwarming	74
7.1.5 Documenten bij oplevering	76
7.2 Beheer en onderhoud	76
7.2.1 Gebruiksaspecten	76
7.2.2 Garanties	77
7.2.3 Akoestische aspecten	78
7.2.4 Onderhoud	78
7.2.5 Corrosiebestrijding	78
Bijlage A Kwalitatieve aspecten van het ontwerp	81

A.1 Invloedsfactoren thermisch comfort	81
A.2 Thermische behaaglijkheid	81
A.2.1 Operatieve temperatuur	82
A.2.2 Kwaliteitseisen voor thermische behaaglijkheid op ruimteniveau	82
A.3 Aandeel stralingswarmte	83
A.4 De gemiddelde oppervlaktetemperatuur	84
A.5 De ongelijkmatigheid van vloeroppervlaktetemperatuur	85
A.6 Stralingsasymmetrie	85
A.7 Voorkomen van tocht op enkelniveau door koudeval	86
A.8 Voorkomen van tochtklachten door buitenluchttoetreding	87
Bijlage B Ontwerpmassastroom vloerverwarming	89
Bijlage C Ontwerpmassastroom wandverwarming	93
Bijlage D Ontwerpmassastroom vloer- en Wandkoeling	97
Bijlage E Bepaling afgegeven/opgenomen vermogen	99
Bijlage F Bepaling ondertemperatuur	105
Bijlage G Neerwaartse warmteverlies	107
Bijlage H Zelfregelend vermogen	109
Bijlage I Leidingmateriaal	111
I.1 Materiaalkeuze leidingen	111
I.2 EVOH als zuurstofbarrière en de opbouw van meerlaagse leidingen	111
I.3 Kwaliteitseisen leidingen	112
I.4 Warmtegeleiding leidingmaterialen	113
I.5 Garanties	113
I.6 Bijkomende zaken	113
Bijlage J Bepaling uitzetting en krimp van de dekvloer	115
Bijlage K Inregelen op vermogen en tijd	117
Bijlage L Aanbrengen vloerafwerking	119
Bijlage M Gebruikershandleiding	121
Bijlage N Vraagspecificatie vloerverwarming/koeling	123
Literatuurlijst	127
Colofon	129

SAMENVATTING

Deze publicatie is een herziening van ISSO-publicatie 49 “Kwaliteitseisen vloerverwarming, wandverwarming en vloer- en wandkoeling”. Om aansluiting te houden bij de Europese norm NEN-EN 1264 worden in deze publicatie alleen watervoerende systemen behandeld. Het betreft vooral verwarming voor woningen/woongebouwen en utiliteitsbouw. Van industriële toepassingen is in de Europese norm slechts één standaard toepassing opgenomen. Specifieke systemen zijn via de NEN-EN 1264 of NEN-EN-ISO 11855 te berekenen.

De publicatie gaat in het kort in op de voordelen van lagetemperatuurverwarming (LTV) en de aandachtspunten bij een warmtepomp als opwekker. Daarna worden de verschillende typen vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling met hun specifieke eigenschappen en toepassingen behandeld. Vervolgens wordt uitgebreid ingegaan op de dimensionering en projectering van de verschillende systemen. De ingebruikname en beproeving worden eveneens behandeld. Naast verwarmen wordt aandacht besteed aan vloer- en wandkoeling.

AFKORTINGEN

Bbl:

Besluit bouwwerken leefomgeving

BRL:

Beoordelingsrichtlijn

COP:

Coefficient of Performance

EPBD:

Energy Performance of Buildings Directive

HR:

Hoog rendement

LTV:

Lagetemperatuurverwarming

MPG:

Milieu Prestatie Gebouwen

MTV:

Middentemperatuurverwarming

NTA:

Nederlandse Technische Afspraak

PMV:

Predicted Mean Vote

ZLTV:

Zeer lagetemperatuurverwarming

SYMBOLENLIJST

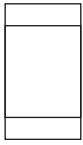
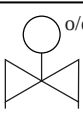
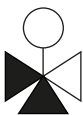
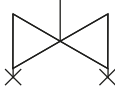
Symbol	Omschrijving	Eenheid
$\Delta\theta_h$	ontwerpovertemperatuur (verwarmen); ontwerpondertemperatuur (koelen)	[K]
$\Delta\theta_{h,g}$	temperatuurverschil tussen verwarmingsmedium en ruimte waarbij de toegestane maximale vloertemperatuur wordt bereikt	[K]
$\Delta\theta_{vert}$	verticale temperatuurgradient	[K]
$\Delta\theta_{pl}$	het grootste verschil in temperatuur tussen de oppervlaktetemperatuur van het plafond en de oppervlaktetemperatuur van de tegenover liggende oppervlakte (de vloer)	[K]
$\Delta\theta_w$	logaritmisch ¹ temperatuurverschil tussen de vloer/wand en de ruimtelucht	[K]
$\Delta\theta_{wa}$	het grootste verschil in temperatuur tussen de oppervlaktetemperatuur van de wand en de oppervlaktetemperatuur van de tegenover liggende wand	[K]
Δx	uitzetting	[m]
ΔT	temperatuurverhoging of -verlaging	[K]
α	overdrachtscoëfficiënt tussen vloer en lucht	[W/ (m ² ·K)]
α_w	overdrachtscoëfficiënt tussen wand en lucht	[W/ (m ² ·K)]
λ_i	warmtegeleiding isolatie	[W/ (m·K)]
λ_u	warmtegeleiding dekvloer	[W/ (m·K)]
λ_R	warmtegeleiding leidingmateriaal	[W/ (m·K)]
θ	verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur	[K]
θ_a	luchttemperatuur	[°C]
θ_i	ontwerpbinrentemperatuur	[°C]
$\theta_{F,m}$	gemiddelde oppervlaktetemperatuur	[°C]
$\theta_{mv,opt}$	optimale gemiddelde vloeroppervlaktetemperatuur	[°C]
$\theta_{mv,max}$	maximale gemiddelde vloeroppervlaktetemperatuur	[°C]
θ_s	gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
θ_{op}	operatieve temperatuur	[°C]
θ_u	temperatuur ondergelegen ruimte (bij vloersysteem)	[°C]
θ_u	temperatuur naastgelegen ruimte (bij wandsysteem)	[°C]
θ_{vl}	vloertemperatuur	[°C]
$\theta_{w,i}$	ontwerpaanvoertemperatuur	[°C]
Φ	totale verwarmingsvermogen	[W/m ²]
Φ_{koel}	totale koelvermogen	[W/m ²]
Φ_{sp}	specifiek thermisch vermogen	[W/m ²]

1. Bij vloerverwarming is het genoemde temperatuurverschil klein én sterk afhankelijk van de positie van de leidingen in de vloer/wand en van de watertemperatuur. Hierdoor verloopt de warmteafgifte niet lineair.

Symbol	Omschrijving	Eenheid
$\Phi_{sp,g}$	specifieke warmteafgifte bij welke de maximaal toegestane vloeroppervlaktetemperatuur is bereikt	[W/m ²]
$\Phi_{sp,h}$	specifieke warmteafgifte van vloerverwarmingssystemen bereikt zonder vloerafwerking	[W/m ²]
$\Phi_{sp,u}$	neerwaarts specifiek warmteverlies	[W/m ²]
γ	thermische uitzettingscoëfficiënt	[m/(m.K)]
A	oppervlakte	[m ²]
A_{vl}	totale vloeroppervlak	[m ²]
A_{wand}	totale wandoppervlak	[m ²]
D	buitendiameter buis/verwarmingsleiding	[mm]
L	lengte	[m]
$R_{a,plafond}$	overgangsweerstand tussen plafond en lucht (in formule 1/a)	[m ² ·K/W]
R_b	warmteweerstand van de vloer- of wandbedekking	[m ² ·K/W]
R_i	effectieve warmteweerstand van de isolatie	[m ² ·K/W]
$R_{\lambda,plafond}$	warmteweerstand van de constructieve vloer	[m ² ·K/W]
$R_{\lambda,stuc laag}$	warmteweerstand van de stuc laag	[m ² ·K/W]
R_c	warmteweerstand van de constructie	[m ² ·K/W]
$R_{draagvloer}$	warmteweerstand van de constructie vloer/plafond	[m ² ·K/W]
R_i	warmteweerstand van de isolatie	[m ² ·K/W]
R_o	naar boven gericht deel van de thermische overdrachtsweerstand van de vloerconstructie (boven de leidingen)	[m ² ·K/W]
R_u	naar beneden gericht deel van de thermische overdrachtsweerstand van de vloerconstructie (onder de leidingen)	[m ² ·K/W]
v_a	luchtsnelheid	[m/s]
$v_{a,max}$	maximale luchtsnelheid	[m/s]
T	afstand van de leidingen (hart op hart)	[m]
c_w	soortelijke warmte van water	[J/(kg·K)]
d_s	vervorming onder invloed van een voorgeschreven belasting	[mm]
d_l	isolatiedikte bij levering bij een bovenbelasting van 0,25 kN/m ²	[mm]
d_b	isolatiedikte onder een belasting van 2,0 kN/m ²	[mm]
m_H	ontwerpmassastroom	[kg/s]
s_d	dikte van de dekvloer onder de leidingen	[m]
s_h	de algehele dikte van de thermisch isolatie	[m]
s_i	dikte isolatie	[m]
s_{ins}	effectieve dikte van de isolatielaag	[m]

Symbool	Omschrijving	Eenheid
s_l	dikte van de isolatielaag onder de leiding	[m]
s_u	dikte van de dekvloer boven de leidingen	[m]

GRAFISCHE SYMBOLEN

	Warmtegebruiker (WG) of koudegebruiker (KG) of distributiesysteem met meerdere afgiftesystemen
	Warmteopwekker (WO)
	Tweewegregelafsluiter (RA) met servomotor
	Motorbediende afsluiter (MA) (open/dicht)
	Thermostatische regelafsluiter (TRA)
	Drieweg regelafsluiter (RA) met servomotor, mengend
	Circulatiepomp, werkend op een constant toerental
	Circulatiepomp met toerenregeling
	Inregelafsluiter (IRA) met meetvoorziening
	Inregelafsluiter (IRA) zonder meetvoorziening
	Handafsluiter (HA)

BEGRIPPENLIJST

Aanvoertemperatuur:

Temperatuur van het verwarmingsmedium bij uittreden uit een opwekker of bij intreden van een radiator/convector, vloerverwarmingsleiding of bronsysteem.

Basisverwarming:

Vloerverwarmingssysteem om de vloer op een aangename(re) temperatuur te brengen en dat een deel van de warmtebehoefte van een vertrek levert.

Dilatatievoeg:

Een naad of voeg die delen van een constructie van elkaar op zodanige wijze scheidt dat die delen zelfstandig vormverandering ondergaan. Een dilatatievoeg moet altijd doorgetrokken worden in een daarop aangebrachte dekvloer of stuclaag.

Droogbouwsysteem:

Een vloer- of wandverwarmingssysteem waarbij de verwarmingsleidingen niet ingebed zijn in een mortel en in de meeste gevallen de warmte via warmtespreidende elementen aan de bovenlaag afgeeft

Hoofdverwarming:

Vloerverwarmingssysteem dat berekend is voor het volledig compenseren van het warmteverlies van een vertrek.

Krimpvoeg:

Een naad of voeg die in een niet hechtende dekvloer wordt aangebracht door inzagen of door het opdelen van vloervelden met randisolatie. Het doel is om willekeurige scheurvorming door krimp te voorkomen.

Lagetemperatuurverwarming (LTV):

Een verwarmingssysteem waarbij de aanvoertemperatuur tussen 35°C en 45°C ligt.

Middentemperatuurverwarming (MTV):

Een verwarmingssysteem waarbij de aanvoertemperatuur tussen 45°C en 55°C ligt.

Nat systeem:

Een vloer- of wandverwarmingssysteem waarbij de verwarmingsleidingen ingebed zijn in een mortel.

Ontwerptemperatuur:

De door de ontwerper bepaalde temperatuur waarbij deze de ontwerpvermogens van de installatie realiseert.

Optimaliserende regelaar:

Een optimaliserende regeling corrigeert aan de hand van een zelflerend programma het moment van opwarmen. Dit voorkomt het te vroeg of te laat realiseren van de dagtemperatuur.

Opwarmtijd:

De tijd, onder ontwerpcondities, vanaf het moment van inschakelen van de installatie na een periode van bedrijfsbeperking tot het moment dat de temperatuur behorende bij PMV = -0,5 bereikt is en de bedrijfstijd begint.

Retourtemperatuur:

Temperatuur van het medium bij het intreden in de opwekker (eerste warmteopwekker bij bivalent systeem) of bij uittreden van een radiator/convector of vloerverwarmingsleiding of bronsysteem.

TOjuli:

Indicator voor verlaging van het risico op oververhitting (temperatuuroverschrijding) in een woning, als vangnet in de NTA 8800 [...] voor energielabel berekeningen. Directe zonintreding heeft een grote invloed op oververhitting bij nieuwbouwwoningen. Dit kan in de zomer problemen opleveren. Hogere binnentemperaturen leiden tot overlast.

Zeer lagetemperatuurverwarming (ZLTV):

Een verwarmingssysteem waarbij de aanvoertemperatuur 35°C of lager is.

1 INLEIDING

1.1 DOELSTELLING

Deze publicatie is de herziene uitgave van ISSO-publicatie 49 "Kwaliteitseisen vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling" (2004).

Het doel van de publicatie is:

- Informatie bieden over het ontwerp, de uitvoering, oplevering en nazorg van vloer- en wandverwarmingssystemen (primair gericht op installateurs en installatieadviseurs);
- Praktische informatie bieden aan de verschillende bouwpartners (architect, opdrachtgever, projectontwikkelaar, aannemer, gebruiker) om op de juiste momenten in het bouwproces in te spelen op de toepassing van deze systemen.

De publicatie richt zich op woningbouw en kleine utiliteitsbouw of vergelijkbare systemen en geeft informatie voor zowel de nieuwbouwsituatie als voor toepassing bij renovatie of verbouw.

De aanleiding voor een nieuwe uitgave is ontstaan door de volgende ontwikkelingen:

- Nieuwe regelgeving (Europese norm EN-1264:2021, Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl), NTA 8800, e.d.);
- Aansluiting op andere ISSO-publicaties;
- Hogere isolatiegraad en verbeterde luchtdichtheid van nieuwe gebouwen, waardoor minder verwarmingsvermogen nodig is en andere randvoorwaarden voor het thermisch comfort ontstaan;
- Nieuwe inzichten in de stand van de techniek;
- De opmars van warmtebronnen zoals warmtepompen, zonne-energie, e.d. en (LTV) warmtedistributienetten.

1.2 TOEPASSING

Vloer- en wandverwarming zijn verwarmingssystemen waarbij de warmteafgevendende elementen zijn opgenomen in de betreffende bouwdelen. Het doel is deze bouwdelen op een hogere temperatuur dan hun omgeving te brengen waardoor ze bijdragen aan de handhaving van een thermisch comfortabel binnenklimaat. Deze systemen worden ook toegepast voor vloer- en wandkoeling, waarbij de bouwdelen op een lagere temperatuur dan hun omgeving worden gebracht en daardoor warmte opnemen. Een thermisch comfortabel binnenklimaat wordt daarmee nog beter gehandhaafd.

1.3 TOEPASSINGSGEBIED PUBLICATIE

Het toepassingsgebied van vloerverwarming is breed. Vloerverwarming wordt toegepast bij woning- en utiliteitsbouw en leent zich zowel voor nieuwbouw als renovatie. Bij nieuwbouw is het tegenwoordig door de lagere benodigde verwarmingsvermogens vrijwel altijd mogelijk vloer- of wandverwarming als hoofdverwarming toe te passen. Bij renovatieprojecten is mogelijk een aanvullend (convectief) verwarmingssysteem nodig.

Deze publicatie is voor het ontwerpen van vloer- en/of wandverwarming in zowel woningbouw als kleine utiliteitsbouw. Naast de dimensionering van het verwarmingssysteem wordt er aandacht besteed aan hydraulische schakelingen en zaken als de oplevering en eerste ingebruikname.

Vloer- en wandverwarming en vloer- en wandkoeling zijn een onlosmakelijk deel van de bouwkundige constructie van een gebouw. Correcties/wijzigingen na gereedkomen zijn veelal niet of niet zonder ingrijpende kosten te realiseren. Vloer- en wandverwarmingssystemen hebben

een lange levensduur. Door de eerder genoemde aspecten is het van belang zorgvuldig te ontwerpen en uit te voeren.

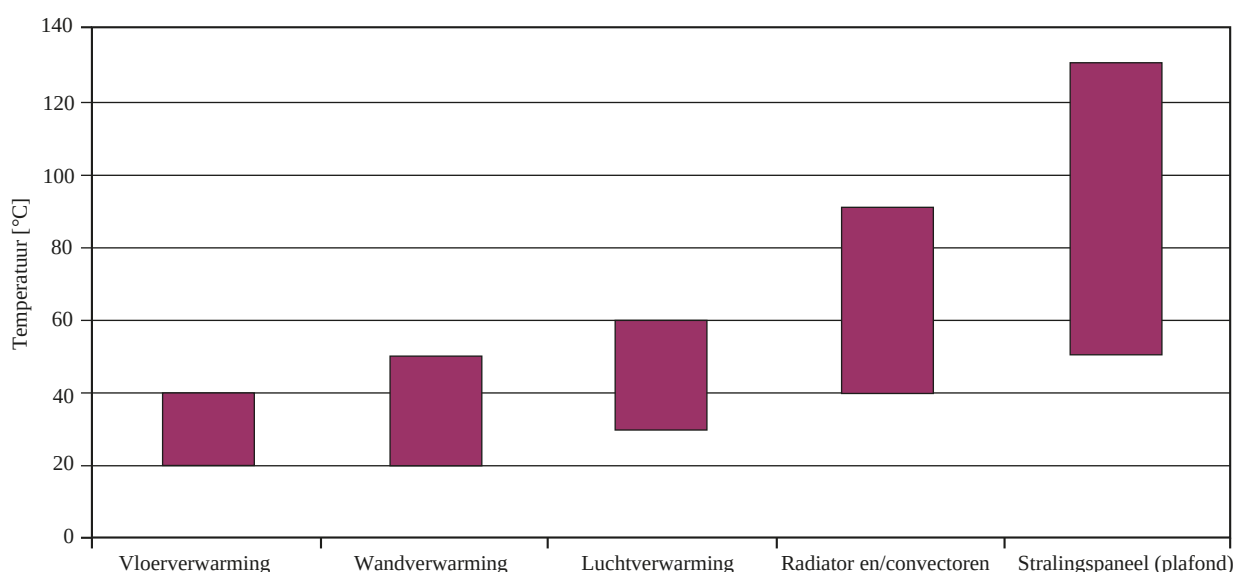
Het afgiftesysteem is in de zomer te gebruiken voor koeling.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 LAGETEMPERATUURVERWARMING (LTV)

De aanvoertemperatuur is afhankelijk van het afgiftesysteem en beïnvloedt het rendement van energiezuinige warmteopwekking (zoals warmtepompen) sterk. Ook bij een HR CV-ketel leidt verlaging van het temperatuurniveau tot een hoger rendement. Een LTV-systeem wordt positief gewaardeerd in de NTA 8800. Vloer- en wandverwarming is een LTV-systeem bij uitstek. Afbeelding 2.1 toont verschillende afgiftesystemen met de aanvoertemperatuur.

Maximale aanvoertemperaturen voor verschillende afgiftesystemen



Afbeelding 2.1 Aanvoertemperatuur voor verschillende afgiftesystemen

In de NEN 2741 [12] is aangegeven dat het aanbrengen van horizontale leidingen in de afwerkvloer met procestemperaturen van meer dan 40°C (zoals warmwater- en/of CV-leidingen) moet worden voorkomen. Wanneer het niet is te vermijden dat leidingen met procestemperaturen van meer dan 40°C horizontaal in de afwerkvloer worden opgenomen, moeten deze 'warme' leidingen door ruim bemeten of thermisch isolerende mantelbuizen worden geleid.

In sommige gevallen is het noodzakelijk om een hogere watertemperatuur in ongeïsoleerde leidingen toe te laten zoals voor aansluitleidingen van een wandverwarmingssysteem. Bij een goede motivatie mag hier van de NEN 2741 afgeweken worden in afstemming met de opdrachtgever.

2.2 GRENSWAARDES

In tabel 2.1 staan de gedefinieerde grenswaarden om tot een goed ontwerp voor een goed werkende installatie te komen.

Tabel 2.1 Grenswaardes

Aspect	Specificatie	Temperatuur (°C)	Vermogen (W/m ²)
Maximale aanvoerwatertemperatuur voor vloersystemen	Volgens NEN 2741 Randvoorwaarden leefgebied: • Zandcement vloer • Afwerking vloer: steen • Leidingen hart op hart: 100 mm • Dekking boven de leidingen: 25 mm • Temperatuurtraject: 40°C/35°C	40	
Maximale vloeroppervlaktetemperatuur en warmteafgifte	Leefgebied (bij 22°C ruimte)	29	75
Minimale vloeroppervlaktetemperatuur en maximale warmteopname ²	Leefgebied (bij 26°C ruimte)	21	29
	Leefgebied (bij 25°C ruimte)	21	27
	Leefgebied (bij 24°C ruimte)	21	24
Maximale veldgrootte	Per vloerregister 15 m ²		
Maximale drukval	Per vloerregister 20 kPa		
Maximale warmteweerstand vloerafwerking, inclusief eventuele ondervloer:	Zowel voor tapijt als parket 0,09 m ² .K/W		

Opmerking:

Bij standaard ontwerpen en/of het bepalen van globale uitgangspunten zijn de aangegeven waarden maximale waarden bij de gegeven randvoorwaarden. In de praktijk liggen de warmteafgifte en warmteopname meestal lager vanwege afwijkingen op de randvoorwaarden.

2.3 WARMTEPOMP ALS OPWEKKER

Specifiek voor systemen met een warmtepomp als opwekker gelden de volgende aandachtspunten bij het ontwerpen:

- De onderlinge leidingafstand moet bij voorkeur niet meer dan 15 cm zijn (afhankelijk van gevraagde vermogen) in verband met het rendement van de warmtepomp en het beschikbare vermogen. Om het maximale koelvermogen met de vloer te realiseren moet de leidingafstand zo klein mogelijk zijn. De aanvoertemperatuur voor verwarmen is dan lager, waardoor de warmtepomp een hogere COP realiseert.
- Nabij (vol)glasgevels ontstaat discomfort door het optreden van koudeval. Dit is afhankelijk van de warmteweerstand (U_{raam}) en de hoogte (h_{raam}) van het glas. Globaal zijn er weinig klachten als $U_{\text{raam}} \times h_{\text{raam}} \leq 3$. Zie ISSO-publicatie 98. Koudeval ontstaat ook bij slecht geïsoleerde buitenmuren.
- Hoewel het extra beschikbare vermogen om koudeval op te vangen beperkt is, is het advies om op plaatsen waar koudeval verwacht wordt over een afstand van 1 meter een maximale leidingafstand van 10 cm toe te passen. Gebruik, als dit mogelijk is, de aanvoerleiding van het

2. Koeling is afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid, waardoor de maximale warmteopname lager kan zijn (<20 W/m²).

register voor de eerste lussen bij de koude constructie. Zie afbeeldingen in 4.3.1 en 4.3.4 voor de verschillende legpatronen.

- Door toepassen van een ventilatiesysteem zonder warmteterugwinning, met toevoer van buitenlucht via roosters of installatiedelen in de gevels rechtstreeks de verblijfsruimte in, ontstaat er koudeval aan de gevel onder de toevoerpunten. Dit is een aandachtspunt omdat deze koudeval niet vanuit de vloerverwarming opgevangen wordt. Dit geeft koudeklachten en tochtverschijnselen zodat de gebruiker geneigd is de buitenroosters dicht te zetten of de ventilatie-unit uit te schakelen. Dit resulteert mogelijk in een minder gezond binnenklimaat door onvoldoende verse lucht.
- De maximale veldgrootte per register is bij voorkeur circa 10 à 15 m². Hierbij moet gelet worden op het drukverlies over het register bij de gekozen leidingdiameter en het in te stellen debiet. Het maximaal toegestane drukverschil moet in lijn zijn met de beschikbare opvoerhoogte van de circulatiepomp en moet stromingsgeluid voorkomen. De drukverliesberekening wordt gemaakt met ISSO-publicatie 18 of daarop gebaseerde computerprogramma's. Bij grote oppervlakken is het advies om de veldgroottes in te delen op basis van eventueel aanwezige dilatatievoegen.
- Met het verbeteren van de isolatiewaardes en het toepassen van ventilatiesysteem D met WTW wordt wandverwarming steeds beperkter toegepast. Dit is veelal niet meer aanvullend nodig.
- Houd rekening met een afwerkvloer (vloerbedekking) met een maximale warmteweerstand van 0,09 m².K/W, zie tabel 4.2 in 4.3.3.1. Om het gewenste vermogen bij een lage watertemperatuur af te geven wordt ervoor gekozen om op een project een lagere warmteweerstand te eisen. Informeer de opdrachtgever daarover.
- Hydraulische inkoppeling: Het verdient aanbeveling om zonder een mengregeling te werken. Een mengregeling is ongunstig voor het systeemrendement. Of kies voor een slimme mengregeling, die alleen inschakelt als de aanvoerwatertemperatuur boven de ingestelde waarde komt, zie ook hybride verdeler 4.3.5.3.

2.4 ONTWERPASPECTEN

Bij het ontwerpen van een vloer-/wandverwarmingssysteem spelen de volgende aspecten een rol:

- Het type constructievloer/wand;
- Het type dekvloer/voorzetwand (nat/droog systeem);
- De opbouw en hoogte van de dekvloer (in verband met beschikbare hoogte en draagvermogen van de vloer);
- De warmteweerstand van de vloer/wand;
- De warmteweerstand van de gewenste vloerafwerking;
- Het type en de afmetingen van de leiding;
- De watertemperatuur/temperatuurklasse en de verwarmingsbron;
- De specifieke warmtebehoefte van het vertrek;
- Systeemontwerp en inregeling volstaan voor zowel verwarmings- als koelbedrijf;
- Nieuwbouw/bestaande bouw/renovatie situatie.

Deze factoren bepalen samen het afgegeven vermogen van de vloer/wand en de haalbaarheid. De keuze van het type dekvloer wordt mede bepaald door de constructievloer. Het type vloer is bepalend voor het toepasbare concept. De specifieke warmtebehoefte van het vertrek wordt bepaald door de warmteverliezen door glas en gevels, en ligt grotendeels vast. Daarnaast spelen infiltratie, ventilatie en een eventuele opwarmtoeslag een rol. In een nieuwbouwsituatie is vloer-/wandverwarming vrijwel altijd haalbaar. Voor de andere ontwerpaspecten bestaat (binnen zekere grenzen) een ontwerp vrijheid. Daarbij is het van belang of ontworpen moet worden voor een specifieke temperatuurklasse of voor een specifieke vloerafwerking (gebruikersaspect). Een keuze voor een temperatuurklasse sluit een vloerafwerking uit of omgekeerd, mede afhankelijk van de vloeropbouw. De opdrachtgever moet in de programmafase aangeven welk ontwerpaspect prevaleert: de temperatuurklasse of de vloerafwerking. Afhankelijk van de keuze leidt dit tot beperkingen ten aanzien van de vloerafwerking of temperatuurklasse. Na de ontwerpfase vindt daarom overleg plaats tussen ontwerpend installateur, opdrachtgever en

architect over de consequenties van de gemaakte keuzes, waarbij ontwerputgangspunten eventueel aangepast worden.

Ontwerpaspecten koeling

Bij vloer-/wandkoeling gelden vergelijkbare overwegingen als bovengenoemd voor verwarming. De keuzevrijheid met betrekking tot de watertemperatuur is hier beperkt vanwege het risico op condensatie.

Verwarmen en koelen

Een vloer en/of wand wordt zowel voor verwarmen als koelen gebruikt. Bij het ontwerpen van een installatie die zowel voor verwarming als koeling gebruikt gaat worden zijn er globaal twee ontwerpmogelijkheden:

- De verwarmingssituatie wordt beschouwd als maatgevend. De vloer/wand wordt gedimensioneerd op de verwarmingssituatie. Dit komt voor bij woningen waar geen eisen gelden met betrekking tot temperatuuroverschrijdingen in de zomer, of bij kantoren waar een deel van de koeling via de ventilatielucht gerealiseerd wordt;
- De vloer/wand wordt gedimensioneerd om zowel als hoofdverwarming en als hoofdkoeling te functioneren. Hierbij gelden zowel in de verwarmingssituatie als in de koelsituatie eisen aan het afgegeven vermogen. De leidingafstand in een vertrek wordt bepaald door de zwaarste eis.

De keuze voor verwarmen én koelen houdt in dat het gehele ontwerptraject (leidingafstand, ontwerp temperatuurniveaus, ontwerp massastroom) twee maal doorlopen wordt, met als eindresultaat dat het ontwerp met bijbehorende instellingen zowel in verwarmings- als koelbedrijf voldoet.

2.5 VLOER- EN WANDVERWARMING

De warmteoverdracht per oppervlakte-eenheid van vloer- of wandverwarming kan relatief laag zijn omdat een groot oppervlak beschikbaar is. Uit oogpunt van comfort moet de oppervlaktetemperatuur van de vloer of wand beperkt worden.

In een verblijfsgebied mag de vloertemperatuur niet warmer worden dan 29°C [1] en geeft de vloer bij een ruimtetemperatuur van 22°C niet meer af dan 75 W/m². In randzones geldt een maximale vloertemperatuur van 35°C. Voor een badkamer is de maximale vloertemperatuur gesteld op 33°C bij een ruimtetemperatuur van 22°C. Door aanwezige leidingen in de vloer is de capaciteit beperkt. Voor overige ruimtes zie tabel A.3 in bijlage A.

Wanneer een hogere ruimtetemperatuur de wens is en het voor de warmteopwekker voor een optimaal rendement gewenst is om een lage aanvoerwatertemperatuur te leveren, moet goed berekend worden of het benodigde afgegeven vermogen gehaald wordt. Eventueel moet er een aanvullende maatregel getroffen worden, zoals:

- Een hogere aanvoerwatertemperatuur instellen (buitentemperatuurafhankelijke regeling hoger instellen);
- Toepassen van een kleinere hartafstand tussen de leidingen;
- Strengere eisen stellen aan de toe te passen vloerafwerking (lagere warmteweerstand);
- Toepassen van een ruimteregeling die het beschikbare vermogen in de tijd verdeelt en daarmee waar nodig een hogere aanvoertemperatuur verzorgt;
- Plaatsen van aanvullende verwarming, bijvoorbeeld een (elektrische) radiator.

Omdat er geen direct lichamelijk contact is met een wand worden bij wandverwarming geen eisen gesteld aan de maximale oppervlaktetemperatuur. Het advies is het wandoppervlak niet warmer dan 40°C te maken.

2.6 VLOER- EN WANDKOELING

De warmteoverdracht per oppervlakte-eenheid van vloer- of wandkoeling is relatief laag. Uit oogpunt van comfort en het risico van condensatie mag de oppervlaktetemperatuur van de vloer of wand niet te laag worden.

In een verblijfsgebied bij een ruimtetemperatuur van 26°C en een oppervlaktetemperatuur van 21°C is het koelvermogen niet meer dan 29 W/m². Bij wanden is het koelvermogen niet meer dan 39 W/m². Op plaatsen waar de zon direct op de vloer of wand schijnt is het koelvermogen hoger.

2.7 VLOERDIKTE EN BOUWHOOGTE

Vloerdikte in relatie tot bouwhoogte bij vaste vloeren

Bij vloeren die uitgevoerd zijn als hechtende dekvloer moet worden uitgegaan van een minimale dekking van 25 mm boven de leiding. De dikte van de vloer wordt hierdoor 25 mm + leidingdikte (vloerdikte 35 – 45 mm).

Vloerdikte in relatie tot bouwhoogte bij zwevende dekvloeren

Vloerverwarming in gestapelde bouw wordt vaak uitgevoerd met zwevende dekvloer op akoestische en thermische isolatie. Het doel van de isolatie is er voor te zorgen dat het systeem niet te veel warmte afgeeft naar het onder gelegen vertrek. Om akoestische redenen is isolatie een eis. Bij woningen op de begane grond wordt de isolatie aan de onderkant van de constructievloer geplaatst om te voldoen aan de minimale isolatiewaarde uit het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). Deze geldt voor de totale vloer ongeacht waar de isolatie zich bevindt. Wanneer de dekvloer niet zwevend wordt uitgevoerd moet rekening worden gehouden met een grotere thermische massa.

Bij het toepassen van een vloerverwarmingssysteem met een zwevende dekvloer moet in een vroeg stadium rekening gehouden worden met de nodige dikte van de toe te passen vloer in relatie tot de vertrekhoogte. Voor de thermische en akoestische aspecten moet men rekening houden met isolatiediktes van ca. 20 tot 40 mm. Voor de dikte van een afwerkvloer volgens het natbouwsysteem moet men rekening houden met ca. 70 mm. Bij woningen is een reductie van de dekvloerdikte tot 50 mm mogelijk wanneer plastificeerder wordt toegevoegd aan het zandcement. Zie hiervoor informatie van de leverancier.

Vloerdikte in relatie tot bouwhoogte bij droogbouw vloeren

Voor een droogbouww vloer moet rekening gehouden worden met een dikte van ca. 25 mm. Dit houdt in dat voor een lichte vloer de totale dikte van de vloer op ca. 45-65 mm uitkomt, en voor een middelzwaar systeem op ca. 50-70 mm tot maximaal ca. 120 mm.

2.8 INSLIJPEN/INFREZEN VAN LEIDINGEN

Het inslijpen van vloerverwarming is een beproefde methode om lagetemperatuurverwarming (LTV) toe te passen in o.a. bestaande zandcement dekvloeren. Dit kan zonder dat de dekvloer moet worden verwijderd of opnieuw opgebouwd. Deze methode valt onder de NEN-EN 1264 [1] (type H1 of H2).

Bij deze manier van installeren is het belangrijk dat de leverancier een goedgekeurd en getest systeem gebruikt voor zowel de manier van verwarmen (afgifte) als voor het aanbrengen van de afwerkvloer.

Naast het inslijpen wordt het infrezen toegepast bij droogbouww vloeren zoals gipsvezelplaten (vloerelementen), bijvoorbeeld Fermacell of Knauf. Dit zijn varianten op de in de NEN-EN 1264 genoemde type systemen. Hierbij worden sleuven gemaakt met schijven die zijn voorzien van speciale freesmesjes. Deze vloerelementen worden o.a. toegepast op houten vloerconstructies,

zowel bij renovatie als nieuwbouw CLT-constructies. Specifieke uitvoeringen hiervan hebben geluiddempende en brandwerende eigenschappen (zie de specificaties van de producenten). Deze toepassing wordt niet verder omschreven.

Voordelen van infrezen/inslijpen:

- Het afgiftesysteem is snel en efficiënt aan te leggen door het vooraf aangebrachte legpatroon;
- Geschikt voor renovatie van bestaande woningen;
- Duurzaam in verband met gebruik bestaande dekvloer;
- De woning blijft tijdens installatie bewoonbaar;
- Het systeem heeft een snelle opwarmtijd omdat de leidingen dicht onder het vloeroppervlak liggen.

Nadelen van infrezen/inslijpen:

- Bij infrezen niet goed mogelijk om de noodzakelijke isolatie bij appartementen toe te voegen;
- Minder egale vloertemperatuur;
- Sneller afkoeling;
- Extra aandacht voor glad afwerken van de dekvloer.

2.9 ADVIES OP MAAT

Voor elke vloer moet een passend advies worden gegeven aan de klant, dit in verband met de verschillende ondervloeren, vloerafwerkingen en systemen.

Er wordt gekeken naar:

- Het type en de staat van de dekvloer;
- De bouwkundige situatie en gestelde eisen, zoals geluid en brandwerendheid;
- De installatie waarop aangesloten moet worden;
- Het type vloerafwerking dat gekozen wordt.

Het gekozen systeem moet goed worden uitgelegd aan de eindklant en vastgelegd in het advies. Dit gebeurt in overleg met het bedrijf dat de vloerafwerking aanbrengt en eventueel op advies van de producent. De verwerking moet altijd gebeuren volgens de richtlijnen van de fabrikant van de vloerafwerking en dichtzetmassa.

2.10 MILIEU PRESTATIE GEBOUWEN (MPG)

Sinds 1 januari 2013 is de milieuprestatieberekening een verplicht onderdeel van de aanvraag voor de omgevingsvergunning. De Milieuprestatie Gebouwen berekent de milieubelasting van de in een gebouw gebruikte materialen. Het Bbl stelt deze berekening verplicht voor nieuwbouw woningen, woongebouwen en kantoren met een oppervlakte vanaf 100 m².

In de MPG berekening wordt de impact van de gebruikte kunststofleidingen meegenomen aan de hand van het aantal m² GBO (gebruiksoppervlakte). Als voor vloerkoeling extra materiaal is toegevoegd, bijvoorbeeld voor een extra distributienet, dan wordt dit in de berekening opgenomen.

3 SYSTEEMTYPOLOGIE

Dit hoofdstuk onderscheidt systemen voor woning- en utiliteitsbouw en systemen in de industrie.

3.1 SYSTEMEN VOOR DE WONING- EN UTILITEITSBOUW

De praktijk kent vele uitvoeringsvormen. De hoofdindeling bij de woning- en utiliteitsbouw naar wijze van energiedrager is:

- Verwarming met elektrische weerstand;
- Verwarming en/of koeling met lucht;
- Verwarming en/of koeling met water.

3.1.1 Verwarming met elektrische weerstand

Elektrische vloer- of wandverwarming wordt uitgevoerd door in de vloer of wand aangebrachte elektrische weerstandselementen, uitgevoerd in kabels of folie. Dit onderdeel wordt verder niet behandeld in deze publicatie.

In de EPBD III “Richtlijnen voor technische bouwsystemen in bestaande en nieuwbouwwoningen en kleine utiliteit” [2] staat aangegeven dat elektrische verwarming met een COP van 1 (directe elektrische verwarming) uitsluitend is toegestaan met losse zelfstandige toestellen. Een technisch bouwsysteem op basis van directe elektrische verwarming zoals een ‘elektrische ketel’ is vanwege de eisen uit afdeling 6.13 van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) [3] niet toegestaan. Niet voor nieuwbouw, verbouw en bij vervanging van het opwekkingstoestel. Een woning volledig verwarmen met elektrische vloer- en/of wandverwarming als hoofdverwarming is om dezelfde reden niet toegestaan.

3.1.2 Verwarming en/of koeling met lucht

Vloerverwarming en/of -koeling met lucht wordt gerealiseerd door het aanbrengen van transportkanalen in de vloer. Nadat de lucht een deel van de energie met de vloer heeft uitgewisseld wordt zij in de ruimte gebracht, waar deze voor aanvullende verwarming of koeling en voor ventilatie wordt benut. Dit onderdeel wordt eveneens verder niet behandeld in deze publicatie.

3.1.3 Verwarming en/of koeling met water

De meest voorkomende vloer- en wandsystemen zijn gebaseerd op warmte-uitwisseling met het betreffende bouwdeel door watervoerende leidingen.

In de vloer of wand worden leidingen aangebracht. Om een gelijkmatige temperatuur over het gehele oppervlak te krijgen, worden de leidingen in een bepaald patroon en op een bepaalde afstand van elkaar gelegd en in combinatie met warmtespreidende elementen.

3.2 VLOER- OF WANDVERWARMING ALS BASISVERWARMING

Bij uitvoering als basisverwarming wordt een gedeelte van de warmtevraag door de vloerverwarming geleverd en moet het overige deel geleverd worden door de aanvullende verwarming. Voor het regelen moet een centrale voorziening worden opgenomen.

Met de huidige eisen van het Bbl voor isolatie en luchtdoorlatendheid is het bij nieuwbouw vrijwel altijd mogelijk om vloer- of wandverwarming als hoofdverwarming toe te passen. De keuze voor vloer- of wandverwarming als basisverwarming wordt gemaakt als een snel reagerend systeem noodzakelijk is door snelle variaties van de warmtevraag.

Let op: Door het kleine temperatuurverschil tussen vloer- of wandtemperatuur en de ruimtetemperatuur is er sprake van een vrij sterk zelfregelend effect (zie ook bijlage H).

3.3 VLOER- OF WANDVERWARMING ALS HOOFDVERWARMING

In de verwarmingsinstallatie moet een centrale voorziening worden opgenomen om de vertrektemperatuur te regelen via een regeling van de afgifte van de verwarmingsbron.

- Om in te spelen op variaties in interne warmtelast en zoninstraling heeft het de voorkeur om op vertrekniveau de temperatuur te regelen. Bij nieuwbouw is volgens de Bbl een regeling per verblijfsgebied verplicht. Deze verplichting geldt ook voor bestaande bouw, wanneer de warmtebron voor een ander type wordt uitgewisseld.
- Bij toepassing van bedrijfstijdbeperking verdient het aanbeveling om een regeling te gebruiken die ervoor zorgt dat de gewenste vertrektemperatuur bereikt wordt bij de aanvang van de bedrijfstijd.

3.4 SYSTEEM VOOR INDUSTRIEGEBOUWEN

Vloerverwarming voor industriële toepassingen lijkt veel op het systeem dat toegepast wordt in de woningbouw/utiliteitsbouw. Vanwege de in het algemeen veel zwaardere vloer worden de vloerverwarmingsleidingen opgenomen in de constructievloer en niet in een op isolatie aangebrachte dunne (zwevende) dekvloer (zie afbeelding 3.1). Doordat met lage wateraanvoertemperaturen (maximaal 40°C) wordt gewerkt is er nauwelijks sprake van een verticale temperatuurgradiënt.

Er zijn bedrijven waar warmte van een lage temperatuur aanwezig is die voor lagetemperatuurverwarming wordt gebruikt. Bij koel-/vriescellen wordt een klein deel van de vrijgekomen warmte uit de koelmachines in een vloerverwarmingssysteem onder de geïsoleerde vloer gebracht om bevriezing van het grondwater onder de koel-/vriescel te voorkomen.

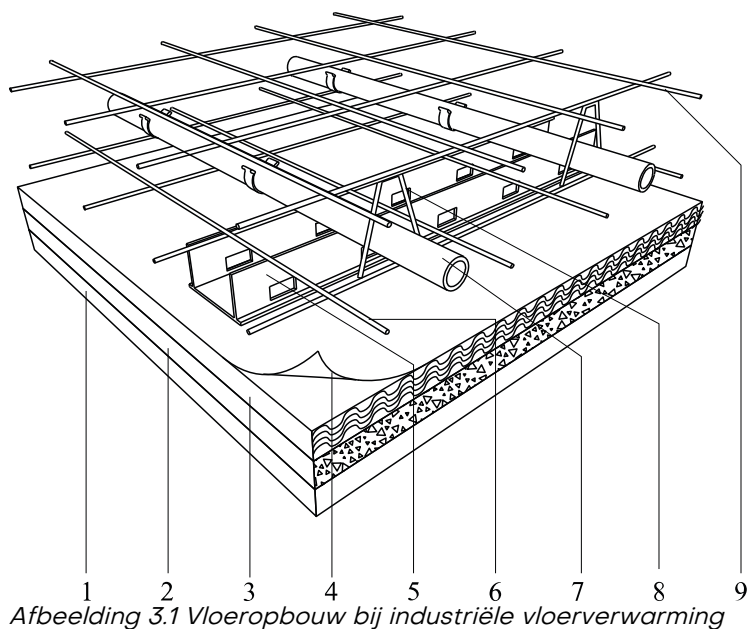
Het maken van verankeringen in de vloer vereist kennis van de exacte plaats van de verwarmingsleidingen. Het warmteafgevend vermogen van de vloer is beperkt (zie tabel 3.4). Bij ruimten met een hoge gewenste binnentemperatuur en/of een ventilatievoud groter dan 0,3 is aanvullende verwarming in die ruimte noodzakelijk.

Doordat het bij industriële ruimten om grote ruimten gaat met grote afstanden tot de wanden is wandverwarming een toepassing die (vrijwel) niet toegepast wordt.

Vaak wordt niet de gehele vloer van vloerverwarming voorzien, alleen randzones en eventueel werkplekken.

Specifieke industriële toepassingen, o.a. waarbij gebruik gemaakt wordt van geprefabriceerde betonplaten met geïntegreerde leidingen (al dan niet voorzien van gewicht besparende elementen) worden hier niet behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar de NEN-EN-ISO 11855 serie [13].

Vloerverwarming tegen bevriezing van een hellingbaan of parkeerdek wordt niet in deze publicatie behandeld.



Afbeelding 3.1 Vloeropbouw bij industriële vloerverwarming

Onderdelen afbeelding 3.1:

1. Geconsolideerde of verdichte aarde;
2. Afwerklaag van grind/zandstorting;
3. Isolatielaag (wordt wel eens weggelaten);
4. Afdekking met PE-folie van 0,2 mm;
5. Afstandshouder;
6. Onderwapening wapeningsmat;
7. Verwarmingsleiding;
8. Ondersteuningsprofiel;
9. Bovenwapening wapeningsmat.

3.5 THERMISCHE MASSA CONSTRUCTIES

3.5.1 Thermische massa vloeren en wanden

De mate waarin vloerverwarming warmte of koude buffert/accumuleert hangt af van het soortelijk gewicht, de soortelijke warmte en het volume van het materiaal. Hoe hoger deze waarden zijn, des te meer energie er opgeslagen wordt in het materiaal. Het betekent dat het meer tijd en energie kost om deze thermische massa op te warmen (of af te koelen). Een hoge thermische capaciteit slaat beter energie op en werkt beter als buffer. Er is meer traagheid bij veranderingen in het systeem. Het warmt minder snel op en koelt minder snel af.

Dergelijke 'zware' constructies zijn gebaat bij zo constant mogelijk verwarmen en koelen en nachtverlaging heeft zelden zin voor een lager energieverbruik (of met een grote tijdsverschuiving). Die traagheid is een nadeel bij aanwarmen en afkoelen en een voordeel bij koelen in de zomer en het accumuleren van zoninstraling. Omdat het koelvermogen dat een vloer levert beperkt is, is het goed om een grote massa af te koelen op koelere momenten (in de nacht), zodat op warmere momenten er meer reserve beschikbaar is. Een 'lichtere' constructie is sneller op temperatuur en heeft minder reserves om schommelingen op te vangen. Omdat deze constructies isolatie onder de dekvloer hebben, gaan warmte en koude minder naar beneden. In de zomer draagt een gekoelde verdiepingsvloer minder bij aan de ondergelegen laag, dan bij constructies die volledig afkoelen.

In tabel 3.1 is voor een aantal materialen een indicatie van de warmtecapaciteit gegeven.

Tabel 3.1 Indicatie warmtecapaciteit

Uitvoeringsvorm:	Soortelijk gewicht [kg/m ³]	Soortelijke warmte [kJ/kg.K]	Thermische capaciteit [kJ/m ³ .K]
Beton	2400	0,9	2160
Zandcement	1500	0,8	1200
Anhydriet (calciumsulfaat)	1800	1,05	1800-2100
Gips(vezel)plaat	1100	1,0	1100
OSB	600	1,7	1020

Beton heeft door het hoge soortelijk gewicht en redelijk hoge soortelijke warmte een hoge thermische capaciteit. De thermische capaciteit van anhydriet zit er door de hogere soortelijke warmte niet ver onder, alleen is de totale thermische capaciteit door de geringere dikte aanmerkelijk minder. De lagen gipsvezelplaat en OSB zijn een stuk dunner dan de betonconstructie, waardoor de totale thermische capaciteit klein blijft.

Isolatie tussen de dekvloer en constructievloer beperkt de warmtedoorgang en daarmee de accumulerende/bufferende werking van de onderliggende constructievloer.

De opwarmtijd is de benodigde tijdsduur voor opwarming van de constructie vanaf de stationaire temperatuur (bij uitgeschakelde verwarming) totdat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur de maximaal benodigde waarde voor verwarmen van de ruimte heeft bereikt. Hierbij wordt uitgegaan van de maximale aanvoerwatertemperatuur die voor het systeem is bepaald en van de heersende ruimtetemperatuur bij een onverwarmde ruimte. Het vloeroppervlak mag hierbij niet warmer worden dan 29°C het wandoppervlak niet warmer dan 40°C. Nadat de constructie op bedrijfstemperatuur is, is de verdere opwarming van de ruimte vergelijkbaar met andere systemen. In het algemeen hebben systemen met een grote thermisch actieve massa een grote opwarmtijd. Systemen met een kleine thermisch actieve massa hebben een geringe opwarmtijd. Op basis van de globale opwarmtijd van de thermische massa zijn de systemen volgens tabel 3.2 ingedeeld:

Tabel 3.2 Thermische massa vloeren

Uitvoeringsvorm:	Thermische massa vloer [kg/m ²]	Classificatie vloer	Opwarmtijd
Nat systeem direct op de constructievloer	ca. 300-700	Zwaar	> 2 uur
Nat systeem op isolatie		Middelzwaar	> 2 uur
Droog systeem	30-90	Licht	≈ 2 uur

Tabel 3.3 Thermische massa wanden

Uitvoeringsvorm:	Thermische massa wand [kg/m ²]	Classificatie wand	Opwarmtijd
Nat systeem direct op de constructieve wand	200–ca. 400	Zwaar	> 2 uur
Nat systeem op gipsblokken	60–90	Middelzwaar	> 2 uur
Nat systeem op isolatie	20–90	Middelzwaar	> 2 uur
Droog systeem	5–15	Licht	≈ 2 uur

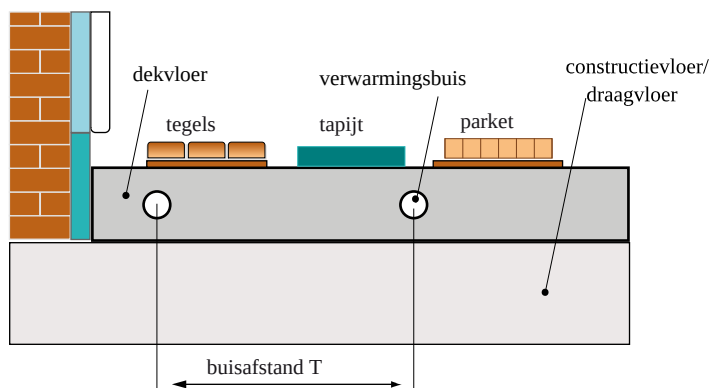
De daadwerkelijke opwarmtijd hangt af van de thermische massa en het beschikbare vermogen van de warmteopwekker en is niet eenduidig te specificeren.

3.5.2 Zware thermische massa Vloerverwarming

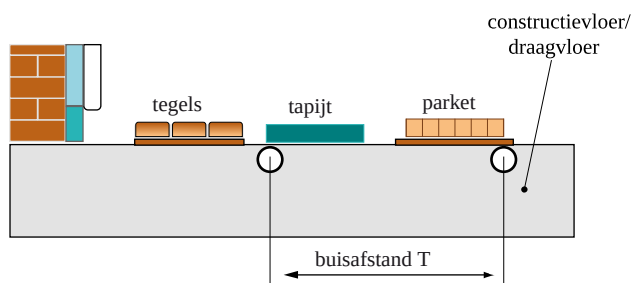
Leidingen in de dekvloer of constructievloer al dan niet met isolatie onder de constructievloer wordt een nat systeem genoemd. Deze variant van vloerverwarming zonder isolatie tussen de constructie- en dekvloer reageert thermisch duidelijk trager dan de variant met isolatie direct onder de dekvloer (zie middelzwaar).

Bij vloerverwarming volgens het zware systeem kent men qua plaats van de leiding in de dekvloer twee varianten:

- Leidingen aan de onderzijde van de dekvloer;
- Leidingen in de constructievloer.



Afbeelding 3.2 Uitvoering met hechtende dekvloer of dekvloer op folie



Afbeelding 3.3 Uitvoering met ingefreesde sleuven

Eigenschappen van een zwaar vloerverwarmingssysteem:

- Warmteafgifte in leefzone bij een ruimtetemperatuur van 22°C is niet hoger dan:
 - 75 W/m² bij een leidingafstand T van 0,1 m bij ingefreesde leidingen en bij de hechtende dekvloer of dekvloer op folie;
 - 60 W/m² bij een leidingafstand T van 0,3 m bij ingefreesde leidingen en 40 W/m² bij de hechtende dekvloer of dekvloer op folie;
- Opwarmtijd: traag.

Beperkingen/randvoorwaarden van een zwaar vloerverwarmingssysteem:

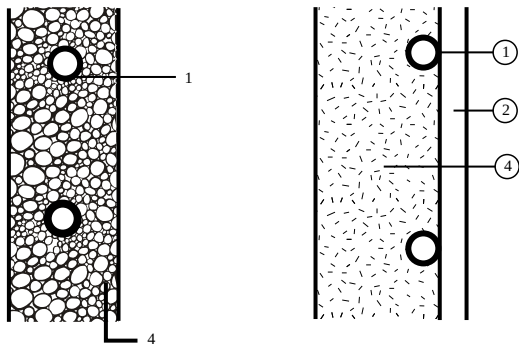
- Vloerafwerking: geen zwevend parket of parket van lichte houtsoort;
- Dikte van ca. 80 mm voor vloerverwarming + afwerklaag;
- Minder dan 30% van de vloer afgedekt met meubelen etc.;
- Minder geschikt voor snel wisselende belastingen;
- Verwarmingsleidingen niet dieper dan 80 mm vanaf bovenzijde vloer plaatsen;
- Alleen realiseerbaar bij nieuwbouw of ingrijpende renovatie;
- Niet geschikt voor volledige houtskeletbouw en CLT-bouw.

Toepassing:

- Woningbouw en utiliteitsbouw.

Wandverwarming

De leidingen zijn opgenomen in de stuc laag of constructiewand al dan niet met isolatie achter de constructiewand. Bij wandverwarming rekent men de opbouw met relatief lichte constructiematerialen (zoals holle baksteen of gasbeton bij een niet dragende wand) als zijnde licht tot middelzwaar.



Afbeelding 3.4 Zwaar wandverwarmingssysteem

1 verwarmingsleiding, 2 stuc laag c.q. wand, 4 wand

Eigenschappen:

- Eigenschappen in leefzone bij een ruimtetemperatuur van 22°C:
 - Leidingafstand T van 0,1 m en een oppervlaktetemperatuur van 36°C;
 - Leidingafstand T van 0,3 m en een oppervlaktetemperatuur van 34°C.

- Optimale wandoppervlaktetemperatuur 28 °C.

Beperkingen/randvoorwaarden:

- Minder dan 30% van de wand afgedekt.

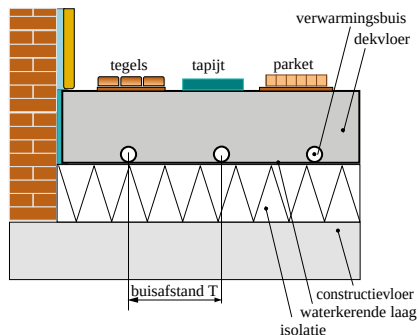
Toepassing:

- Woning- en utiliteitsbouw;
- Alleen binnenwanden en goed geïsoleerde buitenwanden;

- Alleen toepasbaar bij nieuwbouw.

3.5.3 Middelzware thermische massa Vloerverwarming

Bij een middelzware uitvoering wordt tussen constructievloer en dekvloer een isolatielaag aangebracht, waardoor de dekvloer thermisch ontkoppeld wordt van de constructievloer. In de meeste gevallen worden de leidingen op de waterkerende laag boven de isolatie aangebracht, waardoor ze onderin de dekvloer zitten (afbeelding 3.5). Veelal wordt hiervoor een speciale isolatieplaat toegepast met aangehechte folie van voldoende dikte en sterkte om de bevestigingsbeugels vast te zetten. Als alternatief is de vloer af te dekken met noppenplaten waarin de leidingen worden aangebracht.



Afbeelding 3.5 Middelzwaar vloerverwarmingssysteem met leidingen onder in de dekvloer

De gebruikelijke dekking boven de leidingen is zowel bij zandcement als bij anhydriet vloeren 25 mm.

Eigenschappen:

- Warmteafgifte in leefzone bij een ruimtetemperatuur van 22°C niet hoger dan:
 - 75 W/m² bij een leidingafstand T van 0,1 m;
 - 50 W/m² bij een leidingafstand T van 0,3 m.

Beperkingen/randvoorwaarden:

- Vloerafwerking: geen zwevend parket of parket van lichte houtsoort;
- Dikte van 90–120 mm nodig voor vloerverwarming + afwerklaag;
- Minder dan 30% van de vloer afgedekt met meubelen etc.;
- Alleen realiseerbaar bij nieuwbouw of ingrijpende renovatie;
- Niet geschikt voor toepassing bij volledige houtskeletbouw en CLT-bouw.

Toepassing:

- Toepassing bij woning- en utiliteitsbouw.

Typologie eigenschappen en randvoorwaarden

Om de thermische massa te vergroten zijn er vloerelementen en noppenplaten verkrijgbaar waarin een PCM (Phase Change Material) is verwerkt. Doordat een PCM bij verwarmen gaat smelten en bij afkoelen gaat stollen wordt er energie opgeslagen en afgegeven tijdens de faseovergangen tussen vast en vloeibaar.

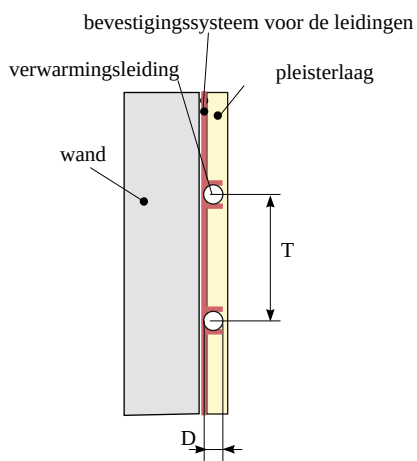
De smelt- en stollingstemperatuur kan relatief ver uit elkaar liggen, afhankelijk van de samenstelling van de PCM. Dit leidt in ieder geval tot dynamische effecten in de afgifte van het vermogen in relatie tot de aanvoertemperatuur. Zowel voor het rendement van de warmtepomp als voor het comfort in de woning kan dit een grote positieve óf negatieve invloed hebben.

Een PCM werkt vooral goed binnen een relatief smal temperatuurvenster rond het smeltpunt. Het toevoegen van PCM's introduceert een ander dynamisch gedrag van de vloertemperatuur in relatie tot het toegevoerde vermogen. Bij toepassing van een regeling op basis van een buitentemperatuurafhankelijke regeling kunnen buiten het actieve gebied van de PCM's snellere wisselingen in de retourtemperatuur optreden en grotere ΔT 's. De besturing van de opwekker en de opwekker moeten daarop geselecteerd zijn.

De extra buffering van energie hangt af van de hoeveelheid PCM die per m^2 verwerkt is en het warmteaccumulerende vermogen en de smelt-/stollingstemperatuur van het gekozen PCM. Als de vloerverwarming te weinig temperatuurverschil (tussen over- en smelttemperatuur) levert, slaat het PCM onvoldoende warmte op, of geeft het te weinig warmte af.

Wandverwarming

Bij een middelzwaar wandverwarmingssysteem worden de leidingen aangebracht op een relatief lichte achterwand zoals gasbeton of holle baksteen.



Afbeelding 3.6 Middelzwaar wandverwarmingssysteem

Eigenschappen:

- Eigenschappen in leefzone bij een ruimtetemperatuur van 22°C :
 - Leidingafstand T van 0,1 m en een oppervlaktetemperatuur van 36°C ;
 - Leidingafstand T van 0,3 m en een oppervlaktetemperatuur van 34°C .

Optimale wandoppervlaktetemperatuur 28°C .

Beperkingen/randvoorwaarden:

- Dikte van 1-4 cm nodig voor verwarming + afwerklaag;
- Minder dan 30% van de wand afgedekt.

Toepassing:

- Woning- en utiliteitsbouw;
- Alleen binnenwanden en goed geïsoleerde buitenwanden;
- Zowel toepasbaar bij nieuwbouw als renovatie;
- Niet toepasbaar bij houtskeletbouw en CLT-bouw.

3.5.4 Lichte thermische massa

Vloerverwarming

Bij een licht vloerverwarmingssysteem worden geen natte bouwmaterialen gebruikt, waardoor de dikte van de vloeropbouw en daarmee de thermische massa beperkt blijft. Deze opbouw wordt droog(bouw)systeem genoemd (afbeelding 3.7).

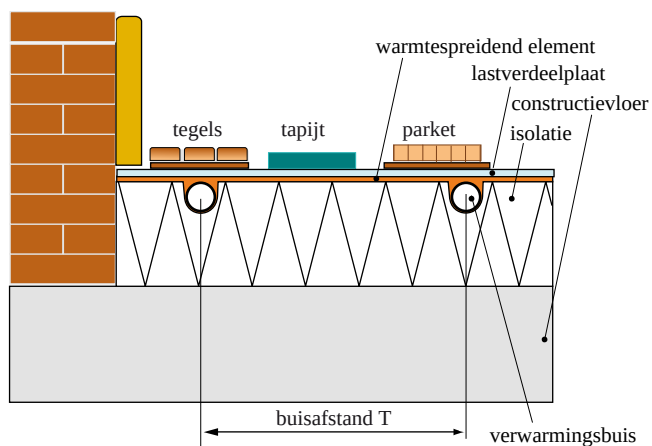
De voordelen van een droog systeem zijn:

- De opbouwhoogte is gering;
- Het gewicht van de toegevoegde materialen is kleiner is dan bij natte systemen;
- Na de gebruiksduur is het weer los te nemen in de onderdelen waaruit het is opgebouwd.

Dit maakt dat een droog systeem circulair is en gemakkelijk te recyclen.

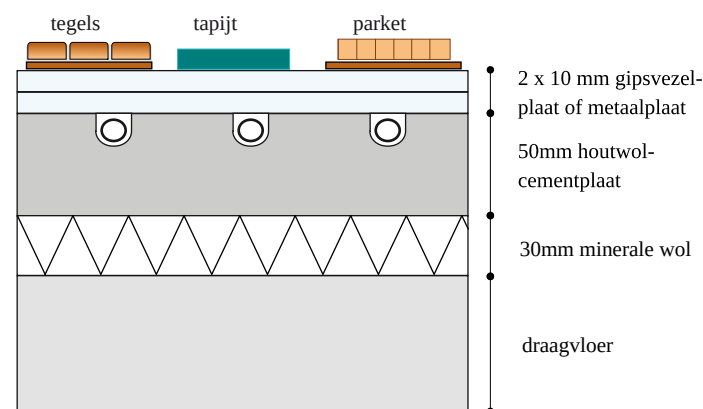
Door de geringe massa heeft het systeem een kortere reactietijd en geringere energie-inhoud dan bij zwaardere bouwsystemen. Dit betekent sneller opwarmen en sneller afkoelen van de vloer. Enerzijds is dit nadelig voor het comfort, anderzijds is dit in bestaande bouw bij toepassen van nachtverlaging een voordeel, omdat er minder energie verloren gaat bij aanwarmen en n-
ijlen.

Doordat het weinig massa bevat zijn er grotere temperatuurschommelingen in de ruimtes mogelijk dan bij natte bouwsystemen. Om zulke temperatuurschommelingen te vermijden moet een temperatuurregeling sneller reageren. Zeker in het tussenseizoen is het gevraagde vermogen en energieverbruik voor zowel verwarmen als voor koelen daardoor hoger.



Afbeelding 3.7 Licht vloerverwarmingssysteem (droogbouw)

Een variant is de verbeterde zwevende dekvloer (afbeelding 3.8). Deze vloer wordt verbeterde zwevende dekvloer genoemd omdat deze vloer een goede contactgeluidisolatie haalt en net zo eenvoudig/snel aan te brengen is als een "normale" droogbouwvloer.



Afbeelding 3.8 Verbeterde zwevende dekvloer (droogbouw)

Eigenschappen:

- Warmteafgifte in leefzone bij een ruimtetemperatuur van 22°C niet meer dan:
 - 75 W/m² bij een leidingafstand T van 0,1 m;
 - 60 W/m² bij een leidingafstand T van 0,3 m.

Beperkingen/randvoorwaarden:

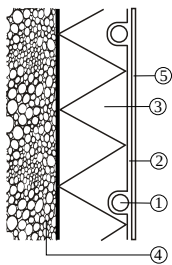
- Vloerafwerking: geen zwevend parket of parket van lichte houtsoort;
- Dikte van 45 – 65 mm nodig voor vloerverwarming + afwerklaag;
- Minder dan 30% van de vloer afgedekt met meubelen etc.;
- Snel reagerend systeem.

Toepassing:

- Woning- en utiliteitsbouw;
- Toepasbaar bij houtskeletbouw en CLT-bouw;
- Toepasbaar bij zowel nieuwbouw als bestaande bouw.

Wandverwarming

Een licht wandverwarmingssysteem bestaat uit een niet dragende binnenwandconstructie met isolatielaag achter de leidingen en lichte afwerklaag (voorzetwand of stuclaag) of geheel HSB.



Afbeelding 3.9 Licht wandverwarmingssysteem

1 verwarmingsleiding, 2 warmtegeleidingsplaat, 3 isolatie, 4 wand, 5 voorzetwand of stuclaag.

Eigenschappen:

- Eigenschappen in leefzone bij een ruimtetemperatuur van 22°C:
 - Leidingafstand T van 0,1 m en een oppervlaktetemperatuur van 36°C;
 - Leidingafstand T van 0,3 m en een oppervlaktetemperatuur van 34°C.
- Thermische massa van droge variant 5-15 kg/m²;
- Thermische massa van natte variant 20-90 kg/m²;
- Optimale wandoppervlaktetemperatuur 28°C.

Beperkingen/randvoorwaarden:

- Dikte van 3-4 cm nodig voor verwarming + afwerklaag;
- Minder dan 30% van de wand afgedekt met meubelen etc.

Toepassing:

- Woning- en utiliteitsbouw;
- Toepasbaar bij zowel nieuwbouw als bestaande bouw.

4 VERWARMEN

4.1 PROGRAMMAFASE

Vloer- of wandverwarming als hoofd- of basisverwarming

Vloer- en wandverwarming hebben andere eigenschappen dan verwarming met radiatoren en convectoren. Het verdient niet de voorkeur beide systemen in een vertrek te combineren. Het type vloerverwarmingssysteem bepaalt de traagheid van het systeem. Droogbouwsystemen reageren sneller dan natte systemen. Bij de gebouwen die aan de nieuwbouweisen van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) voldoen is er vrijwel altijd voldoende vloeroppervlak beschikbaar om het voor de ruimte benodigde vermogen te leveren, zodat dit geen argument is om voor vloer- of wandverwarming gecombineerd met radiatoren te kiezen. Wel komt het regelmatig voor dat in de badkamer vanwege het geringe vloeroppervlak vloerverwarming gecombineerd wordt met een (elektrische) (handdoek)radiator. Als gekozen wordt voor vloer- of wandverwarming als basisverwarming, verdient de regeling en de hydraulische schakeling extra aandacht in verband met de sterk verschillende reactiesnelheden van de systemen. Bij voorkeur krijgt het snelle afgiftesysteem een (thermostatische) regeling waarmee het wordt afgeschakeld net voordat de gewenste ruimtetemperatuur is bereikt, zodat de vloer of wand de gelegenheid krijgt om op te warmen voor vergroting van de behaaglijkheid in de ruimte. De warmteafgifte uit vloer of wand zorgt er voor dat de gewenste ruimtetemperatuur bereikt wordt.

Toepassing van vloerverwarming in gestapelde bouw.

Bij vloerverwarming in gestapelde bouw wordt aanbevolen een minimale isolatiewaarde van 0,75 (m².K)/W aan te houden (EN 1264 deel 4 tabel 1) onder de verwarmingsleidingen om ervoor te zorgen dat het systeem niet te veel warmte afgeeft naar het ondergelegen vertrek. Deze isolatielaag doet dienst om de vereiste akoestische demping tussen verschillende woningen te realiseren.

Invloed op de bouw bij de keuze van vloerverwarming.

Bij de keuze van vloerverwarming moet men er rekening mee houden dat de dikte van de vloer toeneemt. Afhankelijk van het gekozen systeem is dit 50 tot ca. 130 mm. Dit heeft consequenties voor de bouwhoogte. Goed overleg tussen de bouwer en de installateur is noodzakelijk. Let op de afstand tussen koud drinkwaterleidingen en verwarmde leidingen. Zie ISSO-rapport 110970 "Checklist hotspots in waterleidingen" [4]. Het aanbrengen van de afwerklaag is pas mogelijk nadat het verwarmingssysteem geïnstalleerd is. Veelal is een extra toevoeging aan de afwerklaag gewenst om een betere warmteoverdracht/hechting aan de leiding te verkrijgen.

Invloed op de bouw bij de keuze van wandverwarming.

Afhankelijk van het gekozen systeem is extra isolatie op de wand aan te brengen. De afwerklaag wordt aangebracht nadat het verwarmingssysteem geïnstalleerd is. Er kan gekozen worden voor andere stenen voor de binnenwand met voorgevormde uitsparingen voor de leidingen. Bij wandverwarming is afstemming nodig tussen de bouwer en de installateur. Let op de afstand tussen koud drinkwaterleidingen en verwarmde leidingen. De keuze voor wandverwarming heeft een behoorlijke impact op het bouwproces.

Koudwaterleidingen en vloer- of wandverwarming

Uit een aantal overwegingen (o.a. gezondheid) liggen koudwaterleidingen zover van warme leidingen zodat het koude water onder ontwerpcondities niet warmer wordt dan 25°C. Het kruisen van koudwaterleidingen en verwarmingsleidingen in de vloer/wand is niet toegestaan. Dit geldt ook als de leidingen bij de kruising geïsoleerd zijn.

Voor een volledige uitleg en bijkomende voorwaarden raadpleeg ISSO-rapport 110970 "Checklist hotspots in waterleidingen" [4].

4.2 UITVOERINGSVORMEN

4.2.1 Vloerverwarming

Voor een goede kwalitatieve uitvoering van de dekvloer en de daarin opgenomen materialen, zie hoofdstuk 6.

Dekvloer direct op een bezemschone vloer

Men houdt de dikte van de afwerkvloer, exclusief tegel, aan op minimaal 4 cm. De totale dikte, inclusief tegel, wordt dan minimaal 5 cm. Als op de vloer een tapijt of linoleum wordt gelegd of wanneer de vloerafwerking niet bekend is, kiest men een afwerkvloer van 5 cm dik.

Bij een kanaalplaatvloer behoren de spijkergaten voorgeboord te zijn.

Leg de leidingen zodanig vast dat ze op hun plaats blijven en niet gaan 'drijven' bij het aanbrengen van de dekvloer. Vervolgens de afwerklaag aanbrengen. Zorg voor voldoende dekking boven de leidingen. Hiervoor wordt een minimale dekking van 25 mm aangehouden, mede om voldoende spreiding van de warmte te krijgen.

Dekvloeren op een thermisch isolerende laag

Bij het beschrijven van de vloersamenstelling wordt vanaf de constructievloer naar boven gewerkt.

Isolatie

Wanneer de isolatie wordt gelegd moet de vloer voldoende vlak zijn. Eventueel moet de ondergrond uitgevlakt worden met een laagje mortel of zand zodat de isolatieplaten vlak liggen. Dit om breuk of ongelijkmatige vervorming te voorkomen. Leg de isolatieplaten aaneengesloten. Leg bij het aanbrengen van meerdere lagen isolatie de platen met een overlap van tenminste 100 mm.

Folie

Een waterkerende folie van Polyetheen heeft een dikte van ten minste 0,2 mm met een overlapping van ten minste 80 mm. Tijdens het aanbrengen van de vloerverwarming en specie mag geen beschadiging optreden. Extra zorg vereist het aanbrengen van een wapeningsnet, want de waterkerende laag is zeer kwetsbaar.

Dekvloer

Vloerverwarmingsleidingen zodanig bevestigen zodat ze niet losraken, opdrijven of verschuiven tijdens het aanbrengen van de vloer.

Tabel 6.1 geeft de minimale dikte van de vloer in relatie tot de sterkteklasse van de mortel en de vervorming van het isolatiepakket bij een voorgeschreven belasting.

Wapening

Als in de dekvloer een wapeningsnet wordt toegepast, moet deze in de bovenste helft van de dekvloer worden aangebracht. De wapening moet ten minste een speciedekking hebben van 10 mm. Als meer netten naast elkaar worden gebruikt, overlappen deze elkaar ten minste over een breedte van 200 mm. Een montagenet voor het bevestigen van de vloerverwarmingsleiding fungeert niet als wapening.

Randstroken

Om contact tussen de dekvloer en omringende bouwdelen te voorkomen brengt men een randstrook aan. De randstrook moet van een goed samendrukbaar materiaal zijn. De dikte van de randstrook moet zodanig zijn, dat de dekvloer onder alle omstandigheden vrij kan vervormen. Bij calciumsulfaatgebonden vloeren kan als gevolg van de verharding een lichte zwelling optreden. Deze bedraagt ten hoogste 0,2 mm/m. Cementgebonden dekvloeren krimpen. Nadat de dekvloer is uitgehard en uitgedroogd tot het evenwichtsvochtgehalte, zijn de vervormingen van de dekvloer in hoofdzaak een gevolg van temperatuuruitzettingen, zeker bij vloerverwarming. In mindere mate spelen vochtwisselingen een rol. De te verwachten uitzetting is te berekenen, zie bijlage J.

4.2.2 Infrezen vloerverwarming

Techniek van het inslijpen/infrezen

De sleuven worden gemaakt met een speciaal ontwikkelde slijpmachine. Deze machine heeft stofafzuiging met een HEPA-filter van minimaal klasse H13. Er worden diamantslijpschijven gebruikt die geschikt zijn voor verschillende soorten vloeren, zoals zandcement, beton of bestaande tegelvloeren.

De sleuven zijn 16 tot maximaal 18 mm diep en ongeveer 15 mm breed. In dit patroon worden de leidingen van de vloerverwarming gelegd. Andere afmetingen zijn toepasbaar.

De lengte van een vloerverwarmingsgroep is niet langer dan 90 meter, wat overeenkomt met ongeveer 9 m² vloeroppervlak bij een verlegafstand van 100 mm. Langere groepen worden afgeraden omdat dit de werking van het systeem nadelig beïnvloedt. Houdt rekening met de lengte van de aanvoer- en retourleiding waardoor minder oppervlakte in het vertrek mogelijk is.

Leidingen aanbrengen

Voor het leggen van de leidingen worden de sleuven en de vloer eerst goed gereinigd met een industriële stofzuiger. Daarna worden de leidingen (Ø14 x 2 mm) in de sleuven gelopen. Door de vorm van de sleuven blijven de leidingen goed vastzitten. Indien nodig worden ze extra vastgezet met kunststof kegjes.

Afwerking van de vloer

Na het plaatsen van de leidingen wordt de gehele vloer voorzien van een specifieke systeem primer en een eventuele dichtzetmassa, afhankelijk van de vloerafwerking. Deze fixeert de leidingen in de dek-/droogbouwvloer. Het soort dichtzetmassa hangt o.a. af van het type vloer en de gekozen vloerafwerking en advies van de producent van de dichtzetmassa. Er zijn verschillende merken en systemen. Belangrijk is dat de primer en dichtzetmassa worden aangebracht volgens de instructies van de fabrikant. Hierbij is het belangrijk om goed te letten op het toepassingsgebied, de droog-, verwerkings- en open tijden, de temperatuur en de tijd wanneer de vloer weer beloopbaar is en wanneer de verdere vloerafwerking aan te brengen is.

Eveneens afhankelijk van het type vloerafwerking en het oppervlak van de bestaande dekvloer moet de dichtzetmassa nog worden voorzien van een systeem egalisatielaag (volgens de voorschriften van de producent van de vloerafwerking), primer en lijm. Dit wordt vooral voorgeschreven bij vloerafwerkingen zoals dunne of zachte materialen zoals PVC. Deze egalisatielaag is 3 tot 5 mm dik.

Egaline (een zelf nivellerende mortel) zorgt ervoor dat de vloer glad en egaal is. Na droging ontstaat een stevig en licht flexibel oppervlak, dat o.a. doortekening van de vloerverwarmingsleidingen voorkomt. De droogtijd van het systeem ligt tussen de 24 en 48 uur, afhankelijk van het product en de omstandigheden in de ruimte (zie hiervoor de verwerkingsvoorschriften van de producent).

4.2.3 Wandverwarming

De wand is voorzien van een kunststof watervoerende leiding gelegd in een spiraalvorm. Het meest voorkomend is een leidingenregister van 10-20 mm dik. Een zeer dun kunststof leidingenrooster met capillaire leidingen (dikte 2 mm) opgenomen als mat in een stuclaag kent thans voor wandverwarming geen markt, wel bij plafondverwarming/plafondkoeling. Bij toepassen van een wandverwarmingssysteem wordt aangeraden om bij de warmteopwekker een luchtafscheider te plaatsen, zodat de kans op verminderde doorstroming als gevolg van lucht in de leidingen beperkt wordt.

Op de wand

De leidingen worden op de constructieve wand gemonteerd. Nadat de leiding is bevestigd wordt hierover gaas en een dikke cement- of kalkmortellaag aangebracht zodanig dat de leidingspiraal volledig is bedekt.

In de wand

In de muur worden sleuven gefreesd ten behoeve van de watervoerende leiding. De leiding wordt in de gleuf gezet en vervolgens ingebed in mortel dan wel het gehele muurvlak wordt afgewerkt met een mortellaag opdat de muur een egaal oppervlak krijgt. Om een goede warmtegeleiding te krijgen worden de sleuven goed afgesmeerd. De stukadoor werkt daarna de ruwe muur af met een stuclaag.

Kalkzandsteen

De muur wordt opgebouwd uit speciaal ontwikkelde kalkzandsteenblokken. Deze lijmelementen voor ankerloze spouwmuren zijn over de volle hoogte voorzien van verticale sleuven (30 mm diep en 20 mm breed), die een onderlinge afstand hebben van 150 mm. Het plaatsen moet met zorg geschieden om beschadiging van de leiding aan scherpe randen te voorkomen. Er zijn speciale keerstenen (z.g. kimblokken) voor de lussen. In de sleuven lopen Polyethyleen (PE) leidingen met een diameter van 20 mm. Na het aanbrengen van de leiding worden de sleuven glad afgewerkt met een vulmiddel, zoals een kalk- of gipsmortel. De afwerking is vrij, mits deze niet isolerend werkt. Na montage van de leiding wordt de wand uitgeraapt en normaal gestuukt met in totaal een laag van 10 mm. Warmtewanden langer dan 5 meter worden onderbroken door een dilatatievoeg. Maak bij een dilatatievoeg gescheiden registers, zodat er geen tot een minimaal aantal leidingen over de voeg worden aangebracht (zie ook 6.9.1). Bij deze ankerloze spouwmuren wordt alleen de rand geïsoleerd.

Holle baksteen

Deze keramische baksteen is speciaal voor wandverwarming ontwikkeld. De stenen zijn leverbaar in vier dikten: 70 mm voor niet dragende muren, 100 mm, 140 mm en 190 mm voor dragende en woningscheidende muren. De 140 mm en 190 mm dikke stenen hebben aan beide kanten leidingsleuven. De onderlinge afstand van de sleuven is 150 mm. De diepte is 25 mm. Er zijn speciale keerstenen voor de leidinglussen. De Polybutyleen leiding is voor dit systeem ontwikkeld. Warmtewanden langer dan 5 meter worden onderbroken door een dilatatievoeg.

Betonnen warmtewand

De betonnen warmtewand wordt gestort in een bekisting. Voor het storten wordt de leiding op de bewapening gebonden. De warmtemuur wordt vervolgens afgewerkt met een gebruikelijke dek- of pleisterlaag. Het behangen behoort tot de mogelijkheden.

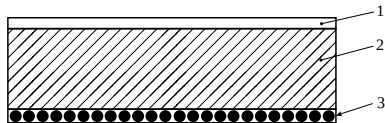
Houtskelet- en CLT-bouw

In het volledige droogbouwsysteem worden kunststof leidingen op de sluitplaat van de wand aangebracht. De warmteoverdracht is lager dan bij halfdroogbouwsystemen. In de halfdroogbouw worden de leidingspiralen door middel van beugels of zadels op de vlakke wand bevestigd. Om een betere warmteverdeling over het wandoppervlak te krijgen worden extra

warmtespreidende elementen in de vorm van metalen platen gebruikt. Daarna wordt de muur met een mortellaag ruw bepleisterd. Over deze 40 mm dikke laag komt als deklaag een schuurlaag van 3 à 4 mm of een pleisterlaag als ondergrond voor behang. Het gebruik van leem als stucmateriaal komt veel voor bij ecologisch bouwen.

4.2.4 Plafondverwarming

Er zijn diverse systemen verkrijgbaar om het plafond te voorzien van kunststof leiding voor verwarmen en koelen van de ruimte. Bij plafondverwarming is bij eenzelfde aanvoerwatertemperatuur de afgifte per m² lager dan bij vloerverwarming. Bij koeling wordt er juist met het plafond meer energie uitgewisseld en is het koelend effect van een gekoeld plafond groter.



Afbeelding 4.1 Voorbeeld plafondsysteem met capillaire leidingen

1 vloerafwerking, 2 constructievloer/plafond, 3 capillaire leidingen.

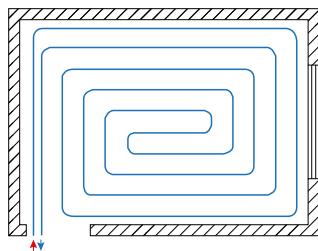
Voor de berekening van een plafondverwarmingssysteem wordt verwezen naar de berekeningsmethodiek in de NEN-EN 1264 [1].

4.3 DETAILLERING

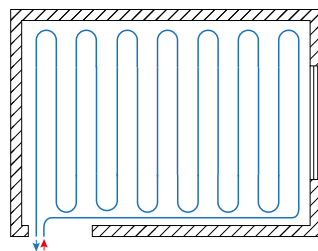
4.3.1 Legpatroon Vloerverwarming

Vloerregisters zijn op vele manieren te leggen. Bij de keuze van het legpatroon spelen de volgende aspecten een rol:

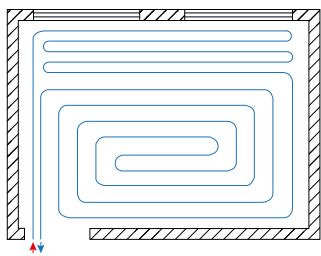
- Beperk het aantal bochten;
- Kies de kromtestraal zo groot mogelijk en volg in ieder geval het advies van de fabrikant van de kunststofleiding op;
- Het aanvoerwater, dat hoger in temperatuur is, bij voorkeur eerst in de 'koudste' zones brengen.



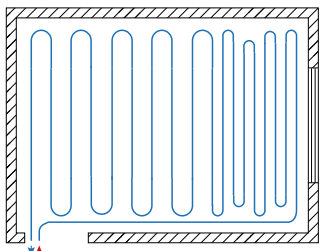
Afbeelding 4.2 Standaard leidingpatroon bifilair (slakkenhuis)



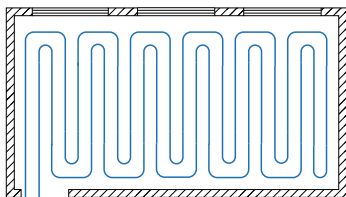
Afbeelding 4.3 Standaard leidingpatroon meander



Afbeelding 4.4 Bifilair leidingpatroon met verdichte legging bij een randzone



Afbeelding 4.5 Meander leidingpatroon met verdichte legging bij een randzone



Afbeelding 4.6 Alternatief verleggingspatroon

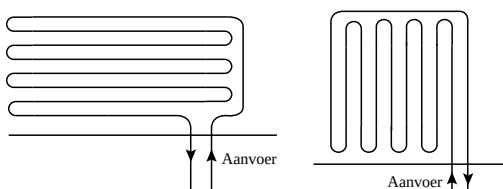
In tabel 4.1 wordt het aanbevolen patroon aangegeven, afhankelijk van de situatie.

Tabel 4.1 Aanbevolen patroon

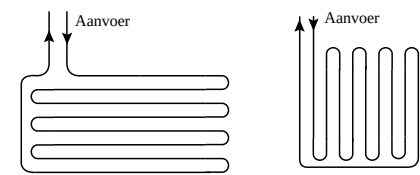
Situatie	Aanbevolen patroon
Gelijkmatige verwarming, weinig warmteverlies	Bifilair (slakkenhuis)
Grote ramen of koude buitenmuur	Meander of meander met randzone
Comfort + hoge afgifte bij randen	Bifilair met randzone of gecombineerd met meander
Bijverwarming of kleinere ruimtes	Meander

Wandverwarming

Afbeelding 4.7 en 4.8 geven voorbeelden van montagepatronen bij wandverwarming.

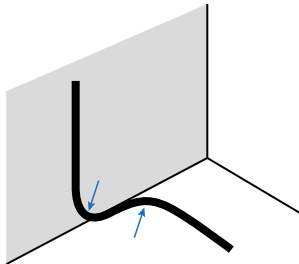


Afbeelding 4.7 Montagepatronen bij wandverwarming, aansluiting vanuit de vloer



Afbeelding 4.8 Montagepatronen bij wandverwarming, aansluiting vanuit het plafond

Wanneer de aanvoerleidingen voor de wandverwarming via de dekvloer worden aangebracht moet de overgang tussen vloer en wand met een bocht in de wand en bocht in de vloer worden gemaakt, zodat de overgang met een grote kromtestraal wordt gemaakt.



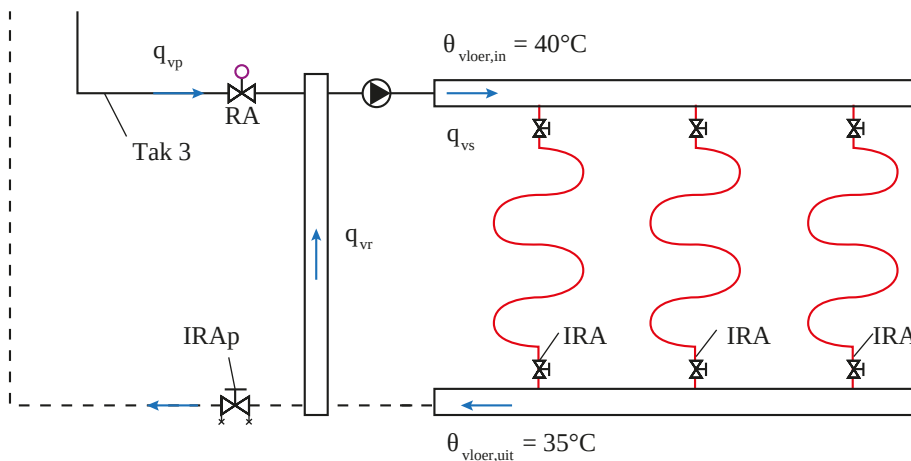
Afbeelding 4.9 Voorbeeld overgang van de vloer naar de wand

4.3.2 Veldgrootte

Bij grote oppervlakten (> 25 à 40 m^2 of volle lengte $> 7 \text{ m}$ bij gestorte cementgebonden dekvloeren en 100 m^2 of volle lengte 15 m bij vloevloeren) wordt het vloerverwarmingsveld door middel van krimpvoegen onderverdeeld om scheurvorming in de cementgebonden dekvloer te beperken. Anderzijds is, afhankelijk van de gekozen leidingafstand en -diameter, het oppervlak van het vloerverwarmingsregister in het algemeen beperkt, omdat de maximale leidinglengte wordt beperkt door de maximale leidingweerstand bij de gekozen diameter en verbindingen in de leiding ongewenst zijn. Bij wandverwarming worden, na overleg met de leverancier, dilatatievoegen aangelegd om scheuren ten gevolge van thermische werking te voorkomen. In de praktijk is na ca. 5 meter een dilatatievoeg nodig die ook als scheiding van registers gebruikt wordt.

4.3.3 Meerdere registers

Voor een vloer- of wandstelsel zijn meerdere registers nodig om de verschillende ruimtes en gescheiden vloer- of wandvelden te verwarmen of koelen.



Afbeelding 4.10 Schema parallelschakeling verwarmingsregisters

In het algemeen worden de registers parallel geschakeld zoals in afbeelding 4.10. Het is doelmatig de gekozen veldgrootte van de verwarmingsregisters ongeveer gelijk te kiezen. Het inregelen (zie paragraaf 4.4.11) is hierdoor eenvoudiger.

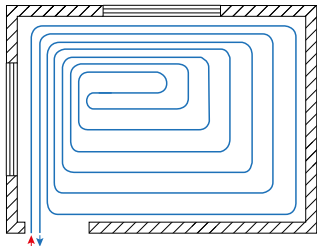
De weerstand van een register is afhankelijk van:

- De leidingdiameter;
- Het legpatroon (het aantal en de straal van de bochten);
- De lengte van het register;
- Het waterdebiet.

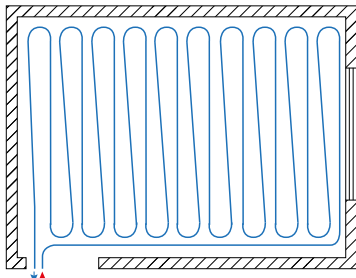
De berekende weerstand is bepalend voor de opvoerhoogte van de pomp. Blijkt de benodigde opvoerhoogte voor de beschikbare pomp te hoog, pas de registerlengte aan of kies een grotere leidingdiameter.

4.3.4 Leidingafstand

Voor de behaaglijkheid is het gewenst de vloertemperatuur te verhogen in zones waar koudeval optreedt (zoals langs een gevel met groot (dubbel) glasoppervlak). Dit wordt gerealiseerd door de vloerverwarmingsleidingen in deze zones dichter bij elkaar te leggen. Het gekozen legpatroon moet deze mogelijkheid bieden.



Afbeelding 4.11 Mogelijkheid om de leidingafstand te verkleinen bij een bepaalde maximaal toegestane kromtestraal r bij een bifilaire leidingpatroon



Afbeelding 4.12 Mogelijkheid om de leidingafstand te verkleinen bij een bepaalde maximaal toegestane kromtestraal r bij een meander leidingpatroon

Naast deze plaatselijk gewenste ongelijkmatigheid in de vloertemperatuur kan een ongelijkmatigheid in vloertemperatuur optreden ten gevolge van een verschil (max. 10 K) tussen de aanvoer- en retourwatertemperatuur en de leidingafstand. Deze ongelijkmatigheid is enigszins op te lossen door de keuze van het legpatroon. Zie afbeelding 4.4 en 4.5. Let op de gekozen stromingsrichting van het water.

Tenslotte wordt opgemerkt dat een hogere warmteweerstand van de vloerafwerking tot een meer gelijkmatige vloeroppervlaktetemperatuur leidt. Eenzelfde warmteafgifte per m^2 vloer vereist wel een hogere watertemperatuur.

4.3.5 Kwaliteit van de leiding

De leiding moet voldoende zuurstofdiffusiedicht zijn. Er moet voldoende weerstand zijn om zuurstoftoetreding te beperken. De leidingen die goedgekeurd zijn volgens een BRL-beoordelingsrichtlijn voor vloerverwarmingsleiding (zie bijlage I, tabel I.2) hebben een zodanig geringe zuurstoftoetreding dat in het algemeen geen bijzondere maatregelen ter voorkoming van corrosie in de installatie noodzakelijk zijn. Wanneer de verhouding tussen kunststof oppervlak en stalen oppervlak erg ongunstig is (weinig staal oppervlak) treedt in de stalen delen versneld corrosie op. Zie hiervoor ISSO-publicatie 13 “Voorkomen van corrosie en vervuiling” [5].

Wanneer leidingen toegepast worden die onvoldoende weerstand bieden tegen zuurstoftoetreding is het noodzakelijk te werken met gescheiden systemen door het tussenplaatsen van een warmtewisselaar: een primair circuit met de warmteopwekker en een secundair circuit voor de vloer- of wandverwarming.

Algemeen geldt dat de zuurstoftoetreding lager is bij lagere watertemperaturen. Een verhoging van de watertemperatuur met 10 K betekent veelal een verdubbeling van de zuurstoftoetreding!

4.3.6 Wand- en kolomaansluitingen

Scheidingswanden worden in principe op de constructievloer geplaatst. De dekvloer wordt vrijgehouden van wanden en dorpels d.m.v. tenminste 5 mm samendrukbaar isolatiemateriaal, waartegen de genoemde folie wordt opgezet. Hetzelfde geldt ter plaatse van de kolommen. Bij het bepalen van de dikte en de eventuele wapening van de dekvloer houdt men rekening met het gewicht van eventuele scheidingswanden.

4.3.7 Verticale leidingen

Verticale transportleidingen bij een register worden door middel van een mantelbuis of een strook isolatiemateriaal vrijgehouden van een zwevende dekvloer. Deze isolatie moet minimaal 40 mm boven het vloerniveau uit te steken.

De verticale leidingen deugdelijk beugelen en beschermen tegen mogelijke beschadiging, door middel van een mantelbuis, goot of isolatieschalen. Het wordt aangeraden om verticale leidingen in een onverwarmde schacht te voorzien van isolatie.

4.4 ONTWERPFASE

Tijdens de ontwerpfase worden diverse keuzes gemaakt met betrekking tot de eisen die door de opdrachtgever aan de kwaliteit van het verwarmingssysteem worden gesteld. Leg de keuzes vast in een ontwerpdocument wat met de opdrachtgever gedeeld wordt.

Bij het ontwerpen van een vloer- of wandverwarmingssysteem worden de volgende stappen doorlopen:

- Bepaal het aan het vertrek toe te voeren vermogen met ISSO-publicatie 51 [6] voor woningen of ISSO-publicatie 53 [7] voor utiliteitsgebouwen met vertrekhoogten tot maximaal 4 meter of ISSO-publicatie 57 [8] voor hoge ruimten zoals industriegebouwen, serres, atria of ruimten met vertrekken hoger dan 4 meter;
- Bepaal de specifieke warmtebehoefte per vertrek;
- Bepaal de plaats van de verdeler(s);
- Dimensioneer de vloer- of wandverwarming (de leidingafstand en het verleggingspatroon) aan de hand van de beschikbare maximale aanvoerwatertemperatuur of bij een vooraf bepaalde benodigde mengtemperatuur bij hogetemperatuur warmteopwekkers;
- Bepaal de maximaal toelaatbare warmteweerstand van de vloerafwerking waarbij de installatie goed functioneert;
- Selecteer het juiste type verdeler;
- Bepaal de hydraulische schakeling en bijbehorende regeling.

4.4.1 Aan het vertrek toe te voeren vermogen

Met de warmteverliesberekening wordt het door het verwarmingssysteem aan het vertrek toe te voeren vermogen bepaald. Vanuit het vertrek gezien wordt geen warmteverlies door de verwarmde vloer of wand in rekening gebracht. Met de warmteverliesberekening wordt bepaald wat de vloer- of wandverwarming aan de vertrekzijde aan warmte moet afgeven. De warmteafgifte naar beneden van de begane grondvloer en de warmteafgifte van verwarmde wanden door externe scheidingsconstructies worden beschouwd als systeemverliezen en worden bij het bepalen van de grootte van de warmteopwekker in rekening gebracht. Dat geldt ook voor de warmteafgifte naar beneden vanuit een appartement naar een ondergelegen appartement of een andere ruimte buiten dat appartement.

4.4.2 Plaats van de verdeler

De verdeler moet zodanig zijn gesitueerd zodat de transportleidingen naar de verschillende ruimtes zo kort mogelijk zijn en door de aanvoer- en retourleidingen van registers in andere

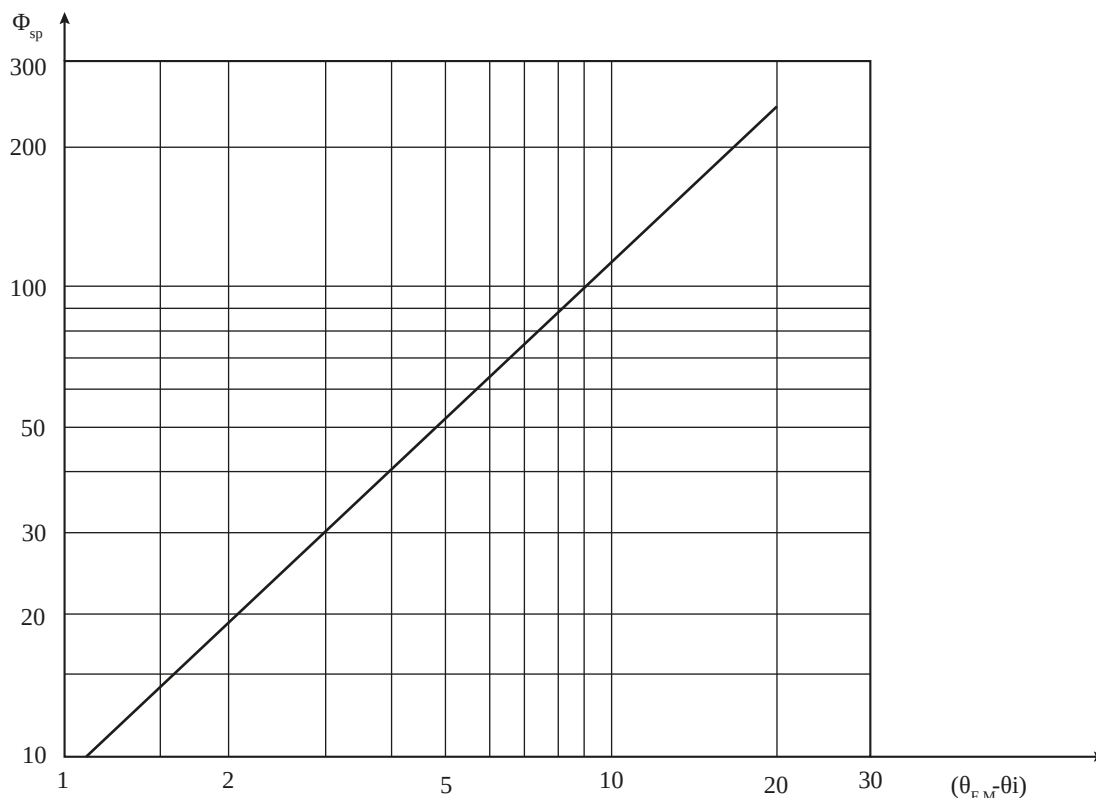
vertrekken niet meer dan 20% vreemd vermogen in een vertrek wordt afgegeven. Ter voorkoming van ongewenste verwarming van vloerstroken met transportleidingen worden de leidingen in een mantelbuis opgenomen. Per verwarmde/gekoelde ruimte moet ten minste één circuit worden geïnstalleerd waarmee de temperatuur handmatig of automatisch geregeld wordt.

4.4.3 Dimensionering vloer- en wandverwarming

Bij het dimensioneren van vloer- of wandverwarming wordt de methode gevolgd zoals die gegeven is in de NEN-EN 1264[1]. Het resultaat van de warmteverliesberekening is het vermogen dat de vloerverwarming aan de bovenzijde moet afgeven c.q. het vermogen dat de wandverwarming aan de vertrekzijde moet afgeven.

4.4.3.1 Vloerverwarming

Een vloerverwarmingssysteem heeft bij een constante oppervlaktetemperatuur en uniforme ontwerpbinencondities een vaste warmteafgifte. Deze warmteafgifte is onafhankelijk van het toegepaste type vloerverwarmingssysteem en deze noemen we de karakteristieke basiscurve, zie afbeelding 4.13.



Afbeelding 4.13 Karakteristieke basisafgifte van vloeren (zonder vloerafwerking)

θ_i = ontwerpbinen temperatuur [°C]

$\theta_{F,m}$ = gemiddelde oppervlaktetemperatuur [°C]

Φ_{sp} = specifiek thermisch vermogen [W/m²], $\Phi_{sp} = 8,92 (\theta_{F,m} - \theta_i)^{1,1}$

Het afgegeven vermogen wordt begrensd door de maximaal toe te laten vloertemperatuur.

In de praktijk is zelden sprake van een gelijkmatige/constante vloertemperatuur. Hierdoor is een gedetailleerdere berekeningsmethode noodzakelijk. De NEN-EN 1264 onderscheidt een aantal hoofdtypen installaties:

- Verwarmingsleidingen in de dekvloer (in de norm NEN-EN 1264 type A en C genoemd); een zwaar systeem;
- Verwarmingsleidingen onder de dekvloer bovenin de isolatie (in de norm NEN-EN 1264 type B genoemd); mogelijk bij een zwaar en een licht systeem;
- Overige vloeren.

Op de verschillende hoofdtypen wordt nader ingegaan.

Alvorens begonnen wordt met de selectie van de vloerverwarming moet de warmteweerstand van de vloerafwerking R_b bekend zijn. Tabel 4.2 geeft richtwaarden voor deze warmteweerstanden.

Tabel 4.2 Warmteweerstand R_b van vloerafwerking

materiaal	dikte [mm]	R_b [(m ² ·K)/W]
tegels/plavuizen	5	0,01
eiken parket direct verlijmd	10	0,05
kurkparket direct verlijmd	6	0,07
laminaat (zonder ondervloer)	8	0,07
PVC gelijmd	2,5	0,025
PVC-click	6,5	0,07
tapijt voor vloerverwarming	7	0,09
ondertapijt	5-7	0,20
zwaar tapijt	7	0,15
linoleum	2-3,2	0,012-0,017

Berekening vertrek met de hoogste specifieke warmtevraag

Via de door de producent/leverancier aan te leveren grafieken met karakteristieke deellastcurven (zie bijlage E) wordt bij de toelaatbare warmteweerstand van de vloerafwerking de benodigde aanvoerwatertemperatuur bepaald om aan het benodigde specifieke thermische vermogen van het systeem te komen om die ruimte te verwarmen.

Berekening overige vertrekken

Nadat het vertrek met de hoogste specifieke warmtevraag doorgerekend is, zijn de leidingafstand en de aanvoerwatertemperatuur bekend. Bij de overige vertrekken wordt uitgegaan van dezelfde wateraanvoertemperatuur. Om tot het benodigde vermogen te komen moet de volumestroom over de registers beperkt worden (θ wordt groter). Goed instellen/inregelen is noodzakelijk.

4.4.3.2 Wandverwarming

De wandtemperatuur is begrensd en daardoor het afgegeven specifieke vermogen. Uit veiligheidsoverwegingen wordt aangeraden deze te begrenzen op 40°C om verbranding bij aanraken te voorkomen. Traditionele verwarmingslichamen als kachels en radiatoren werken met een aanzienlijk hogere temperatuur en zijn duidelijk herkenbaar als warmtebron. De wand valt als warmtebron niet op.

De bepalende factoren voor de te kiezen maximum watertemperaturen zijn zowel van installatietechnische als bouwkundige aard.

Installatietechnische parameters zijn:

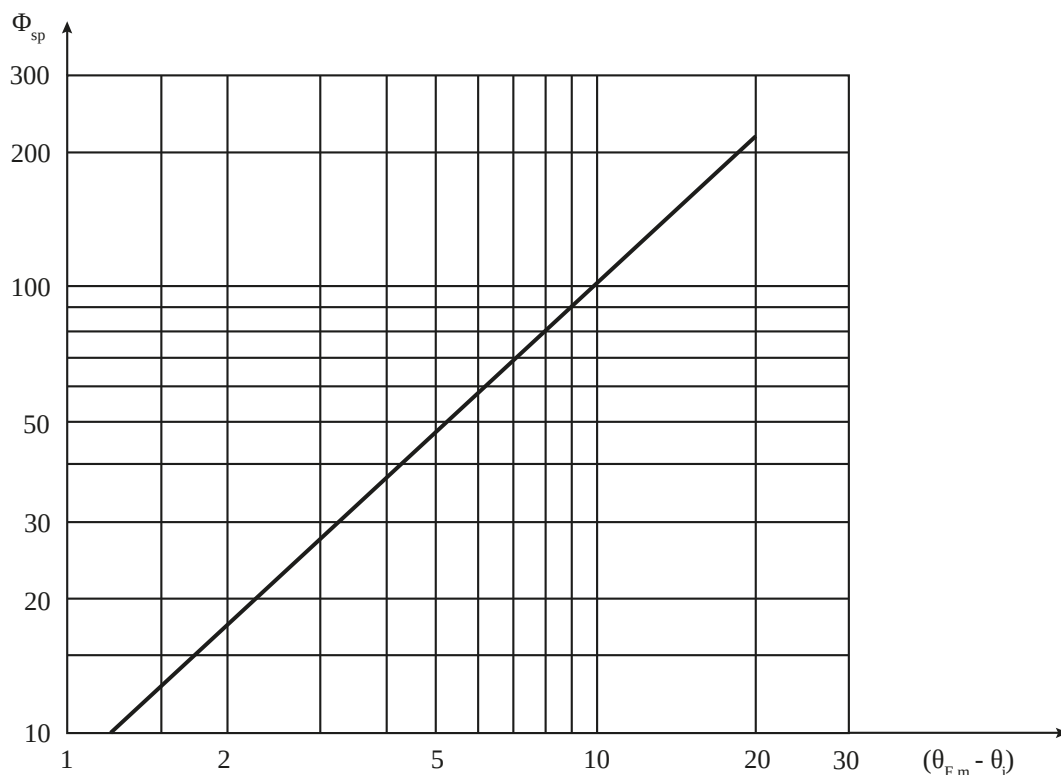
- Wateraanvoer- en retourtemperatuur;
- Afstand tussen de verwarmingsleidingen;
- Leidingmateriaal, o.a. de warmtegeleidingseigenschappen.

Bouwkundige parameters :

- Ligging van de verwarmingsleidingen in de wand (in of onder de afwerkmortel, afstand tot het oppervlak etc.);
- Materiaaleigenschappen van de mortel- of stuc laag of van de afwerkplaten;
- Mate van isolatie aan de achterliggende zijde.

Onderstaand volgt een berekeningsmethodiek waarmee op grond van genoemde parameters het afgegeven vermogen wordt bepaald. Hierbij is verondersteld dat:

- Warmteoverdracht van de wand naar de ruimte geschiedt overeenkomstig de basisafgiftecurve volgens afbeelding 4.14;
- Het warmteverlies door de wand is 10%.



Afbeelding 4.14 Karakteristieke basisafgifte van wanden (zonder wandafwerking)

θ_i = ontwerpbinrentemperatuur [°C]

$\theta_{F,m}$ = gemiddelde oppervlaktetemperatuur [°C]

Φ_{sp} = specifiek thermisch vermogen [W/m²], $\Phi_{sp} = 8,92 (\theta_{F,m} - \theta_i)^{1,1}$

Tabel 4.3 Eigenschappen pleisterlagen

Soort pleisterlaag	Warmtegeleiding λ [W/(m·K)] ³
cementpleister	0,95
kalkpleister	0,70
gipspleister	0,52

In de praktijk is zelden sprake van een gelijkmatige/constante wandtemperatuur. Hierdoor is een gedetailleerdere berekeningsmethode noodzakelijk. In de praktijk wordt onderscheid gemaakt in:

- Systemen waarbij gehele massa van de wand wordt verwarmd;
- Systemen waarbij verwarmde oppervlak thermisch is losgekoppeld.

Berekening vertrek met de hoogste specifieke warmtevraag

Via de door de producent/leverancier aan te leveren grafieken met karakteristieke deellastcurven wordt bij de toelaatbare warmteweerstand van de wandafwerking de benodigde aanvoertemperatuur bepaald om aan het benodigde specifieke thermische vermogen van het systeem te komen om die ruimte te verwarmen.

Berekening overige vertrekken

Nadat het vertrek met de hoogste specifieke warmtevraag doorgerekend is, zijn de leidingafstand en de aanvoertemperatuur bekend. Bij de overige vertrekken wordt uitgegaan van dezelfde leidingafstand en wateraanvoertemperatuur. Om tot het benodigde vermogen te komen moet de volumestroom over de registers beperkt worden (θ wordt groter). Goed instellen/inregelen is noodzakelijk.

4.4.4 Combinatie met warmte- en/of koudeleverende bronnen

Hoog rendement CV-ketel

Een lage temperatuur verwarmingssysteem en een HR CV-ketel geeft een hoog rendement. Het rendement van de HR CV-ketel neemt toe bij een lager ingestelde aanvoertemperatuur. De aanvoertemperatuur moet door de ketelafstelling worden begrensd tot maximaal 60°C. (Veelal verdient het aanbeveling om de aanvoertemperatuur op een lagere waarde dan 60°C te begrenzen).

Duurzame warmtebronnen zoals zonne-energie, aardwarmte en de warmtepomp (WP) worden gecombineerd met een LTV omdat het rendement van deze warmtebronnen bij hogere watertemperaturen snel afneemt.

Warmtepomp

Het toepassen van een LTV afgiftesysteem als vloer- en wandverwarming geeft voor een warmtepomp een veel grotere rendementsverbetering dan bij een conventioneel gasgestookt systeem. De COP van de warmtepomp neemt sterker toe als de aanvoertemperatuur een aantal graden lager wordt ingesteld en neemt af als hogere temperaturen worden gevraagd.

4.4.5 Keuze type verdeler

4.4.5.1 Hoog temperatuur- of mengverdeler

De mengverdeler is geschikt (en noodzakelijk) voor installaties waarin de aanvoertemperatuur boven de maximaal toelaatbare temperatuur van de vloerverwarming komt. Dit is het geval bij installaties waarin een opwekker in de winter voor een deel van de installatie een hoge(re) watertemperatuur moet leveren. De mengverdeler is uitgerust met een circulatiepomp om het water over de aangesloten vloerregisters te laten circuleren. De pomp

3. vochtigheid bepaald door het binnenklimaat

zorgt ervoor dat in de mengverdeler het aanvoerwater proportioneel wordt gemengd met retourwater uit de vloer, naar een lagere temperatuur die geschikt is voor de vloerverwarming. De gewenste waarde wordt door een regeling ingesteld. Deze verdeler moet zijn uitgerust met een beveiliging, die de toevoer van warm water afsluit als de mengregeling niet goed functioneert en die zelfs bij afwezigheid van elektrische stroom werkt. Deze verdeler mengt altijd, ook als de benodigde watertemperaturen voor de vloerverwarming laag genoeg zijn. Bij een (hybride) warmtepomp is dit slecht voor het rendement.

4.4.5.2 Laag temperatuur verdeler

De laag temperatuurverdeler is geschikt voor installaties waarin de aanvoerwatertemperatuur nooit boven de maximaal toelaatbare temperatuur van de vloerverwarming komt. Het aanvoerwater mag dan wél direct de vloerleidingen instromen, mengen naar een lagere temperatuur is niet nodig en zelfs niet gewenst.

De functie van de circulatiepomp in de verdeler wordt overbodig. Voorwaarde hierbij is dat de circulatiepomp in de warmteopwrekker krachtig genoeg moet zijn om het water in voldoende mate over de vloerleidingen te laten circuleren. Een belangrijk aandachtspunt is dat de aansluitleidingen tussen warmteopwrekker en verdeler van voldoende doorlaat zijn om de gewenste hoeveelheid water met beperkte weerstand door te laten (< 150 Pa/m).

4.4.5.3 Hybride verdeler

De hybride verdeler wordt voornamelijk toegepast in hybride installaties, waarin een groot deel van het verwarmingsseizoen een warmtepomp een lage aanvoerwatertemperatuur levert en alleen in de koudste winterdagen de CV-ketel bijspringt om de aanvoerwatertemperatuur naar een hoge(re) waarde te brengen.

De hybride verdeler heeft wel een circulatiepomp en mengregeling die vanuit de regeling slim worden aangestuurd. Als alleen de warmtepomp ingeschakeld is, wordt een lage temperatuur geleverd en is menging niet nodig. De circulatiepomp draait niet en de bypass is gesloten, waardoor het water rechtstreeks via de verdeler in de vloerleidingen stroomt. In feite werkt de hybride verdeler als laag temperatuur verdeler.

Als de CV-ketel bijspringt om de aanvoerwatertemperatuur te verhogen, schakelt de circulatiepomp in en opent de bypass. De mengregeling maakt de gewenste aanvoerwatertemperatuur. De hybride verdeler gaat als hoge temperatuur verdeler functioneren.

Bij de hybride verdeler hoort een beveiliging tegen een te hoge aanvoertemperatuur zoals bij de hoog temperatuur verdeler. De aansluitleidingen moeten van voldoende doorlaat zijn, zoals bij de laag temperatuur verdeler.

4.4.5.4 Verdeler met warmtewisselaar

Voor bestaande systemen met niet zuurstofdiffusiedichte slangen wordt met een warmtewisselaar een scheiding aangebracht tussen het afgiftesysteem en de warmteopwrekker. Hiermee wordt voorkomen dat stalen delen aan de warmteopwrekkerzijde worden aangetast door de zuurstof en de werking van opwrekker en appendages door de vrijkomende roest verslechterd. Voor een dergelijke scheiding zijn verdelers beschikbaar met aangebouwde warmtewisselaar. De verdeler en appendages zijn hierbij in non-ferro materialen uitgevoerd.

Pas een verdeler met scheidingswisselaar toe wanneer de statische waterdruk in het distributiesysteem van de warmteopwrekker te hoog is om toegelaten te worden in de vloerverwarmingsleidingen.

Verdelers met warmtewisselaar zijn met de juiste regeling geschikt om zowel in een systeem met hoog temperatuur als met laag temperatuur warmteopwekker te worden geplaatst. Hierbij moet gerealiseerd worden dat de aanvoertemperatuur na de warmtewisselaar altijd iets lager is dan ervoor en ongunstig is voor het opwekkingsrendement van een warmtepomp.

De scheidingswisselaar maakt het mogelijk om aan het vloerverwarmingssysteem een middel toe te voegen om corrosievorming tegen te gaan, zonder dat dit middel in de rest van de installatie komt.

Dit geldt ook voor het toevoegen van antivries voor de verwarming van een buitenvloer. Voor het bereiken van de minimale mengverhouding hoeft veel minder antivries toegevoegd worden dan wanneer er geen scheidingswisselaar wordt toegepast.

4.4.5.5 Verdelers voor stadsverwarming/warmtenet

Een aantal leveranciers van stadsverwarming/warmtenetten stellen specifieke eisen aan de toegepaste verdeler. Raadpleeg hiervoor altijd de voorwaarden van de betreffende leverancier.

Een veel voorkomende eis is dat bij een mengverdeler een regeling toegevoegd moet worden waarmee de retourtemperatuur op een door de leverancier vastgestelde waarde moet worden begrensd. Er moet in de mangleiding een terugstroombeveiliging worden aangebracht, zodat het water uit de aanvoer niet direct terugstroomt naar de retouraansluiting.

4.4.5.6 Materiaalkeuze verdeler

Er wordt een groot aantal verschillende verdelers aangeboden, gemaakt uit verschillende materialen. Zo zijn er o.a. verdelers van staal, RVS, messing en kunststof/composiet. Composiet kan uitgevoerd zijn met een isolerende extra wand en heeft daardoor een lagere warmtegeleiding. De toegepaste appendages zijn veelal gemaakt van messing of kunststof/composiet.

Alleen de stalen verdelers zijn gevoelig voor aantasting door zuurstof mocht de installatie niet voldoende zuurstofdiffusiedicht zijn.

4.4.5.7 Isolatie verdeler

Wanneer de installatie gebruikt wordt om te koelen wordt nogal eens gesteld dat de verdeler dampdicht geïsoleerd moet worden. Dat is alleen van toepassing als de temperatuur van het aanvoerwater regelmatig onder de condensgrens komt of de verdeler wordt geplaatst in een ruimte waar vocht geproduceerd wordt.

Met een goede afstelling/regeling van de aanvoerwatertemperatuur treedt er geen condensatie op en is isolatie van de verdeler overbodig.

Wanneer de verdeler buiten de thermische schil of in een onverwarmde ruimte wordt geplaatst is isolatie van de verdeler nuttig om in verwarmingsbedrijf ongewenst energieverlies te voorkomen.

4.4.5.8 Certificering verdelers

Voor een kwaliteitsbeoordeling van de verdelers met direct daaraan gekoppelde componenten heeft KIWA de BRL K17701 [11] ontwikkeld. Deze geldt voor verdelers die worden aangesloten op een warme of koude bron. Verdelers die voldoen aan de gestelde eisen en de beproeving doorstaan krijgen een productcertificaat.

Het keurmerk geeft aan dat de verdeler getest is op functionaliteit, duurzaamheid, veiligheid en installatiegemak volgens strikte normen. Het is een garantie voor een betrouwbaar product dat geschikt is voor professionele toepassingen, zoals vloerverwarming.

4.4.6 Waterkwaliteit

Het systeem moet groep voor groep gespoeld en gevuld worden met schoon leidingwater. Raadpleeg desgewenst het betreffende Waterleidingbedrijf over de kwaliteit van het op het project geleverde water.

In gebieden waar zeer kalkrijk water wordt aangeboden moet overwogen worden of er (gedeeltelijk) afgevuld wordt met water met een lager kalkgehalte of dat er een toevoegmiddel tegen kalkafzetting wordt gebruikt. Raadpleeg altijd de producent/leverancier van de warmteopwekker en van het leidingsysteem of het toevoegmiddel toegepast mag worden in combinatie met de door hen geleverde materialen.

Afhankelijk van de situatie van het verwarmings- en koelsysteem moet het distributiesysteem worden uitgerust met voorzieningen voor ontgassing en vuilafscheiding.

4.4.7 Regelsystemen

Welk type regelsysteem toe wordt gepast hangt af van het temperatuurniveau van de warmteopwekker. Bij hoge temperaturen van de warmteopwekker (> 40 °C bij vloer- en wandverwarming) moet gekozen worden voor een hydraulische schakeling met mengen om beschadigingen door te hoge temperaturen in vloer of wand te voorkomen.

Bij lage temperaturen van de warmteopwekker en de installatie kiest men voor een hydraulische schakeling zonder mengen, zoals bij warmtepompen en HR CV-ketels, waarbij de maximaalthermostaat de watertemperatuur begrenst. Beide typen hydraulische systemen komen aan de orde. Bijlage H behandelt het zelfregelend effect van vloer- en wandverwarming.

4.4.7.1 Centrale ruimtethermostaat

De eenvoudigste regeling is met een centrale thermostaat die de verwarmingsbron aan- en uitschakelt op basis van een ingestelde en gemeten temperatuur in een vertrek. Bij woningen bevindt de thermostaat zich doorgaans in de woonkamer. Bij geavanceerdere typen thermostaten is de ingestelde temperatuur van te voren te programmeren (digitale klokthermostaat).

Om bij bedrijfsbeperking te anticiperen op de benodigde opwarmtijd kan gebruik gemaakt worden van een adaptieve regeling. Hierbij wordt op basis van de gemeten afkoeling in het vertrek de opwarming zodanig geregeld dat bij aanvang van de bedrijfstijd aan de comfortcriteria voldaan wordt.

Omdat de temperatuur in de ruimte van de centrale thermostaat bepaalt of de warmteopwekker al dan niet wordt ingeschakeld blijft het door variaties in interne warmtelast (zoninstraling, warmteafgifte personen of apparatuur) in de overige vertrekken te koud of wordt het te warm.

Bij warmtepompen is een eigen ruimtethermostaat beschikbaar die het systeem zowel in verwarmingsbedrijf als in koelbedrijf schakelt.

4.4.7.2 Zoneregeling

In het Bbl worden eisen gesteld rondom de regelbaarheid per verblijfsgebied/verblijfsruimte bij nieuwbouw en vervangen/aanpassen installatie. Een zoneregeling is een prima oplossing om aan deze eisen tegemoet te komen.

Om de temperatuur per ruimte of zone te bewaken en te regelen zijn er regelsystemen op de markt die de registers per stuk aansturen. Hiervoor worden op de verdeler stelmotoren op de registers geplaatst en krijgen de na te regelen ruimtes een eigen ruimtethermostaat. Voor de zoneregeling is een centrale regelaar nodig, die door erop bedrade thermostaten of door draadloze thermostaten (RF) aangestuurd wordt. De centrale regelaar schakelt desgewenst de

warmteopwekker en/of de circulatiepomp op de verdeler in als één van de thermostaten inschakelt om de ruimte te verwarmen. Een geschikte centrale regelaar stuurt de koudeopwekker aan.

Hoewel een dergelijke regeling fors duurder is dan de regeling met ruimtethermostaat is het voordeel van een zoneregeling dat alleen de vertrekken verwarmd worden waar daar behoefte aan is. Hierdoor is veel gericht en daarmee energiezuiniger te verwarmen en is het algehele comfortniveau in het gebouw daardoor het grootst.

Voor systemen die koelen moet een zoneregeling gekozen worden die schakelt tussen verwarmings- en koelbedrijf. In sommige gevallen moet de regeling van de vloerverwarming zelfstandig omschakelen van verwarmen naar koelen en warmte of koude naar het toestel sturen. Bij andere typen schakelt de warmte-/koudeopwekker om van winter- naar zomerbedrijf en krijgt de zoneregeling een seintje welk bedrijf actief is. Er zijn nog steeds één of twee vraagsignalen noodzakelijk naar de opwekker. Zorg dat de zoneregeling en opwekker op elkaar afgestemd zijn.

Master -slave zoneregeling

Bij een master-slave zoneregeling wordt bij de regeling van de warmteopwekker een masterthermostaat toegepast (zie 4.4.7.1). De registers die in de ruimte met de kamerthermostaat gemonteerd zijn, krijgen geen regeling zodat deze de ruimte altijd verwarmen als de ruimtethermostaat de warmteopwekker aanstuurt.

Op de overige registers wordt wel een stelmotor geplaatst, die vanuit de centrale regelaar worden aangestuurd. In iedere te regelen ruimte of zone, met uitzondering van de ruimte met de masterthermostaat, wordt een ruimtethermostaat geplaatst die via de regeling de registers van die betreffende ruimte aansturen. Hiermee beperken de gebruikers dat een ruimte met naregeling verwarmd wordt als de warmteopwekker is ingeschakeld.

Nadeel van dit systeem is dat er verondersteld wordt dat een ruimte met thermostaat van de zoneregeling zelfstandig verwarmd of gekoeld wordt door het bedienen van de thermostaat. Dit lukt alleen als de masterthermostaat ervoor zorgt dat de warmteopwekker is ingeschakeld.

Wanneer het vloersysteem met kleine hartafstanden wordt gedimensioneerd voor koeling ontstaat in de woonkamer overdimensionering voor verwarming. Bij master-slave regelingen leidt dit tot klachten, doordat de woonkamer snel op temperatuur is en de overige ruimten achterblijven en niet op temperatuur komen.

Master-master zoneregeling

Bij een master-master zoneregeling worden alle te regelen ruimtes of zones voorzien van een ruimtethermostaat en alle registers voorzien van een stelmotor. Bij warmtevraag in een zone stuurt de regeling de zonemotor van het register in die ruimte open en schakelt de warmteopwekker in. Met deze regeling wordt het hoogste comfort bereikt, omdat de ruimtes altijd verwarmd worden op het moment dat daar behoefte aan is.

Aandachtspunt zoneregeling

Wanneer er door een zoneregeling geen sprake is van gelijktijdige verwarming van de ruimtes neemt het benodigde verwarmingsvermogen van een verwarmde ruimte toe door een groter warmteverlies naar een aangrenzende onverwarmde ruimte. Hierdoor kan inregelen van de registers op ontwerpvermogen tot koudeklachten leiden en moet er berekend worden welk percentage bij het ontwerpvermogen opgeteld moet worden.

Doordat het debiet over het totale vloerverwarmingssysteem fors beperkt wordt door het afsluiten van registers zijn aanvullende maatregelen nodig als het lage debiet nadelig is voor de warmte-opwekker. Bij warmtepompen is dat het geval.

In het systeem is een minimale vrije systeeminhoud noodzakelijk. In de ISSO-publicaties 72 [9] en 98 [10] is een rekenmethodiek opgenomen om de minimale waterinhoud van het circulerende water te berekenen, dat niet door afsluiters dicht te zetten is. Bij een te kleine waterinhoud moet een buffervat aan de installatie worden toegevoegd.

Voor vloer- en wandsystemen waarmee gekoeld wordt zijn er regelaars met condensbewaking beschikbaar, zie verder paragraaf 5.2.3.

4.4.8 Hydraulische schakeling

Het ontwerpen van een hydraulische schakeling wordt uitgevoerd volgens:

- ISSO-publicatie 44, Ontwerp van hydraulische schakelingen voor verwarmen;
- ISSO-publicatie 46, Ontwerp van individuele hydraulische schakelingen voor verwarmen van eengezinswoningen.

Het drukverschil in leidingen en hulpstukken (bochten, T-stukken) wordt berekend met ISSO-publicatie 18, Leidingnetberekening.

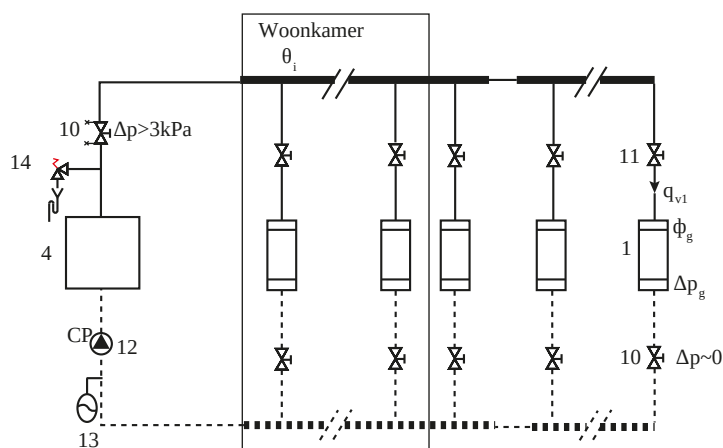
Eisen bij de hydraulische schakeling van vloerverwarming en -koeling:

- Intredetemperatuur regelen;
- Volumestroom moet (per aangesloten veld) constant zijn.

Afkoelen van het warme water tijdens transport van de opwekker(s) naar de warmtegebruiker(s) moet zo veel mogelijk beperkt worden. Dit betekent o.a. dat leidingen buiten de thermische schil en in onverwarmde ruimtes worden geïsoleerd. Als niet aan bovenstaande voorwaarden wordt voldaan geldt: Als de afkoeling van het CV-water vanaf de CV-ketel of de warmtenetunit naar de vloerverwarmingsleidingen groter is dan 5% van de aanvangstemperatuur, ga dan uit van de lagere temperatuur bij het dimensioneren van de vloerverwarming.

4.4.8.1 Systemen zonder mengen

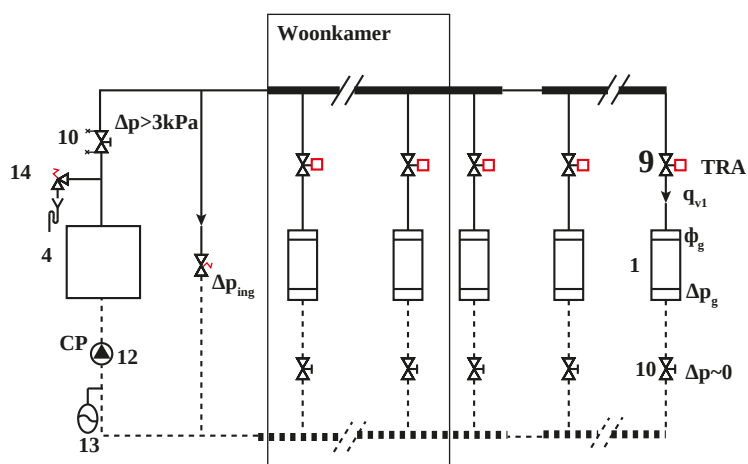
Bij warmteopwekkers, die water met een lage temperatuur ($< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bij vloer- en wandverwarming) leveren, kan een mengschakeling achterwege blijven (afbeelding 4.15 t/m 4.17). Energieverliezen worden gereduceerd. Men moet er wel zeker van zijn dat de watertemperatuur na de warmteopwekker nooit boven de maximaal toelaatbare temperatuur komt, bijvoorbeeld via beveiliging met een maximaalthermostaat. Afbeelding 4.15 geeft de hydraulische schakeling voor regeling met een kamerthermostaat. De kamerthermostaat schakelt de warmteopwekker.



- 1. Radiator/convactor vloerverwarming
- 4. Warmteopwekker
- 10. Inregelafsluiter IRA
- 11. Afsluiter
- 12. Pomp
- 13. Expansievat
- 14. Veiligheidsklep

Afbeelding 4.15 Hydraulische schakeling voor LT-systeem met een warmteopwekker

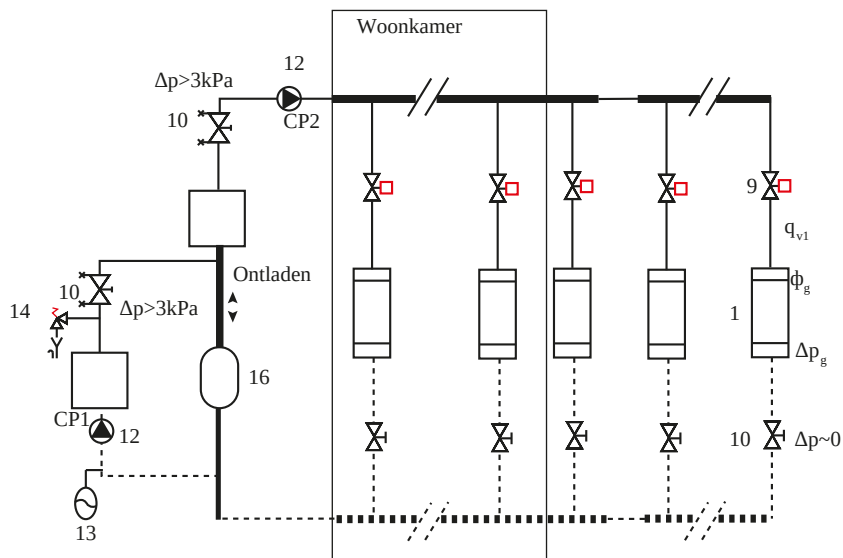
Afbeelding 4.16 geeft de hydraulische schakeling met regeling per vertrek.



- 1. Radiator/convactor vloerverwarming
- 4. Warmteopwekker
- 9. Thermostatische regelafsluiter of zoneregelaar
- 10. Inregelafsluiter IRA
- 12. Pomp
- 13. Expansievat
- 14. Veiligheidsklep
- 15. Bypassklep

Afbeelding 4.16 Hydraulische schakeling voor LT-systeem met een warmteopwekker

Afbeelding 4.17 geeft de hydraulische schakeling voor regeling met een kamerthermostaat en een warmtepomp (met naverwarmer) als warmteopwekker.

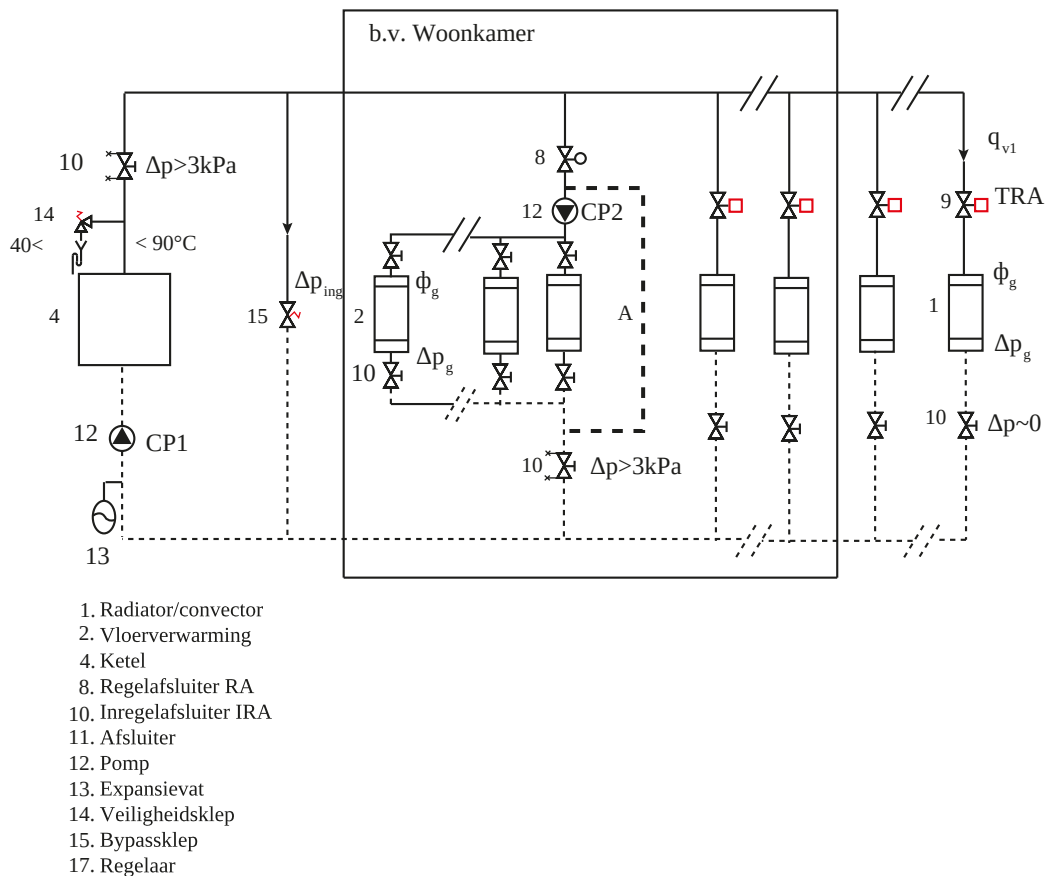


1. Radiator/convector vloerverwarming
5. Warmtepomp
7. Naverwarmer (elektrisch)
8. Regelafluiser RA
9. Thermostatische regelafluiser
10. Inregelafluiser IRA
11. Afsluiter
12. Pomp
13. Expansievat
14. Veiligheidsklep
16. Buffervat
17. Regelaar

Afbeelding 4.17 Hydraulische schakeling voor LT-systeem met een warmtepomp + naverwarmer

4.4.8.2 Systemen met mengen

Systemen waarbij het water met een hoge temperatuur (hoger dan voor het gebruik in de vloerverwarmingscircuits nodig) wordt aangeboden (zoals bij warmtenetten).

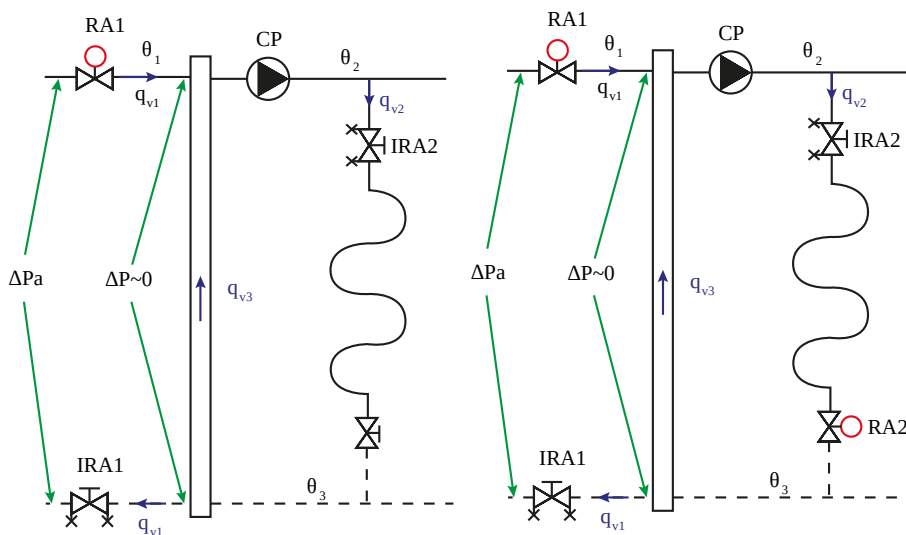


Afbeelding 4.18 Hydraulische schakeling voor HT-systeem met mengschakeling en CV-ketel als warmteopwekker

Bij afbeelding 4.18 is vloerverwarming de hoofdverwarming.

Door menging van het primaire aanvoerwater met retourwater uit de vloer- of wandverwarming wordt de aanvoertemperatuur naar de vloer- of wandverwarming verlaagd. Realiseer daarvoor een mengschakeling met een tweewegregelafluiser of driewegregelafluiser. De mengschakeling met tweewegregelafluiser is passief (dat noemen we neutraal). Dit houdt in dat het vloerverwarmingssysteem hydraulisch is gescheiden van de rest van het CV-systeem. De externe, primaire pomp moet voldoende opvoerhoogte hebben om het maximaal benodigde debiet over de aansluitingen van de verdeler te laten circuleren.

Afbeelding 4.19 toont het principeschema van een passieve mengschakeling met 2-weg regelafluiser met een te hoge aanvoertemperatuur.



Afbeelding 4.19 Passieve mengschakeling met 2-weg regelafsluiter toegepast bij vloerverwarming. Basisverwarming (links) heeft geen naregeling met een 2-weg regelafsluiter RA2 in de vertrekken.

Principewerking mengschakeling

De secundaire pomp CP circuleert het water over het afgiftesysteem met een volumestroom $q_{v1} + q_{v3}$. Door RA1 wordt warm of heet water geïnjecteerd op de hydraulisch neutrale (drukloze) verdeler/verzamelaar. Een hydraulisch neutrale verdeler in een vloerverwarmingssysteem zorgt ervoor dat de warmteopwekker geen invloed heeft op de stroming van het water door de vloerverwarmingsslangen en andersom. Door menging van de twee volumestromen q_{v1} en q_{v3} met watertemperaturen θ_1 en θ_3 wordt de temperatuur van het circulerende water aangepast naar θ_2 . De temperatuur θ_2 kan worden verlaagd (bij verwarming) of verhoogd (bij koeling) door het sluiten van de regelafsluiter RA1. Er komt minder tot geen warmte of koude meer in de verdeler. Het afgiftesysteem blijft nog wel de warmte of koude afgeven.

Vaste voormenging

Als de aanvoertemperatuur θ_1 80°C is en de regelafsluiter RA1 staat volledig open (100%), zorg dat je met de inregelafsluiter IRA1 door menging de temperatuur θ_2 verlaagt naar 40°C. Dit noemen we vaste voormenging en is een eigenschap van de passieve mengschakeling met tweewegregelafsluiter. Regel de vloerverwarming in met ontwerpretourtemperatuur θ_3 .

Passief (hydraulisch neutraal)

De recirculatieleiding waardoor de volumestroom q_{v3} stroomt, is een korte dikke leiding met weinig drukverlies. Dit betekent dat het drukverlies over de vloerverwarming inclusief de pomp CP ongeveer gelijk is aan 0 Pa, ongeacht de stand van de regelafsluiters RA1. Hierdoor is het vloerverwarmingssysteem met de volumestroom q_{v2} hydraulisch gescheiden van het hoofdcircuit met de volumestroom q_{v1} .

De eigenschappen die hierbij gelden zijn:

- Pomp CP neemt alleen het drukverlies van de vloerverwarming voor zijn rekening;
- Er is een aansluitdruk ΔPa nodig van de ketelpomp of het warmtenet om de volumestroom q_{v1} te realiseren;
- Bij basisverwarming is de volumestroom q_{v2} constant en regelen we de afgifte van de vloer op basis van de buitentemperatuur. Een andere mogelijkheid is dat een kamerthermostaat de regelafsluiter RA1 aanstuurt om de ruimtetemperatuur in de woonkamer te regelen. We noemen dit geen basisverwarming. Kenmerkend is dat het vermogen wordt beïnvloed door de aanvoertemperatuur θ_2 te variëren;
- Bij regeling per vertrek regelen we met RA1 de aanvoertemperatuur θ_2 op basis van een vast ingestelde waarde. Optioneel is de aanvoertemperatuur te regelen op basis van de

buitentemperatuur (buitentemperatuurafhankelijke regeling). Met de regelafsluiter(s) RA2 regelen we de temperatuur in het vertrek(ken). Er moet altijd een vloerverwarmingsgroep open gestuurd staan of de pomp CP moet uitgeschakeld worden als er geen groepen open staan.

4.4.9 Circulatiepomp

De circulatiepomp moet de benodigde ontwerpmassastroom voor het verwarmingssysteem leveren. De totaal benodigde ontwerpmassastroom is de som van de benodigde ontwerpmassastromen van alle vertrekken.

Voor de selectie van de pomp moet men tenminste over de volgende gegevens te beschikken:

- De ontwerp opvoerhoogte van de pomp;
- De volumestroom;
- De maximale temperatuur van het water;
- De maximale luchttemperatuur in de ruimte waar de pomp is opgesteld;
- Montagevoorschriften.

4.4.10 Afsluiters

De afsluiters (en afdichtingen) moeten bestand zijn tegen de maximaal optredende druk en temperatuur en het toegepaste warmtetransportmedium (water met eventuele toevoegingen). Afsluiters zijn met de hand of automatisch te bedienen.

Advies voor individuele woninginstallaties

In een installatie zijn minimaal de volgende afsluiters aanwezig:

- Weerszijden van de warmteopwekkers;
- Weerszijden van de pompen;
- In aan- en afvoer van gebruikermodulen;
- In aan- en afvoer van distributiesysteem of onderdelen.

4.4.11 Inregelen

Inregelen van de volumestromen op de ontwerpwaarden is noodzakelijk om het gewenste comfort te realiseren en het energiegebruik van de installatie aan te laten sluiten bij het ontwerp. Met de dynamische of statische inregelmethode wordt aangegeven op welke wijze de inregelafsluiters in de juiste standen worden gezet. Een goed gedimensioneerde en goed ingeregelde installatie zorgt voor thermisch comfort. Wanneer de installatie niet of niet goed is ingeregeld wordt de thermische behaaglijkheid en het energieverbruik negatief beïnvloed.

Voor een goede werking mag het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour niet te groot zijn. In het algemeen wordt uitgegaan van een temperatuurverschil $\Delta\theta$ van 5 graden bij vloer- en/of wandverwarming.

Ieder vloerverwarmingsregister heeft een ontwerp volumestroom die met een inregelvoorziening moet worden ingesteld. In het algemeen zit deze inregelvoorziening op de verdeler. Eventueel is deze voorzien van flowmeters. Let er op dat de ruimtethermostaat de goede groep(en) aanstuurt.

Gebruik voor het inregelen ISSO-kleintje inregelen of ISSO-publicatie 65.

Een alternatief voor inregelen van de volumestromen op ontwerpwaarden is inregelen op vermogen & tijd (met hoge debieten en lage aanvoertemperatuur). Dit is het alternatief voor inregelen op aanvoertemperatuur en het beperken van debieten in ruimtes met minder vermogensvraag. Voor deze manier van inregelen zijn regelsystemen in de markt verkrijgbaar. Omdat deze wijze van inregelen niet in voornoemde ISSO-publicaties beschreven staan is een uitleg gegeven in bijlage K.

4.4.12 Documenten na ontwerpfase

Bij de ontwerpfase worden een aantal documenten aan de opdrachtgever overhandigd of op het werk achtergelaten. Dit zijn:

- Ontwerpgegevens met berekening van het benodigde specifieke vermogen per vertrek, de ontwerp aanvoerwatertemperatuur en maximale warmteweerstand van de vloerafwerking;
- Specificaties van isolatiemateriaal, randstroken en folie;
- Drukverliesberekening en inregelstanden;
- Specificatie van de vloer- of wandopbouw;
- De montagetekening(en) met: Legpatroon en leidingafstanden;
 - Registerlengtes;
 - Bijzonderheden, zoals isolatie bij dilataties;
 - Hydraulische schakeling.

5 KOELEN

Door steeds betere gebouwisolatie en het benutten van passieve zonne-energie neemt het risico op oververhitting in de zomer toe. Vloer- en wandverwarming zijn te gebruiken voor beperkte koeling. Hiervoor is aansluiting noodzakelijk op een koudebron (bodem, oppervlaktewater, e.d.). Een warmtepomp wordt gebruikt voor de koeling (omkeerbaar). Om koeling toe te passen zijn aanvullende voorzieningen nodig in het regel- en beveiligingssysteem. Een aanvullend voordeel bij toepassing van een bodemwarmtewisselaar is regeneratie van de bron. Warmte, die in de winter aan de bodem wordt onttrokken, wordt in de zomer (deels) terug gebracht in de bodem.

5.1 PROGRAMMAFASE

Aangenomen is dat de prioriteit voor de programmering van het systeem ligt bij de noodzaak tot verwarming van het gebouw, zie hiervoor hoofdstuk 4. Om het gewenste koelvermogen te halen kan het noodzakelijk zijn de leidingen in de vloer of wand op een kleinere hartafstand aan te brengen dan voor verwarmen nodig is. Bij verwarmen is de watertemperatuur aan te passen aan de geringere leidingafstand. Voor de warmte-/koudeopwekking is een warmtepomp een voor de hand liggende keuze.

5.2 ONTWERPFASE

Voor vloer- en wandkoeling worden dezelfde stappen genomen zoals beschreven onder 4.4 voor vloer- en wandverwarming, mocht de verwarming bij het ontwerp niet leidend zijn.

5.2.1 Uit het vertrek af te voeren vermogen

Door de toename van de isolatiegraad van woningen zijn in de zomerperiode te hoge binnentemperaturen mogelijk. Denk aan veel glas op het zuiden en de interne warmteproductie door apparaten. De NTA 8800 bevat een vereenvoudigde toets die een indicatie van de oververhitting geeft, de TOjuli. Bij een te hoge waarde van TOjuli is men verplicht koeling met voldoende capaciteit toe te passen of het ontwerp te wijzigen. Om de oververhitting van een nieuwbouwwoning te voorkomen en om aan te tonen dat een aanwezig actief koelsysteem voldoende capaciteit heeft, moet voldaan zijn aan de $TO_{juli} < 1,2$ eis. Hiertoe moet een rekenkundige onderbouwing overlegd worden, aan te tonen via bijlage AA uit de NTA 8800 of een temperatuuroverschrijdingsberekening (TO-berekening). In bijlage AA wordt een vereenvoudigde bepalingsmethode beschreven van de koelbehoefte van woningen, waarmee bepaald wordt wat de minimaal benodigde koelcapaciteit is. Aan de hand van de stappen is per rekenzone te bepalen wat de koelbehoefte is en hoeveel koelcapaciteit minimaal benodigd is, om te voldoen aan de eis voor het beperken van het risico op oververhitting.

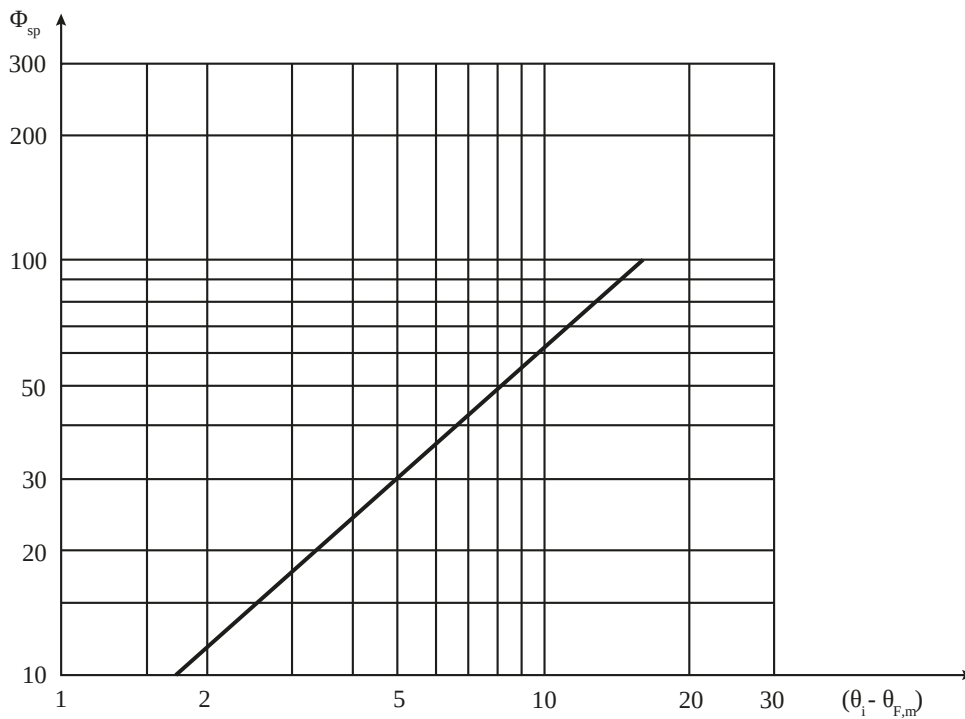
5.2.2 Dimensionering vloer- en wandkoeling

Het koelvermogen van een vloer wordt bepaald op een manier die veel lijkt op die van de warmteafgifte van vloerverwarming zoals die gegeven is in de NEN-EN-1264. Voor uitleg zie bijlage E.

5.2.2.1 Vloerkoeling

Een vloerkoelsysteem heeft bij een constante oppervlaktetemperatuur en uniforme ontwerpinnencondities een vast koelvermogen. Dit koelvermogen is onafhankelijk van het toegepaste type vloerkoelsysteem en noemen we de karakteristieke koelcurve (afbeelding 5.1).

Omdat de binnentemperatuur door externe invloeden veel meer varieert dan in verwarmingsbedrijf, wordt voor het bepalen van het beschikbare koelvermogen geadviseerd om te rekenen met het koelvermogen bij de gemiddelde ruimtetemperatuur gedurende het koelbedrijf.



Afbeelding 5.1 Karakteristieke koelcurve van vloeren (zonder vloerafwerking)

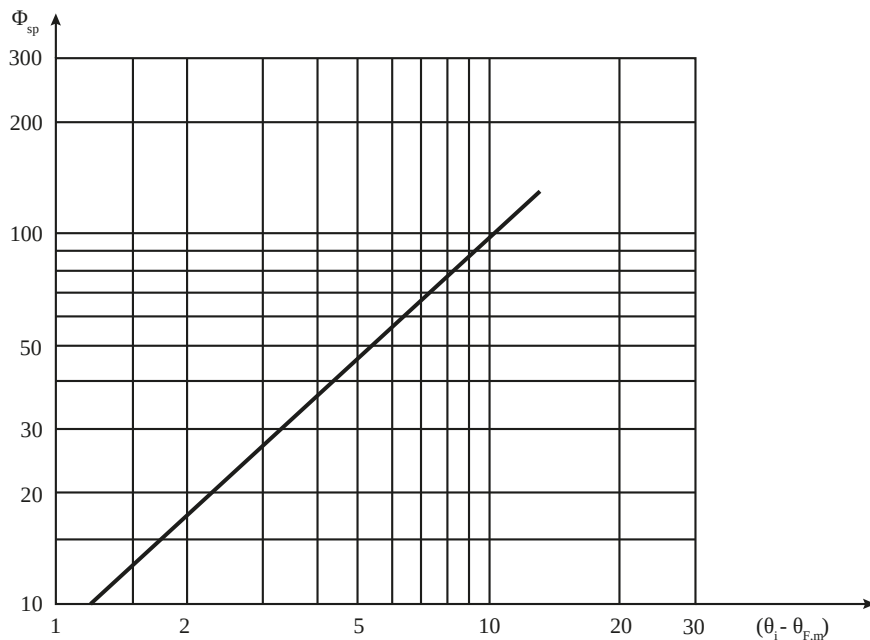
θ_i = ontwerpbinrentemperatuur [°C]

$\theta_{F,m}$ = gemiddelde oppervlaktetemperatuur [°C]

Φ_{sp} = specifiek thermisch vermogen [W/m²], $\Phi_{sp} = 5,15 (\theta_i - \theta_{F,m})^{1,1}$

5.2.2.2 Wandkoeling

Bij wandkoeling is niet dieper te koelen dan met de vloer. In beide gevallen wordt de laagst toelaatbare watertemperatuur begrensd door de condensatietemperatuur.



Afbeelding 5.2 Karakteristieke koelcurve van wanden (zonder wandafwerking)

θ_i = ontwerpbinrentemperatuur [°C]

$\theta_{F,m}$ = gemiddelde oppervlaktetemperatuur [$^{\circ}\text{C}$]

Φ_{sp} = specifiek thermisch vermogen [W/m^2], $\Phi_{sp} = 8,02 (\theta_i - \theta_{F,m})^{1,1}$

Het te leveren koelvermogen is afhankelijk van de minimale oppervlaktetemperatuur en de plaats van toepassing (wand, vloer of plafond). De getallen in tabel 5.1 zijn globale richtwaarden voor de maximale koelcapaciteit bij een binnentemperatuur van 25 graden en een oppervlaktetemperatuur van 20 $^{\circ}\text{C}$:

Tabel 5.1 Maximaal koelvermogen

constructie	maximaal koelvermogen [W/m^2]
vloer	29
wand	35
plafond	35

Door toepassing van een ongeïsoleerde vloerconstructie bij tussenvloeren werkt voor koeling zowel het vloeroppervlak als het plafond mee.

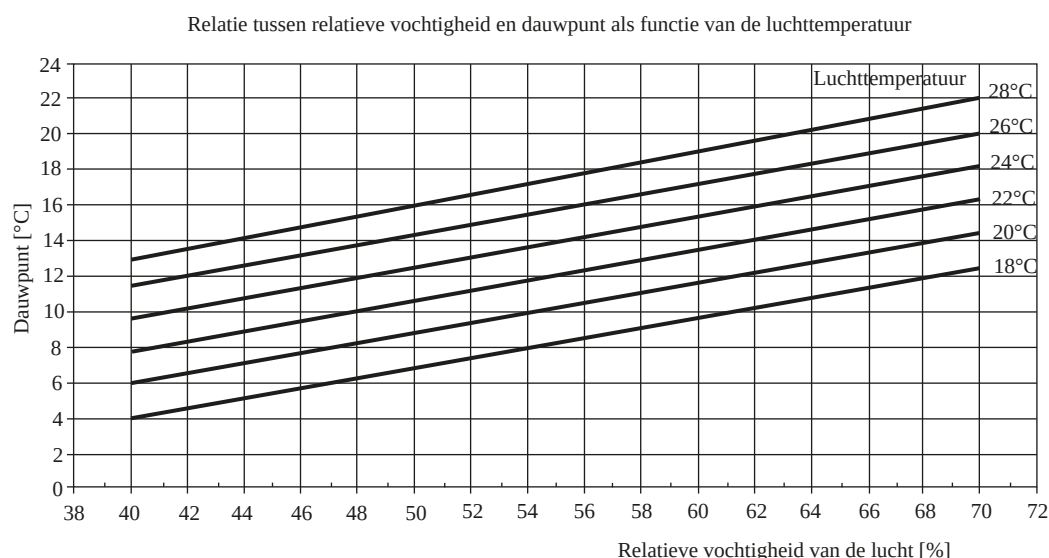
Bij direct opvallende zonnestraling op de gekoelde constructies is het te leveren vermogen voor koeling groter omdat alle opvallende energie direct wordt weg gekoeld. De retourtemperatuur loopt hierdoor op. Om een groter koelvermogen te realiseren moet het circulerende debiet door de betreffende registers toereikend zijn om de geabsorbeerde energie af te voeren.

Het koelen door vloer- en wandsystemen vergt een zorgvuldige afweging van bouwfysische en comfortaspecten. Er gelden installatietechnische ontwerpeisen.

Voor utiliteitsgebouwen bepaalt men met temperatuursimulatieprogramma's (TO-berekening) of koeling noodzakelijk is.

5.2.3 Voorkomen van condensatie in vloer c.q. wand of op installatiedelen

Ter voorkoming van schade aan de vloer/vloerafwerking mag de aanvoertemperatuur van het koelwater niet onbeperkt worden verlaagd. Bij leidingen ingebed in de dekvloer of in de stucmortel mag de aanvoertemperatuur van het koelwater niet minder dan 1 graad boven de dauwpuntstemperatuur liggen. Lagere temperaturen leiden tot condensatie op leidingen, verdeler en in de vloer/vloerafwerking of in de wand. Bij droogbouwsystemen mag de aanvoertemperatuur niet onder de dauwpuntstemperatuur komen. Afbeelding 5.3 geeft het verband tussen de dauwpuntstemperatuur en de relatieve vochtigheid als functie van de luchttemperatuur. Het verdient aanbeveling de vochtigheid in de ruimte te meten en op basis hiervan de minimale aanvoertemperatuur te bepalen.



Afbeelding 5.3 Relatie tussen relatieve vochtigheid en dauwpuntstemperatuur

Als gebruik wordt gemaakt van een systeem waarbij de mechanisch toegevoerde ventilatielucht wordt gekoeld/ontvochtigd is een hoger koelvermogen door een lagere aanvoerwatertemperatuur te bewerkstelligen. Let er hierbij wel op dat ramen gesloten blijven. Zonder regeling van de aanvoerwatertemperatuur op basis van de luchtvochtigheid geldt dat het temperatuurverschil tussen de ruimtetemperatuur en de vloer of wand $\Delta\theta_w$ maximaal 5K mag worden.

5.2.3.1 Condensbewaking/dauwpuntsregeling

Bij systemen die koelen is het belangrijk om maatregelen te treffen om condensvorming door een te lage aanvoerwatertemperatuur te voorkomen. Veelal wordt ervoor gekozen om te koelen met een watertemperatuur van 18°C of hoger, wat wordt gezien als een “veilige” temperatuur. Dit geeft geen zekerheid dat er nooit condensvorming optreedt. Er zijn regelsystemen op de markt die de mogelijkheid hebben om met een sensor te meten of condensvorming optreedt, waarna de toevoer van het gekoelde water wordt gereduceerd of afgesloten tot de condensvorming op de sensor is verdwenen. Een dergelijke sensor wordt bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de koelinstallatie op een metalen onderdeel (leiding of appendage) op/in de aanvoer geplaatst. Met een dergelijke regeling is bij een lage luchtvochtigheid een groter temperatuurverschil tussen de ruimtetemperatuur en de vloer of wand $\Delta\theta_w$ 5K toelaatbaar.

5.2.3.2 Koelstop

Wanneer bij een gecombineerde installatie het niet gewenst is dat er in koelbedrijf in een bepaalde ruimte gekoeld water door het register stroomt (bijvoorbeeld badkamer), en deze ruimte is niet voorzien van een naregeling om het register dicht te sturen, dan is het mogelijk om het register te voorzien van een koelstop.

De koelstop is een mechanische afsluiter met thermisch element die de watertoevoer afsluit zodra deze onder de ingestelde waarde komt.

5.2.4 Documenten na ontwerpfase

Bij de ontwerpfase worden een aantal documenten aan de opdrachtgever overhandigd of op het werk achtergelaten. Zie hiervoor 4.4.12.

6 BOUWKUNDIGE ASPECTEN EN UITVOERING

In de meeste gevallen moet een bouwkundig aannemer de juiste voorwaarden stellen en richtlijnen geven over de kwaliteit van toegepaste bouwmaterialen en de verwerking ervan. Onderstaande aspecten gelden slechts als richtlijn.

6.1 ISOLATIE

Wanneer de isolatie wordt gelegd moet de vloer voldoende vlak en droog zijn. Oneffenheden hoger dan 5 mm uitvlakken met het oog op mogelijke plaatselijke verslechtingen van de warmte-isolatiewaarde en de geluidsisolatie. Eventueel moet de ondergrond uitgevlakt worden met een laagje mortel of zand zodat de isolatieplaten vlak liggen. Dit om breuk of ongelijkmatige vervorming te voorkomen.

6.1.1 Aanbrengen isolatie

Leg bij het aanbrengen van de isolatie de afzonderlijke platen naadloos tegen elkaar aan. De isolatielaag moet de gehele oppervlakte beslaan. Snij bij beschadigde platen de beschadiging af of vul de gaten passend en glad op met hetzelfde materiaal.

Laat de naden verspringen wanneer meerdere lagen op elkaar geplaatst worden.

6.1.2 Drukvastheid isolatie

De isolatie moet een goede weerstand tegen vervorming hebben. De vervormingsweerstand wordt bepaald met de vergelijking:

$$d_s = d_i - d_b \quad ((6.1))$$

waarin:

d_s = de vervorming onder invloed van een voorgeschreven belasting [mm]

d_i = de dikte bij levering, gemeten bij een bovenbelasting van 0,25 kN/m² [mm]

d_b = de dikte onder een belasting van 2,0 kN/m² [mm]

Een vervorming d_s van 5 mm is toelaatbaar. Wanneer de isolatielaag bestaat uit een thermische en een akoestische isolatielaag moet de laag met de grootste vervorming de bovenste zijn.

6.2 RANDSTROKEN/RANDISOLATIE

Vóór het storten van de dekvloer moet een randstrook geplaatst worden langs de wanden en langs andere opgaande gebouwdelen zoals deurposten en pilaren. De randstrook wordt geplaatst op de constructievloer en moet ten minste tot boven de bovenkant van de definitieve vloer inclusief de vloerafwerking doorlopen. Bij het opzetten van de randstrook moet worden voorkomen dat er 'ronde hoeken' ontstaan en moet de strook worden beveiligd tegen elke verandering van positie.

Het boven de vloerafwerking uitstekende gedeelte wordt verwijderd na het aanbrengen en eventueel uitharden van de vloerafwerking. De randstrook moet van een goed samendrukbaar materiaal zijn. De dikte van de randstrook moet zodanig zijn dat de dekvloer onder alle omstandigheden vrij kan vervormen.

NEN-EN 1264 stelt als eis dat de randstrook een beweging van de dekvloer van minimaal 5 mm moet toelaten.

Geschikte materialen voor randstroken zijn polyetheenfoam, minerale wol of polystyreen. Om akoestische redenen heeft een isolatiemateriaal van minerale wol de voorkeur.

6.3 BESCHERMENDE FOLIE

In geval van vloerverwarming volgens een middelzwaar natbouw systeem moet op de isolatielaag een beschermende folie worden aangebracht. De functie van deze folie is het beschermen van de isolatielaag tegen o.a. beschadiging en vocht. Doorgaans wordt polyetheen folie gebruikt.

Een waterkerende folie van polyetheen moet een dikte hebben van ten minste 0,2 mm en een overlapping van ten minste 80 mm. De folie moet boven de bovenrand van de strook randisolatie worden getrokken, tenzij de strip de beschermingsfunctie vervult. Tijdens het aanbrengen van de vloerverwarming en specie mag geen beschadiging optreden. Extra zorg vereist het aanbrengen van een wapeningsnet, want de waterkerende laag is zeer kwetsbaar.

In veel gevallen wordt er gebruik gemaakt van tackerplaten, isolatieplaten waarop de folie fabrieksmatig op is aangebracht (gecacheerd). De platen worden aaneensluitend gelegd, waarbij de naden worden afgeplakt met tape. Bij het afwerken met een gietvloer wordt aangeraden om randisolatie met folie toe te passen en deze folie eveneens met tape vast te zetten. Dit voorkomt dat de gietmortel langs de randen en kieren wegloopt.

6.4 DAMPREMMENDE FOLIE

Door het uitdampen van vocht in verwarmingsbedrijf kan er door de constructie vochttransport op gang komen als aan beide zijden van die constructie de vochtigheid fors verschilt (zoals bij een natte kruipruimte of op een nat zandpakket). Vochttransport door de constructie kan tot roestvorming van de stalen wapening leiden en schade geven aan de vloerafwerking door verkleuring (voegen en marmer) of overmatige uitzetting (parket).

Bij zwevende dekvloeren is bij langdurige vochttoevoer vanuit de dragende constructie een dampremmende laag nodig om condensatie te voorkomen. Deze folie wordt tussen de constructievloer en de isolatie geplaatst en moet boven de bovenrand van de strook randisolatie worden getrokken, tenzij de randisolatie de beschermingsfunctie vervult. De naden goed afplakken. Wanneer op de isolatielaag een beschermende folie is aangebracht met voldoende overlap en zonder beschadigingen fungeert deze als dampremmende laag.

6.5 WAPENING

Het toepassen van wapening voorkomt in het algemeen het scheuren van de dekvloer niet. Bij zandcement dekvloeren is wapening een afdoende maatregel tegen het openen van eventueel ontstane scheuren. Het wapeningsnet vervult vooral een rol bij het mogelijk maken van een zekere krachtsoverdracht ter plaatse van de scheur, het beperken van de scheurwijdte en om de gescheurde delen bij elkaar te houden. Door het verticaal verschuiven van scheurranden kan een gering hoogteverschil ontstaan. Voornamelijk bij het gebruik van steenachtige vloerafwerking is dit een voordeel. Kunststof wapening is te elastisch. Let er bij kunststof wapening op dat de wapening voldoende stijfheid heeft. Het is raadzaam beproevingsresultaten op te vragen waaruit dit blijkt. Als inderdaad is aangetoond dat met toevoeging van vezels een hogere buigtreksterkte realiseerbaar is dan zonder, houdt dit in dat de dikte van de dekvloer met vezels kleiner kan zijn dan zonder vezels.

6.6 MONTAGENET

Een licht montagenet ($\emptyset$ 3 mm) wordt gebruikt om de leidingen op te bevestigen, waarmee opdrijven voorkomen wordt. Een montagenet dat niet in het hart (of er net boven) in de vloerlaag wordt aangebracht geeft geen extra stevigheid aan die laag.

6.6.1 Wapeningsnet

Wanneer de dekvloer een constructieve functie heeft wordt een wapeningsnet gebruikt. Omdat het wapeningsnet doorgaans bovenin de vloer geplaatst moet worden, worden afstandhouders gebruikt. Bij het monteren van het wapeningsnet moet er zorg voor gedragen worden dat de leidingen niet verplaatst of beschadigd worden.

Bij wapening van betonstaal moet het staal voldoen aan NEN 6008.

6.6.2 Corrosie wapeningsnet

Door vochttransport in de dekvloer gaat een stalen bevestigings- of wapeningsnet corroderen. Als de vloerbedekking bestaat uit lichte of poreuze steensoorten is het om esthetische redenen (verkleuringen door roestvorming) wenselijk een gegalvaniseerd, een kunststof of een met kunststof bekleed wapeningsnet toe te passen. Alle (geknipte) uiteinden van blank staal roestwerend afwerken. Bij calciumsulfaat gebonden vloeren moet er rekening worden gehouden met mogelijke corrosie. In vochtige condities is calciumsulfaat corrosief.

6.7 DEKVLOER

6.7.1 Samenstelling dekvloer

De grondstoffen en samenstelling voor een cementgebonden dekvloerspecie moeten voldoen aan de eisen uit NEN 2741 [12]. Deze norm geeft een overzicht van de mogelijk te realiseren druksterkte afhankelijk van de korrelopbouw van het toeslagmateriaal en de verhouding bindmiddel (zand). Aanvullend op hetgeen gesteld is in NEN 2741, geldt dat de specie geen bestanddelen mag bevatten die op korte of lange termijn schadelijk zijn voor de vloerverwarmingsleidingen.

Voor alle cementgebonden dekvloeren geldt, of ze nu hechtend of zwevend worden aangebracht, dat de krimp moet worden beperkt. Het beperken van de krimp voorkomt schade. De krimp is te beperken door:

- Een goed gegradeerd mengsel te gebruiken met een voldoende hoge fijnheidsmodule. Voor eenzelfde sterkte wordt volstaan met minder cement;
- Het cementgehalte niet hoger kiezen dan noodzakelijk voor het behalen van de gevraagde sterkte en niet meer dan 400 kg/m³;
- De hoeveelheid aanmaakwater te beperken. Door het beperken van de hoeveelheid aanmaakwater blijft de uitdrogingskrimp van de dekvloer beperkt, evenals de daaraan gekoppelde vervorming, waaronder het schotelen. Schotelen is een vervorming van de dekvloer waarbij het materiaal hol of bol komt te staan door een verschil in krimp aan de randen.

Als de leverancier van de vloerverwarming afwijkende eisen stelt aan de speciesamenstelling en eventuele toevoegingen voorschrijft, moet dit vooraf met het bedrijf dat verantwoordelijk is voor de dekvloer worden overeengekomen. Het gebruik van, door de leverancier, voorgestelde toevoegingen mag alleen als door onderzoek is aangetoond dat deze de mechanische eigenschappen van de dekvloer niet nadelig beïnvloeden.

6.7.2 Aanbrengen dekvloer

Tref voldoende beschermende maatregelen bij het aanbrengen van de dekvloer en bij het installeren van de verwarmingsleidingen, zodat geen onderdelen beschadigen of in hun functie worden beïnvloed. Bij het transporteren van de dekvloermortel over het geïnstalleerde leidingsysteem moeten planken of vergelijkbaar worden gelegd. Vermijdt een grotere kortstondige belasting van de isolatielaag om de isolerende werking niet te verminderen.

Tijdens het aanbrengen moet erop toegezien worden dat folie en randisolatie op hun plaats blijven. De temperatuur in de ruimte moet ten minste 5°C zijn. Een asfaltdekvloer wordt gelegd bij een temperatuur boven 0°C.

Tabel 6.1 geeft de minimale dikte aan van de vloer.

Tabel 6.1 Dikte van de dekvloer in relatie tot de sterkteklasse van de mortel en de vervorming van het isolatiepakket onder invloed van een voorgeschreven belasting

Sterkteklasse	Dekvloerdikte in mm met vloerverwarming vervorming isolatie (d_s) = 5 mm
Gestorte vloer	
C20	70
C30	60
Gietvloeren	
C20	60
C30	50

Opmerking

De toe te passen dekvloerdikte wordt verder nog bepaald door de vereiste dekking op de vloerverwarmingsleiding. Deze moet ten minste 25 mm bedragen. Classificatie volgens NEN-EN 13813 [14].

Eisen voor de samenstelling van de cementgebonden dekvloer [17]. Voor calciumsulfaatgebonden dekvloer wordt verwezen naar TBA-aanbeveling 107 [18].

6.7.3 Uitharden dekvloer

Tijdens het uitharden van de vloer blijft de druk op de leidingen bij voorkeur enige dagen en minimaal één dag gehandhaafd.

Direct na het storten van de vloer moet de temperatuur gedurende tenminste drie dagen tenminste 5°C zijn.

De dekvloer moet tijdens het uitharden tenminste drie dagen beschermd worden tegen uitdrogen, en hierna nog tegen warmte en tocht, om het schotelen te beperken. Bij kleine gebouwen is het voldoende als het gebouw gesloten blijft.

Er geldt dat tijdens het uithardingsproces geen zonbelasting toegelaten mag worden.

Het verhardingsproces mag onder geen voorwaarde versneld worden door het in bedrijf stellen van de verwarming.

Cementgebonden dekvloeren minimaal 21 en bij voorkeur 28 dagen uit laten harden voor ingebruikname, anhydriet vloeren minimaal 7 dagen, tenzij door de fabrikant anders gespecificeerd.

6.8 ROOSTERS, SCHROBPUTTEN E.D.

Bij roosters, schrobputten of dergelijke in de dekvloer moeten deze de bewegingen van de dekvloer volgen. Onder de dekvloer moet een flexibele overgang aanwezig zijn van aansluitende onderdelen op de desbetreffende installatie.

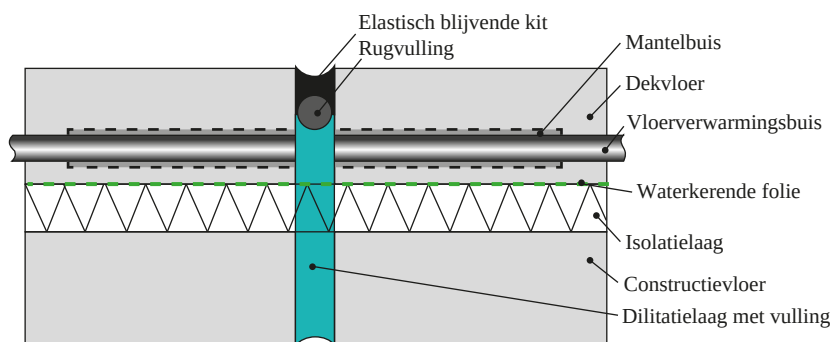
6.9 VOEGEN

Om zetting van het gebouw op te vangen zijn in wanden en vloeren voegen aangebracht. Ter plaatse van de voeg is extra aandacht nodig voor het aanbrengen van de installatie.

6.9.1 Dilatatievoegen

Een dilatatievoeg scheidt delen van een constructie van elkaar op zodanige wijze dat die delen vormverandering zelfstandig ondergaan. Een dilatatievoeg moet altijd doorgetrokken worden in een daarop gelegen dekvloer of stuc laag.

Monteer de registers van de vloer- of wandverwarming zo dat dilatatievoegen niet gekruist worden. Verwarmingsleidingen die een dilatatievoeg kruisen ter plaatse steeds omhullen met een kunststof mantelbuis met een lengte van tenminste 0,40 m en een inwendige diameter die tenminste 6 mm groter is dan de uitwendige diameter van de verwarmingsleiding (zie afbeelding 6.1)



Afbeelding 6.1 Dilatatievoeg met kruisende vloerverwarmingsleiding

6.9.2 Krimpvoegen

Een krimpvoeg wordt aangebracht in een niet hechtende dekvloer door inzagen of door het opdelen van vloervelden met behulp van randisolatie. Dit heeft tot doel om willekeurige scheurvorming door krimp te voorkomen. Deze voegen zijn niet nodig bij dekvloeren die geen verhardingskrimp hebben, zoals anhydrietvloeren. Een cementgebonden dekvloer moet zodanig door voegen in velden worden verdeeld dat uitzetting of krimp niet door aansluitende constructiedelen wordt belemmerd. In het algemeen moet ernaar gestreefd worden vloervelden te maken met een rechthoekige vorm met een maximale lengte van ca. 7 m, of een maximaal oppervlak van 40 m². Voor gietvloeren is het oppervlak ca. 100 m² met een grootste lengte van ca. 15 m. Als de vloer een L-vorm heeft of een plaatselijke versmalling, moet de vloer door een of meer krimpvoegen worden verdeeld in velden met een rechthoekige vorm. Dit laatste geldt ook voor anhydrietgebonden dekvloeren.

6.10 VOORBEREIDINGEN INSTALLATIE

De installatie van een vloerverwarmings- en/of koelsysteem moet volgen op de voorafgaande installatie van elektrische, sanitaire en andere leidingvoorzieningen. Andere leidingsystemen of doorvoeringen zodanig bevestigen en inpakken zodat ze een vlakke basis vormen waarop thermische isolatie en/of akoestische isolatie wordt aangebracht voordat de verwarmingsleidingen worden gelegd. Hierbij moet rekening worden gehouden met de noodzakelijke bouwhoogte.

Bescherm transportleidingen die in de isolatielaag zijn geïnstalleerd tegen temperatuurveranderingen.

Als de buitendeuren en ramen nog niet geplaatst zijn vóór de installatie van het systeem, is het aan te raden om alle gebouwopeningen te dichten, zelfs met provisorische maatregelen (om te hoge/lage temperaturen te vermijden en het effect van de lichtsnelheid te beperken). Het heeft

de voorkeur dat het stucwerk is voltooid voordat met de aanleg van de vloerverwarming wordt begonnen.

Afhankelijk van het gekozen systeem worden opvolgende arbeidsgangen uitgevoerd nadat de uitvoerder van de vorige arbeidsgang hiermee akkoord is. Het betreft hier bijvoorbeeld:

- Het aanbrengen van de afwerkvloer nadat de leidingen zijn getest;
- Het inregelen en verwarmen van de vloer mag bij een natbouwvloer pas een aantal weken na het aanbrengen van de vloer plaatsvinden.

In het algemeen is bij vloer- en wandverwarming goed overleg tussen de aannemer en de installateur noodzakelijk.

6.11 BEVESTIGING VAN DE LEIDING

De leiding wordt bevestigd met behulp van:

- Metalen of kunststof beugels, tackersclips, klemrail e.d.;
- Binddraad of kabelbinders op een staalnet;
- Geprofileerde platen.

Bij de keuze van de bevestigingsmaterialen moet men rekening houden met:

- Juiste afmetingen; Het bevestigingsmateriaal wordt in overleg met de fabrikant van de (kunststof) verwarmingsleiding gekozen, zodat afmetingen van leiding en bevestigingsmateriaal op elkaar zijn afgestemd;
- Materiaalcombinatie; Het gekozen bevestigingsmateriaal mag geen chemische inwerking geven op de kunststof leiding, al dan niet onder invloed van het materiaal waarin het bevestigingsmateriaal en leiding zijn opgenomen;
- Mechanische beschadiging; Het bevestigingsmateriaal mag de kunststof leiding tijdens het aanbrengen niet beschadigen. Verder mag het na aanbrengen de leiding niet voortdurend op druk belasten in verband met kruip van kunststoffen. Scherpe randen e.d. aan de bevestigingsbeugels en wapeningsnetten zijn niet toegestaan;
- De bevestiging moet degelijk worden aangebracht zodat deze niet los komt als er over de gemonteerde leidingen gelopen wordt. Boor de bevestigingspunten altijd voor bij een kanaalplaatvloer.

Voor leidingen in een natbouw systeem geldt:

- De verticale afwijking van de ontwerppositie mag nergens meer dan 5 mm bedragen;
- De horizontale afwijking van de ontwerppositie mag niet meer dan 10 mm bedragen ter plaatse van de bevestigingspunten;
- In bochten en afbuigingen gelden deze eisen niet;
- De afstand tussen de bevestigingspunten hangt af van het leidingmateriaal en de afmetingen en is standaard 100 cm. Bij vloervloeren en stortvloeren wordt om het risico van opdrijven te voorkomen een onderlinge afstand van 50 cm aangehouden en bij voorsmeervloeren 150 cm.

6.12 MONTAGE VERDELER

Bij het ontwerp van de installatie moet rekening worden gehouden met de benodigde opstelruimte voor de verdeler. Voor de afmetingen van de benodigde ruimte wordt verwezen naar informatie van de leverancier. Plaats verdelers bij voorkeur centraal in het gebouw. Als sprake is van te grote concentraties van leidingen in gangen of door ruimtes naar andere vertrekken wordt geadviseerd om meerdere verdelers toe te passen. Vooral bij appartementen waar de opstelruimte ver van de te verwarmen ruimtes gesitueerd is, vraagt dit om aandacht ter voorkoming van onaangenaam hoge opwarming van transportruimtes.

Om geluidsklachten te voorkomen bij verdelers met een pomp moet de wand waarop de unit gemonteerd wordt voldoende zwaar zijn (volgens opgave leverancier). Vermijd plaatsen van een

pompverdeler op een holle wandconstructie tenzij daarin voldoende achterhout is opgenomen. Gebruik hierbij bevestigingsmateriaal met rubberen trillingdempers. Als alternatief kan gekozen worden voor montage van de verdeler op een vloersteun.

Monteer de verdeler waterpas en volg de montage instructies van de producent/leverancier op.

Er moet een voorziening worden getroffen voor een 230V elektrische aansluiting van de verdeler/verzamelaar en/of voor communicatie met de warmteopwekker en eventuele overige regelsignalen.

Bij montage van een verdeler in een omkasting zijn er twee aandachtspunten:

- Wanneer de registers worden aangestuurd met thermomotoren moet de kast voorzien zijn van ventilatiesleuven om ontwikkelde warmte af te voeren;
- Wanneer een draadloze regeling eveneens in de kast wordt opgenomen mag het kastmateriaal de draadloze communicatie niet belemmeren.

7 OPLEVERING EN NAZORG

7.1 OPLEVERING

7.1.1 Vullen en ontluichten

Alvorens de verwarmingsregisters in mortel in te bedden of bij vrij liggende registers de afdekking aan te brengen, moet de installatie afgeperst worden met water of lucht.

Nadat de leidingen in de vloer- of wandconstructie zijn opgenomen moet de installatie gevuld en ontluicht worden, mocht dit voor het afpersen nog niet gebeurd zijn. Voor een goede ontluchting kan het vullen onder druk geschieden door de installatie achtereenvolgens per register op het waterleidingnet aan te sluiten. Dit kan door één hoofdaansluiting van de verdeler aan te sluiten op het waterleidingnet en van ieder register één uiteinde op dezelfde verdelerbalk aan te sluiten. De andere hoofdaansluiting en alle afsluiters van de registers zijn daarbij gesloten. Er wordt een afsluiter van een register geopend, waardoor er na enige tijd water uit het register gaat stromen. Voor opvangen van het uitstromende water is een emmer te gebruiken. Het water laat men zolang, met voldoende snelheid, uit het register stromen tot het zonder luchtbellens uitstroomt. Daarna wordt het losse uiteinde van dat register aangesloten op de andere verdelerbalk en de afsluiters van dat register dicht gezet. Hierna wordt een volgend register op gelijke wijze gevuld en ontluicht.

7.1.2 Vorstbeveiliging

Wanneer een met water gevuld vloer- of wandverwarmingssysteem nog niet in bedrijf is moet men erop toezien dat deze niet bevroert. Bij oplevering van een installatie in een periode waarin bevroering optreedt is het daarom raadzaam om af te persen met lucht in plaats van met water. Bestaat er kans op bevriezen dan maakt men de installatie volledig watervrij door het leeg te blazen met perslucht.

Is leegblazen van het systeem niet mogelijk dan wordt antivries aan het water toegevoegd. Bij het in bedrijf stellen overtuigt men zich ervan dat het systeem weer vrij is van antivries als het ontwerp daarop niet gebaseerd is. De soortelijke warmte van het mengsel antivrieswater is aanzienlijk lager dan dat van water. Let op, het afvoeren van water met antivries moet gecontroleerd gebeuren, omdat dit gezien wordt als chemisch afval. Tap bij het opstarten van de normale systeemwerking eventuele antivriesvloeistoffen af en voer ze af volgens de nationale gezondheids- en veiligheidsvoorschriften. Vervolgens moet het systeem driemaal met schoon water worden doorgespoeld.

Het antivriesmiddel mag het leidingmateriaal niet aantasten. Dit geldt in het bijzonder bij het gebruik van kunststof leidingen voor de verwarmingsregisters. Aanbevolen wordt hierover advies in te winnen bij de producent/leverancier van de kunststof leiding.

Is het juist gewenst dat het antivriesmiddel in het vloersysteem blijft zitten (zoals bij buitenvloeren) dan moet dit overlegd worden met de producent/leverancier van de warmteopwekker. Als alternatief is een verdeler met warmtewisselaar toepasbaar. Let er wel op dat de soortelijke warmte van het mengsel antivrieswater aanzienlijk lager is dan dat van water.

Als alternatief is het gebouw te conditioneren met tijdelijke voorzieningen zoals elektrische heaters.

7.1.3 Beproeven

Na het vullen en ontluichten moet de installatie worden beproefd, voordat installatiedelen aan het zicht worden onttrokken. De installatie wordt in koude toestand met lucht of water afgeperst op 1,5 maal de maximale werkdruk van de installatie met een minimum van 100 kPa (1 bar) boven de

maximale werkdruk. De watertemperatuur mag niet hoger zijn dan de omgevingstemperatuur. Drukgevoelige installatiedelen beschermen tegen een te hoge druk, zo nodig door deze af te koppelen.

Voor standaardsystemen moet de testdruk 400 kPa tot 600 kPa bedragen. Bij het testen met lucht moet de testdruk 200 kPa tot 300 kPa bedragen. Komt de afpersdruk hoger uit dan 600 kPa (6 bar) overdruk dan mag de afpersdruk aangepast worden aan de garantiedruk van de toegepaste appendages en toestellen.

Na het vullen en op druk brengen moet de verbinding tussen de installatie en het waterleidingnet of eventueel gebruikte perspomp worden losgenomen. Afhankelijk van het toegepaste leidingmateriaal verloopt de beproevingsprocedure als volgt:

- Kunststof leidingen;
Door elastische vervorming neemt de aangebrachte persdruk geleidelijk af, zodat deze na 2 uur op de oorspronkelijke waarde moet worden gebracht.
Hierna vindt de beproeving plaats die tenminste 6 uur moet duren.
- Metalen leidingen;
Bij metalen leidingen heeft de elastische vervorming nauwelijks invloed op het drukverloop.

De beproevingsduur bedraagt in dat geval minimaal 2 uur. Zie ISSO-publicatie 76.

Er moet gecontroleerd worden of het systeem doorstroomd wordt om eventuele verstoppingen te constateren.

Als na afloop van de beproevingsperiode blijkt dat er geen groter drukverlies is dan 0,2 bar/h, mag met het aanbrengen van de mortel, het afdekken of isoleren worden begonnen. De installatie blijft op werkdruk door gebruik te maken van een expansievat of een ander waterbuffer (waterleidingnet) teneinde tijdens de werkzaamheden eventuele beschadigen van de leiding op te merken. Daarna blijft de druk bij voorkeur enige dagen en minimaal één dag gehandhaafd.

Maak de leidingen tijdens het legproces drukloos bij asfaltdekvloeren.

De afwezigheid van lekken en de testdruk worden in een testverslag vermeld.

7.1.4 Opstarten verwarming

Het verwarmen van cementgebonden dekvloeren mag pas plaatsvinden na een verhardings-respectievelijk droogperiode van minimaal 21 dagen. Voor anhydriet vloeren geldt minimaal 7 dagen en voor asfaltvloeren 1 dag, tenzij de fabrikant anders voorschrijft. Het verhardingsproces mag onder geen voorwaarde versneld worden door het in bedrijfstellen van de verwarming.

Voor het vloersysteem is een opwarmprotocol niet nodig, dit is eerder gewenst voor de aangebrachte afwerkvloer of is een eis van de leverancier van de vloerafwerking. Deze partijen stemmen met de opdrachtgever de wensen en eisen af en het regelen van een protocol.

Uiteraard kunnen leveranciers/producenten van afwerkvloer en vloerafwerking met de installateur afspraken maken over het uitvoeren van een opwarmprotocol. De installateur volgt het aangereikte protocol en is niet verantwoordelijk voor het effect ervan op de afwerkvloer of vloerafwerking. Het opstarten van de installatie of het uitvoeren van een opwarmprotocol is geen verantwoordelijkheid van de installateur van het vloersysteem, tenzij dit specifiek in de opdracht is vastgelegd.

Bij de opstart gelden voor het vloerverwarmingssysteem de volgende eisen:

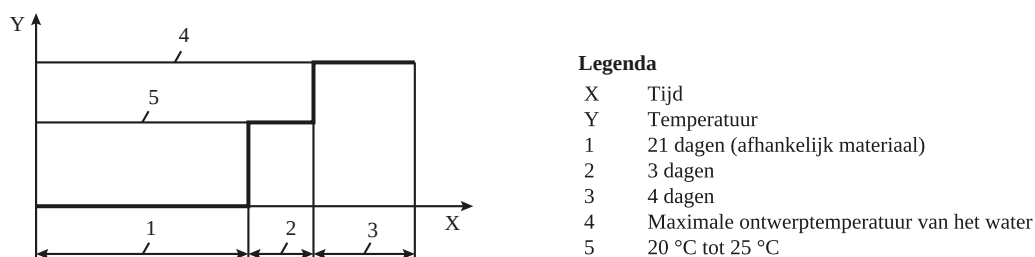
- De watertemperatuur mag niet hoger worden dan de toelaatbare temperatuur van de leiding;

- De temperatuur in het cementgebonden materiaal van maximaal 40 °C (NEN 2741 [12]) Bij een hogere watertemperatuur in de leiding moet de leiding voorzien zijn van een thermisch isolerende mantelbuis;
- De opwarming van het vloerverwarmingssysteem geschiedt geleidelijk.

Cement- en anhydrietdekvloeren verwarmen voordat de vloerafwerking wordt gelegd. Begin de werkzaamheden na het verstrijken van de bovengenoemde termijnen, afhankelijk van het type dekvloer en de instructies van de fabrikant. Deze instructies zijn altijd leidend. Bij het ontbreken van dergelijke instructies wordt geadviseerd onderstaand protocol aan te houden.

De eerste opwarmfase begint vanaf de koude toestand door het water te verwarmen naar een aanvoertemperatuur van maximaal 25°C, die gedurende 3 dagen moet worden aangehouden.

Vervolgens moet de maximale ontwerptemperatuur worden ingesteld (of het maximale vermogen van de warmtepomp als aannemelijk is dat de maximale ontwerptemperatuur niet gehaald wordt) en nog ten minste 4 dagen worden gehandhaafd.



Afbeelding 7.1 Opwarmcyclus

Deze opwarmcyclus is niet bedoeld om een thermische schok van de dekvloer te veroorzaken en start pas na de uitharding en droogcyclus (1) van de dekvloer.

Opwarmprotocol NEN-EN 1264

In de NEN-EN 1264 staat de volgende procedure beschreven voor het geleidelijk aanwarmen van de installatie en bouwkundige constructie. Eisen of wensen van de producent/leverancier van de afwerkvloer gaan boven deze procedure:

- Vanaf koude toestand wordt de aanvoerwatertemperatuur geleidelijk met stappen van 5 K opgevoerd;
- Na iedere stapsgewijze temperatuurverhoging blijft de watertemperatuur gedurende een periode van 12 uur constant;
- De maximale aanvoerwatertemperatuur blijft 24 uur lang behouden;
- Vervolgens wordt op identieke wijze om de 12 uur de watertemperatuur stapsgewijs met 5 K verlaagd, tot (afhankelijk van de heersende buitentemperatuur) op de gewenste waarde.

Het proces van opwarmen moet worden vastgelegd in een opwarmprotocol. Neem bij gebruik van dekvloeren de door de fabrikant voorgeschreven speciale procedures in acht en rapporteer ze.

Het in bedrijfstellen van een mengverdelers mag pas plaatsvinden nadat de maximale aanvoerwatertemperatuur op de maximaalthermostaat is ingesteld.

Na deze eerste inbedrijfstelling wordt de automatische temperatuurregeling in werking gesteld.

Opmerking

Bij de watervoerende systemen komt tijdens het opwarmen voortdurend lucht vrij. De installatie moet tijdens het in bedrijfstellen regelmatig ontlucht worden. Zorg ervoor dat de lucht in dezelfde richting kan ontwijken als de stroomrichting van het water.

7.1.5 Documenten bij oplevering

Overhandig bij de oplevering een aantal documenten aan de opdrachtgever of laat ze achter op het werk. Dit zijn minimaal:

- Een gebruikershandleiding (zie bijlage M);
- De testverslagen als genoemd onder beproeven (7.1.3) en opstarten verwarming (7.1.4.);
- Een tabel/lijst met ingestelde debieten/inregelstanden met drukverlies per register op de verdeler(s);
- Handleidingen/bedieningsvoorschriften van o.a. de te bedienen componenten op de verdeler en van de toegepaste ruimtethermosta(a)t(en);
- Onderhoudsvoorschriften;
- De revisietekening(en) met: Legpatroon en leidingafstanden;
 - Registerlengtes;
 - Bijzonderheden, zoals isolatie bij dilataties;
 - Hydraulische schakeling.

Bij collectieve installaties aan te leveren:

- Aanwijzingen voor oplossen eenvoudige storingen;
- Instellijsten regelapparaten;
- Technische documentatie van geïnstalleerde apparatuur;
- Lijsten van toegepaste materialen met opgave fabricaat, type en leverancier.

7.2 BEHEER EN ONDERHOUD

7.2.1 Gebruiksaspecten

Bij zware vloer- en wandverwarming mag de ruimtetemperatuur niet te veel zakken omdat de opwarmtijd langer is dan bij traditionele radiatorenverwarming. Bij de lichte systemen geldt dit minder.

Plaatsing meubilair warmtewand

Bij plaatsing van gesloten kasten voor een warmtewand wordt de warmteafgifte beperkt. Het is aan te bevelen de wanden nabij de ramen zoveel mogelijk vrij te houden. Kast komen minimaal een plintdikte afstand vrij van de wand. De warmte wordt door middel van convectie afgegeven.

Gaten boren

Pas op met boren en spijkeren bij warmtewanden en verwarmde vloeren. De bewoner moet de plaatsen traceren waar de leidingen lopen. Bij de (warme) warmtewand is met de hand te voelen waar de warme leidingen lopen. Breng op de plint markeringen aan waar de leidingen lopen. Er is tegenwoordig eenvoudige apparatuur in de handel waarmee watervoerende leidingen zijn te traceren. Veelal is niet de volledige wandhoogte benut voor de verwarming.

Vloerafwerking

De vloerafwerking bepaalt, naast de watertemperaturen, verlegafstand en het soort dekvloer, voor een aanzienlijk deel de mate van warmteafgifte van de vloer. Hoe hoger de warmteweerstand is van de afwerking, des te lager is de afgifte. Of des te hoger de watertemperaturen moeten zijn om dezelfde afgifte te behalen. Warmte komt moeilijker door een afwerking heen met meer warmteweerstand. Extra lagen onder de vloerafwerking (ondervloeren) verhogen de warmteweerstand aanzienlijk en zijn zeer af te raden. Zeker met warmtepompen gaat dit ten koste van het rendement. In het ontwerp wordt rekening gehouden met één

weerstandswaarde van de vloerafwerking. Bij het toepassen van verschillende vloerafwerkingen in de diverse ruimtes wordt het inregelen van de installatie anders voor de juiste verdeling van warmte, wanneer de installatie door een hoofdthermostaat of master-slave regeling wordt aangestuurd.

De totale warmteweerstand wordt bepaald door de materiaalsoort en de dikte van het materiaal. PVC geleidt warmte niet goed. Het is slechts een dunne laag waardoor de totale warmteweerstand relatief laag is. De mate van warmtegeleiding/warmteweerstand van een materiaal bepaalt hoe het aanvoelt. Een vloerafwerking met een relatief lage warmtegeleiding, zoals hout of PVC, voelt daarom warmer aan dan een stenen afwerking, ondanks dat ze dezelfde temperatuur hebben; er stroomt moeilijker of makkelijker warmte vanuit het lichaam naar de vloer. De lagere warmtegeleiding van hout of kunststof kan als effect hebben dat mensen minder snel de verwarming aanzetten om 'de kou uit de vloer te krijgen'.

Op verwarmde vloeren zijn alle gangbare soorten vloerafwerking mogelijk, zolang de maximale isolatiewaarde van 0,09 (m².K)/W niet overschreden wordt.

7.2.2 Garanties

Lage temperatuursystemen zijn opgenomen in de SWK/Woningborg-garantieregelingen voor woningbouw. De garantieregelingen adviseren voor doelmatig energiegebruik lage temperatuurverwarming.

De garantieregelingen eisen bij het bepalen van het op te stellen vermogen dat uitgegaan wordt van een regeling per vertrek. Het stelt dat toepassing van nachtverlaging bij vloer- en wandverwarming in woningen niet zinvol is. Men moet hierover de kopers van woningen informeren.

Bij het toepassen van kunststof leidingen moeten deze voorzien te zijn van een BRL-certificering. De bijbehorende koppelingen zijn van dezelfde fabrikant/leverancier, omdat deze samen met de kunststofleiding beproefd zijn.

Gebruik voor het aanleggen van de installatie zoveel mogelijk materialen van hetzelfde merk/dezelfde leverancier en met een KOMO-keur.

Transmissieverliezen

De transmissieverliezen worden groter met vloer- en wandverwarming in de gebouwschil doordat de temperatuur in de verwarmde bouwdelen hoger wordt. In buitengevels ligt dit ca. 10% hoger. De huidige regelgeving geeft geen aanvullende voorschriften. Deze verliezen zijn goed te voorkomen door een iets dikkere isolatielaag toe te passen. Bij vloer- en wandsystemen treedt er daarnaast reductie van transmissieverliezen op ten gevolge van verminderde warme luchtstroming langs ramen en omdat het gewenste comfort door de stalingswarmte al bij een iets lagere ruimtetemperatuur wordt bereikt. Het effect op de luchttemperatuur bedraagt circa 1°C.

Distributie- en regelverliezen

De distributieverliezen zijn voornamelijk leidingverliezen in onverwarmde ruimten die afhankelijk zijn van leidinglengte, diameter, temperatuurverschil en eventueel om de leidingen aangebrachte isolatie. Door vloer- en wandverwarmingssystemen te ontwerpen bij een zo laag mogelijke aanvoerwatertemperatuur worden de verliezen van leidingen en appendages sterk gereduceerd. De regelverliezen hebben te maken met locatie en plaatsing van thermostaat en de warmte-inhoud van het systeem. Een goede temperatuurregeling anticipeert op het zelfregelend effect van de vloer. Nachtverlaging heeft in goed geïsoleerde gebouwen geen relevant positief effect op het energieverbruik. Bij opwekkers die koelen heeft nachtverlaging een negatief effect op het energieverbruik.

Transportenergie

Voor vloer- en wandverwarming is het elektriciteitsgebruik voor transportenergie hoger door het grotere benodigde debiet en grotere leidinglengte. De langere bedrijfstijd is eigen aan het systeem en de grotere debieten zijn benodigd voor de warmtelevering.

Bij mengverdelers wordt hiervoor een extra circulatiepomp toegepast. Bij installaties met een warmtepomp wordt de watercirculatie vanuit de warmtepomp verzorgd. Uiteraard is het daarbij gewenst om de leidingweerstand te beperken door selectie van de juiste (grote) leidingdiameters. Door de toepassing van toerengeregelde pompen met gelijkstroommotoren is het extra energieverbruik marginaal.

7.2.3 Akoestische aspecten

Een zwevende dekvloer reduceert de geluidsoverdracht naar ondergelegen vertrekken. De mate van reductie van het geluid is afhankelijk van de hardheid van de toegepaste isolatie (zie tabel 7.1).

Bij lichte constructies treedt een verslechtering van de contactgeluidisolatie op en verbetert de luchtgeluidsisolatie nauwelijks. Lichte constructies in gestapelde bouw zijn om akoestische redenen niet zomaar toepasbaar.

Tabel 7.1 Kenmerkende geluidsisolatie in dB van een steenachtige, zwevende dekvloer (45 mm dik) op een betonnen draagvloer [17]

Dikte van de vloer	geëlastificeerd polystyreen		foam	
	contactgeluid	luchtgeluid	contactgeluid	luchtgeluid
150 mm	+ 4	- 2	- 2	- 3
170 mm	+ 6	0	+ 1	- 2
200 mm	+ 8	+ 2	+ 4	0
230 mm	+ 10	+ 3	+ 6	+ 2

7.2.4 Onderhoud

Bij installaties waarin de waterkwaliteit sterk verslechterd is, is het op een bepaald moment noodzakelijk het vloersysteem grondig door te spoelen om verstoppingen te voorkomen. Dit geldt voornamelijk bij installaties met stalen componenten, waarbij de toegepaste leidingen en verbindingen niet voldoende zuurstofdiffusiedicht zijn. Hierdoor treedt zuurstofrijke corrosie op (hematietvorming), wat tot dichtslibben van de installatie leidt. Het spoelen gebeurt bij voorkeur in tegenstroom van de gebruikelijke stromingsrichting van het water door de registers. Onderzoek bij een mengverdeler vooraf of deze direct voor spoelen geschikt is of dat er componenten aan de installatie moeten worden toegevoegd om goed spoelen mogelijk te maken. Wanneer een grote vervuiling of verstopping geconstateerd wordt is het raadzaam om het spoelen aan een daarin gespecialiseerd bedrijf over te laten.

7.2.5 Corrosiebestrijding

Om corrosie van stalen componenten te voorkomen moet de installatie robuust uitgevoerd worden.

Definitie van de robuuste installatie [ISSO-13]

De 'robuuste installatie' is een systeem dat, binnen de vooropgestelde levensduur en buiten het normale onderhoud, geen hinder ondervindt van corrosie, hardheidsafzetting en vervuiling die leiden tot verstoring van de goede werking of aantasting, lekkage, verstopping of falen van componenten.

Voorbeelden van robuuste installaties zijn:

- Een 'klassieke' (hoog temperatuur) verwarmingsinstallatie uitgevoerd in stalen leiding met stalen radiatoren met een goed werkend expansievat/systeem (correct drukbehoud) waar zelden of nooit water wordt bijgevuld;
- Een moderne lage temperatuur verwarmingsinstallatie die robuust is uitgevoerd met diffusiedichte kunststofleiding, gekenmerkt door onder meer de volgende eigenschappen:

- Diffusiedicht kunststof leidingsysteem dat ruimschoots voldoet aan de norm DIN 4726;
- Voldoende stevig om intredend of aanwezig zuurstof af te bouwen.

Voor robuuste installaties geldt verder dat voldaan is aan de volgende eigenschappen:

- Schoon, netjes werken en aanleg volgens de richtlijnen;
- Aandacht voor goed drukbehoud en een kwalitatief hoogstaande expansievoorziening;
- Aandacht voor een goede waterkwaliteit en minimale suppletie;
- Goed onderhoud en beheer;
- Monitoring van waterkwaliteit en werking van het systeem.

Wanneer er onverhoeds zuurstof de installatie binnendringt door een onopgemerkte afwijking in het drukbehoudsysteem, dan is de installatie niet meer robuust. Drukbehoud is essentieel tijdens alle fasen van ontwerp, realisatie en beheer.

Voor meer informatie zie ISSO-publicatie 13 [5].

BIJLAGE A KWALITATIEVE ASPECTEN VAN HET ONTWERP

A.1 INVLOEDSFACTOREN THERMISCH COMFORT

De kwaliteitseisen voor verwarming zijn:

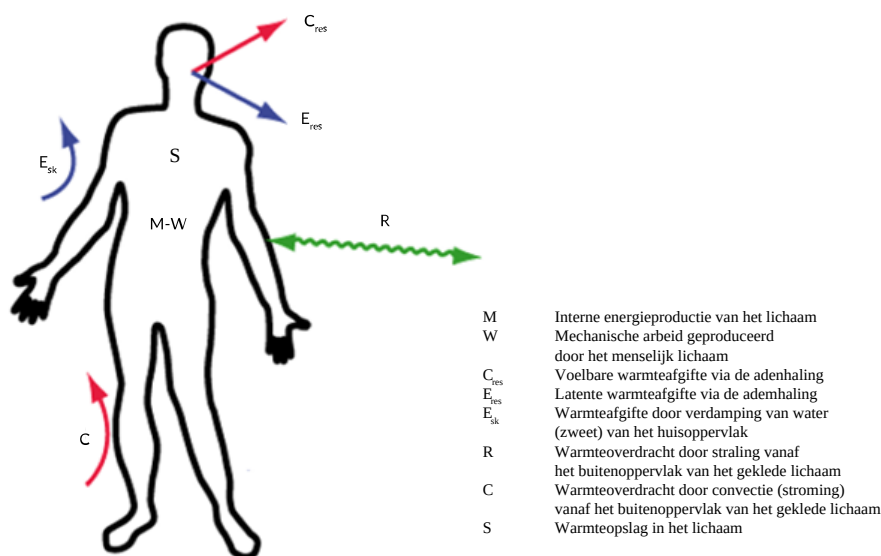
- De maximale temperatuur van vloer of wand is bij een buitentemperatuur van -10°C kleiner of gelijk aan de in paragraaf A.4 genoemde *maximale* temperatuur;
- De operationele temperatuur voldoet bij een buitentemperatuur van -10°C aan de voorgeschreven ruimtetemperatuur van die ruimte zoals aangegeven in paragraaf A.2.1.

Aan de aanvullende kwaliteitseisen wordt voldaan wanneer:

De maximale temperatuur van vloer of wand kleiner of gelijk is aan de in tabel A.3 genoemde *optimale* temperatuur en aan het genoemde in paragraaf A.7 voldaan wordt.

A.2 THERMISCHE BEHAAGLIJKHEID

Thermische behaaglijkheid houdt nauw verband met de warmtebalans van het menselijk lichaam, verbeeld in afbeelding A.1 (ISSO-publicatie 74, Thermische behaaglijkheid [15]).



Afbeelding A.1 Statische warmtebalans van de mens

Deze warmtebalans wordt in de praktijk beïnvloed door de volgende factoren:

- Luchttemperatuur, θ_a [$^{\circ}\text{C}$], van belang bij de warmteafgifte door convectie en het voelbare warmteverlies bij de ademhaling;
- Warmteweerstand van de kleding, I_{cl} [$\text{m}^2\text{K/W}$];
- Gemiddelde stralingstemperatuur, θ_s [$^{\circ}\text{C}$], van belang bij de warmteafgifte door straling;
- Luchtsnelheid, v_a [m/s], bepalend voor de convectieve verliezen en de afgifte via de zweetverdamping aan het huid- en kledingoppervlak;
- Partiële waterdampdruk, p_a [Pa], bepalend voor de verdampfingsverliezen aan het huid- en kledingoppervlak en het latente warmteverlies bij de ademhaling;
- Metabolisme, (M) [W/m^2] of totale energieproductie van het menselijk lichaam (verminderd met de verwaarloosbare uitwendige arbeid (W) [W/m^2]).

Naast deze factoren zijn er nog een aantal factoren/effecten die de thermische behaaglijkheid beïnvloeden:

- Stralingsasymmetrie (verschil in koude- of warmtestraling uit verschillende richtingen ten opzichte van het lichaam; bijv. raam-achterwand of vloer-plafond);
- Luchtsnelheid in combinatie met de luchttemperatuur (tocht);
- Fluctuaties.

Voor het beoordelen van het thermisch binnenklimaat zijn er twee grote stromingen te onderscheiden. Bij de eerste stroming zijn de modellen gebaseerd op de warmtebalans van het menselijk lichaam en bij de tweede stroming zijn de modellen gebaseerd op een adaptieve benadering waarbij externe factoren de invoerparameters vormen. Beide stromingen gaan primair over de thermische behaaglijkheid op lichaamsniveau. Daarnaast treedt thermisch discomfort op door lokale effecten die worden beschreven bij lokaal discomfort. ISSO-publicatie 74 geeft richtlijnen voor het realiseren van thermisch comfort. Deze richtlijnen worden in Nederland veel gebruikt. ISSO-publicatie 74 is een combinatie van twee hoofdstromingen in de beoordeling van het thermisch binnenklimaat; de analytische methode die de thermische behaaglijkheid berekent aan de hand van de warmtebalans van de mens en de adaptieve methode waarbij externe factoren de invoerparameters vormen. De nadruk ligt bij ISSO-publicatie 74 op de adaptieve methode. ISSO-publicatie 74 is aangewezen in BREEAM, PvE's (gezonde kantoren etc.) en WELL.

A.2.1 Operatieve temperatuur

Het menselijk lichaam is gevoelig voor de lucht- of de stralingstemperatuur en voor invloeden van beide. Het gecombineerde effect wordt gegeven door de operatieve temperatuur θ_{op} . Dit is de uniforme temperatuur van een denkbeeldige zwarte omgeving, waarin een persoon dezelfde hoeveelheid warmte zou uitwisselen door straling en convectie, als in de werkelijke niet-uniforme omgeving. De operatieve temperatuur is numeriek het gemiddelde van de lucht- en de stralingstemperatuur, gewogen met de respectievelijke warmteoverdrachtscoëfficiënten. Dit betekent dat een gelijk thermisch comfort ontstaat, wanneer een lagere luchttemperatuur gecompenseerd wordt door een hogere stralingstemperatuur en omgekeerd. Dit betekent dat bij toepassing van vloer- en wandverwarming hetzelfde thermisch comfort wordt verkregen bij een lagere luchttemperatuur dan bij andere afgiftesystemen. In de praktijk volstaat een luchttemperatuur die ca. 1,5 graden lager is dan de comforttemperatuur. De belangrijkste gevolgen van een lagere luchttemperatuur zijn:

- Lagere ventilatieverliezen;
- Een frissere lucht.

Binnenlucht wordt als frisser en minder bedompt ervaren bij een lage temperatuur en lage luchtvochtigheid. De invloed van de temperatuur is daarbij het grootst. Het verband tussen luchttemperatuur en de waardering van de luchtkwaliteit is min of meer lineair.

A.2.2 Kwaliteitseisen voor thermische behaaglijkheid op ruimteniveau

ISSO-publicatie 74 geeft vier ambitieniveaus voor het basiscomfort in de ruimte als geheel. Aangeduid met de letters A tot en met D. Afhankelijk van de situatie is de eis te kiezen voor ambitieniveau Hoog (A), Middel (B), Matig (C) of Laag (D), zie tabel A.1.

Tabel A.1 Kwaliteitsniveaus thermisch comfort volgens ISSO-publicatie 74

Klasse	Niveau	Toepassing
A	Hoog	Nieuwbouw, gevoelige doelgroep, hoge ambitie op gebied van thermisch comfort (hoog verwachtingspatroon)
B	Gemiddeld	Nieuwbouw, grootschalige renovatie, standaard doelgroep (standaard verwachtingspatroon)
C	Matig	Renovatie (basis verwachtingspatroon)
D	Laag	Bijzondere situaties; kortdurend gebruik, monumenten met beperkte klimatiseringsmogelijkheden (laag verwachtingspatroon)

De eisen voor de wintersituatie voor de verschillende kwaliteitsklassen voor de volgende parameters zijn gegeven in tabel A.2:

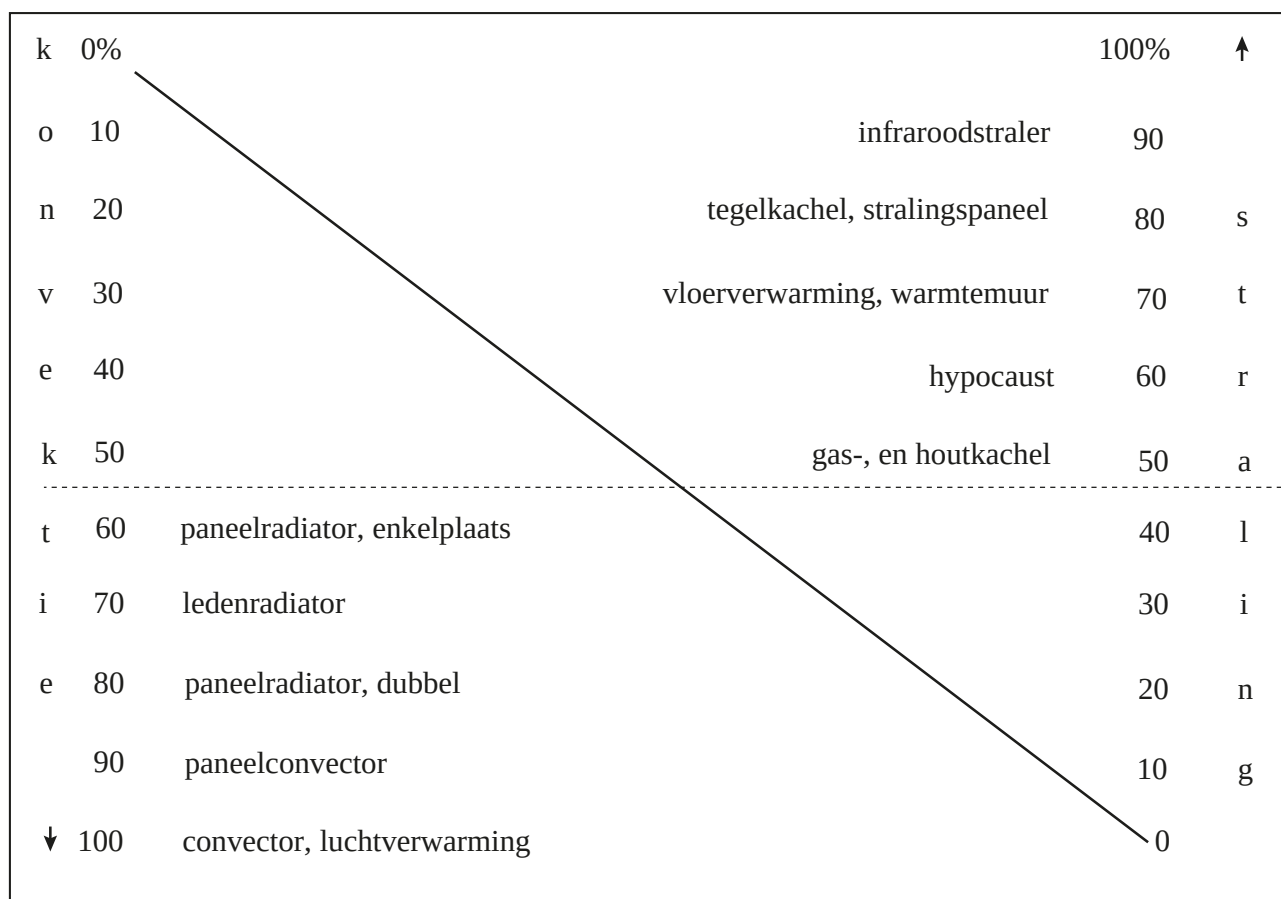
- Operatieve temperatuur θ_{op} [°C];
- Maximale luchtsnelheid $v_{a,max}$ [m/s];
- Vloertemperatuur θ_{vl} [°C] (zie paragraaf A.4);
- Verticale temperatuurgradiënt $\Delta\theta_{vert}$ [K]; Het verschil in luchttemperatuur tussen 1,1 en 0,1 m boven de vloer (niveau van het hoofd van een zittend persoon en niveau van de enkels);
- Stralingsasymmetrie (zie paragraaf A.6):
 - Plafond $\Delta\theta_{pl}$ [K]; het grootste verschil in temperatuur tussen de oppervlaktetemperatuur van het plafond en de oppervlaktetemperatuur van de tegenover liggende oppervlakte (de vloer) ($\theta_{pl} - \theta_{vl}$);
 - Wand $\Delta\theta_{wa}$ [K]; het grootste verschil in temperatuur tussen de oppervlaktetemperatuur van de wand en de oppervlaktetemperatuur van de tegenover liggende wand ($\theta_w - \theta_{w,to}$).

Tabel A.2 Eisen voor lokaal thermisch comfort volgens NEN-EN-ISO 7730 [15] en ISSO-publicatie 74

Klasse	θ_{op} [°C]	$v_{a,max}$ [m/s]	θ_{vl} [°C]	$\Delta\theta_{vert}$ [K]	$\Delta\theta_{pl}$ [K]	$\Delta\theta_{wa}$ [K]
A	20-24	0,1	19-29	2	$-14 < \Delta\theta_{pl} < +5$	$-10 < \Delta\theta_w < +23$
B	20-24	0,15	19-29	3	$-14 < \Delta\theta_{pl} < +5$	$-10 < \Delta\theta_w < +23$
C	19-25	0,21	17-31	4	$-18 < \Delta\theta_{pl} < +7$	$-13 < \Delta\theta_w < +35$

A.3 AANDEEL STRALINGSWARMTE

Wand- en vloerverwarmingssystemen hebben een relatief grote warmteoverdracht door straling. Afbeelding A.2 geeft het percentage warmteoverdracht door straling bij verschillende verwarmingssystemen.



Afbeelding A.2 Percentage warmteoverdracht door straling

Het stralingsaandeel van de warmteoverdracht loopt terug naarmate de temperatuur van het verwarmingselement (c.q. de temperatuur van de verwarmde wand) toeneemt (bij oplopende temperatuur wordt een groter deel van de toegevoerde energie omgezet in convectieve warmte, waardoor het stralingsaandeel terugloopt).

A.4 DE GEMIDDELDE OPPERVLAKTETEMPERATUUR

Vloerverwarming

De gewenste vloeroppervlaktetemperatuur hangt af van een aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn:

- Het activiteitsniveau;
- Het al of niet geschoeid zijn;
- De contactduur van voet en vloer.

De maximaal toegelaten gemiddelde vloeroppervlaktetemperatuur wordt in tabel A.2 en A.3 gegeven. De optimale vloeroppervlaktetemperatuur is die temperatuur, waarbij het aantal klachten het geringst is. Olesen heeft hier onderzoek naar verricht [11].

De maximale waarden uit tabel A.3 mogen niet overschreden worden en komen bij een goed ontwerp hoogstens voor bij ontwerpbuitencondities. Ontwerpen op basis van de optimale vloeroppervlaktetemperatuur heeft de voorkeur.

Tabel A.3 Optimale en maximale gemiddelde vloeroppervlaktetemperatuur voor diverse ruimten

Soort ruimte of toepassing		$\theta_{mv,opt}$ [°C]	$\theta_{mv,max}$ [°C]
1.	Waar men voornamelijk in beweging is (gang, overloop)	22 ¹	25
2.	Waar men langdurig nagenoeg stilstaat (keuken, strijkrumte)	23 ¹	27
3.	Waar men in hoofdzaak zit (woonkamer, slaap- of studeerkamer, kantoor)	25 ¹	29
4.	In de badkamer en andere natte ruimtes	27 ²	33
5.	Waar men nauwelijks vertoeft (vloerstroken langs koude wanden, ramen en deuren)	29 ³	35
6.	Wandverwarming	28	40

1 bij een verblijfsduur van 3 uur.

2 bij een verblijfsduur van 10 min.

3 bij een verblijfsduur van 1 min.

Wandverwarming

De oppervlaktetemperatuur van de wand mag niet boven 40°C komen. De optimale stralingsafgifte van wanden is bepaald bij een luchttemperatuur van 20°C en ligt bij een oppervlaktetemperatuur van 28°C.

A.5 DE ONGELIJKMATIGHEID VAN VLOEROPPERVLAKTETEMPERATUUR

Bij vloerverwarming met leidingen is de spreiding van de oppervlaktetemperatuur gedefinieerd als het verschil van de minimale vloeroppervlaktetemperatuur tussen de leidingen en de maximale oppervlaktetemperaturen recht boven de leidingen.

De spreiding van de vloeroppervlaktetemperatuur is onder andere afhankelijk van:

- Opbouw van het systeem (vloerconstructie en het legpatroon);
- Leidingafstand T ;
- Warmteweerstand van de vloerbedekking R_b ;
- Watertemperatuur θ_{aan} ;
- Dikte afwerkvloer S_u ;
- Isolatielaag tussen de constructie- en de dekvloer;
- Verdichtingsgraad en de λ -waarde van het beton van de dekvloer.

De spreiding neemt vrij sterk toe bij hogere watertemperaturen. Bij toepassing van een dunnere tussenisolatie (= isolatie tussen de constructie- en dekvloer) neemt de spreiding enkele tienden van graden toe. De spreiding neemt af bij toepassing van lagere watertemperaturen en een dikkere laag tussenisolatie. Door toepassing van tapijt ($R_b = 0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) op de verwarmde vloer is de spreiding ongeveer de helft van een ongeïsoleerde vloer ofwel een vloer zonder tapijt.

A.6 STRALINGSASYMMETRIE

Van stralingsasymmetrie is sprake wanneer de warmte-uitwisseling door straling van een persoon in een ruimte in verschillende richtingen sterk verschilt. Bij situaties met enkel glas was dit veelal een belangrijke oorzaak van discomfort. Door verwarmde oppervlakken met een relatief hoge temperatuur ontstaat stralingsasymmetrie.

ISSO-publicatie 74 [16] geeft dat, voor koude verticale oppervlakken (zoals ramen), de stralingsasymmetrie kleiner dan 10 K moet zijn om klachten over de thermische behaaglijkheid te

voorkomen. Dit betekent dat de oppervlaktetemperatuur van een raam minimaal 12°C moet zijn bij een gemiddelde wandtemperatuur van 22°C.

De NEN-EN-ISO 7730 [15] en ISSO-publicatie 74 geven eisen voor stralingsasymmetrie ten gevolge van verwarmde wanden, koude (gekoelde) plafonds en verwarmde vloeren. Zie tabel A.2.

Maximum waarden voor stralingsasymmetrie door verwarmde vloeren (bij vloerverwarming) zijn onbekend. In de praktijk is de maximale oppervlaktetemperatuur van een verwarmde vloer beperkt zodat afwijkende vloertemperaturen geen discomfort door stralingsasymmetrie veroorzaken. Zie ook tabel A.3.

Bij vloerverwarming is de vloer in verblijfsgebieden maximaal 29°C en is de horizontale stralingsasymmetrie zelden meer dan 9 K.

Bij wandverwarming is de wandtemperatuur in het algemeen niet hoger dan 35°C, en bedraagt de stralingsasymmetrie 15 K, ervan uitgaande dat de tegenoverliggende onverwarmde wand een oppervlaktetemperatuur heeft van rond 20°C. Van een tegenoverliggend venster mag de oppervlaktetemperatuur niet lager worden dan 12°C om niet boven de maximaal toelaatbare stralingsasymmetrie van 23 K te komen.

A.7 VOORKOMEN VAN TOCHT OP ENKELNIVEAU DOOR KOUDEVAL

Voor tocht op enkelniveau ten gevolge van koudeval bij de gevel is in tabel A.4 het percentage klagenden (PD) als functie van de glashoogte en de U -waarde van de beglazing opgenomen. In tabel A.4 zijn alleen de percentages klagenden ($PD < 20\%$) vermeld, waarmee aan de kwaliteitseisen wordt voldaan. Met de groen gekleurde combinaties ($PD \leq 10\%$) wordt aan de aanvullende kwaliteitseisen voldaan. Bij de oranje velden is het noodzakelijk randzones aan te brengen. Bij de rode velden zijn extra voorzieningen noodzakelijk om de invloed van koudeval te beperken/voorkomen. Deze extra voorzieningen betreffen niet het aanbrengen van randzones.

Glashoogte [m]	U-waarde beglazing [W/m ² .K]						
	3,2	2,8	2,4	2,0	1,6	1,2	0,9
1,0	19%	14%	10%	7%	4%	1%	0%
1,5			17%	12%	8%	4%	1%
2,0				17%	12%	7%	4%
2,5					15%	10%	6%
3,0					18%	12%	8%
3,5						14%	10%
4,0						17%	12%
4,5						19%	14%
5,0							17%

Tabel A.4 Overzicht percentage klagenden i.v.m. glaskwaliteit en raamhoogte

Soorten glas:

Enkelglas: $5,8 \text{ W/m}^2\text{.K}$

Gewoon dubbelglas: $2,8 \text{ W/m}^2\text{.K}$

HR glas: $1,9 \text{ W/m}^2\text{.K}$

HR+ glas: $1,6 \text{ W/m}^2\text{.K}$

HR++ glas: $1,2 \text{ W/m}^2\text{.K}$

HR +++glas: $\leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{.K}$

Uitgangspunten:

- Buitenluchttemperatuur: -10°C ;
- Binnenluchttemperatuur: 20°C ;
- Geen verwarmingslichamen onder ramen;
- Afstand vanuit de gevel is 1,0 m.

A.8 VOORKOMEN VAN TOCHTKLACHTEN DOOR BUITENLUCHTTOETREDING

Onder elementen in de gevel voor buitenluchttoetreding is het niet voldoende om randstroken aan te brengen om koudeval ten gevolge van koude buitenlucht te voorkomen. Hiervoor is een sterkere convectieve stroming (zoals boven een radiator) noodzakelijk.

BIJLAGE B ONTWERPMASSASTROOM VLOERVERWARMING

BEREKENINGSMETHODE

Noot: Deze ontwerpmethodiek gaat uit van inregelen op deltaT. Voor inregelen op vermogen en tijd zie bijlage K.

Voor het bepalen van de ontwerpmassastroom worden eerst een aantal hulp-variabelen uitgerekend. Dit zijn:

de warmteweerstand boven de leidingen R_o	$[m^2 \cdot K/W]$
de warmteweerstand onder de leidingen R_u	$[m^2 \cdot K/W]$
het totale afgegeven vermogen van de vloer Φ	$[W]$

Voor de warmteweerstand boven de leidingen geldt:

$$R_o = R_b + s_u / \lambda_u + 1/\alpha \quad ((B.1))$$

waarin:

R_b	=	warmteweerstand van vloerafwerking	$[m^2 \cdot K/W]$
s_u	=	dikte van de dekvloer boven de leidingen	$[m]$
λ_u	=	warmtegeleiding materiaal dekvloer	$[W/(m \cdot K)]$
α	=	overdrachtscoëfficiënt tussen vloer en lucht	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$1/\alpha$	=	0,093 (bovenzijde vloer)	$[W/(m^2 \cdot K)]$

Voor de warmteweerstand onder de leidingen geldt:

$$R_u = R_i + R_{draagvloer} + s_d / \lambda_u + 1/\alpha \quad ((B.2))$$

waarin:

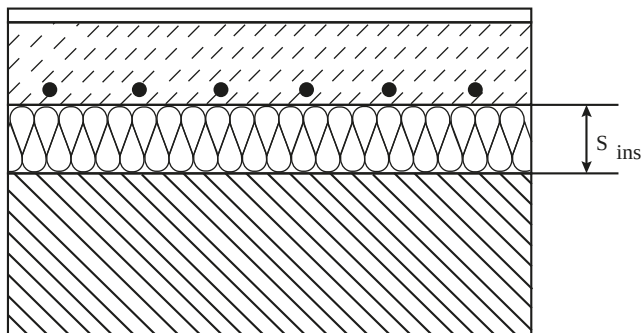
R_i	=	R-waarde van de isolatie	$[m^2 \cdot K/W]$
$R_{draagvloer}$	=	R-waarde van de constructie vloer	$[m^2 \cdot K/W]$
s_d	=	warmtegeleiding materiaal dekvloer	$[m]$
α	=	overdrachtscoëfficiënt tussen vloer en lucht	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$1/\alpha$	=	0,093 (bovenzijde vloer)	$[W/(m^2 \cdot K)]$

Wanneer de vloer aan de onderkant geïsoleerd is moet deze warmteweerstand opgeteld worden bij R_u .

In het geval de leidingen in de dekvloer liggen wordt R_i gegeven door: (zie afbeelding B.1)

$$R_i = \frac{s_{ins}}{\lambda_i} \quad ((B.3))$$

waarin s_{ins} de dikte van de isolatie is en λ_i = warmtegeleiding isolatie.



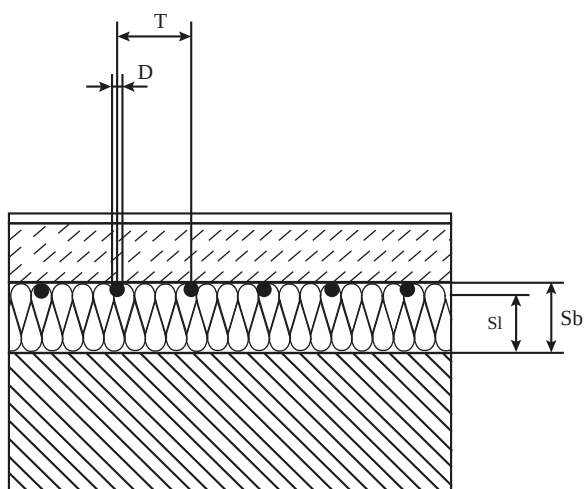
Afbeelding B.1

Voor vaste dekvloeren geldt dat $s_{ins} = 0$ en $R_i = 0$

In het geval de leidingen in de isolatie liggen wordt een effectieve dikte van de isolatie gegeven door: (zie afbeelding B.2)

$$S_{ins} = \frac{s_h \cdot (T - D) + s_l \cdot D}{T} \quad ((B.4))$$

waarin T de hartafstand en D de diameter van de leidingen is, s_h de grootste dikte van de isolatie en s_l de dikte van de isolatie op het punt onder de leiding.



Afbeelding B.2

De berekening van de totale warmteafgifte Φ :

De totale warmteafgifte Φ van de vloer in het geval dat de specifieke warmteafgifte in de randzones anders is dan in het verblijfsgebied wordt gegeven door:

$$\Phi = A_{\text{rand}} \cdot \Phi_{\text{sp,rand}} + A_{\text{gebruiksoppervlak}} \cdot \Phi_{\text{sp,gebruiksoppervlak}} \quad ((B.5)[W])$$

Met A de vloeroppervlakte in m².

Bepaling van de specifieke massastroom m_H :

$$m_H = \frac{\Phi}{\theta \cdot C_w} \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{\Phi_{\text{sp,Ru}}} \right) \quad ((B.6)[kg/s])$$

waarin:

Φ_{sp}	=	specifieke warmteafgifte van de vloer per m ²	[W/m ²]
c_w	=	soortelijke warmte van water = 4190 J/(kg.K)	[J/(kg.K)]
θ_i	=	ontwerpbinrentemperatuur	[°C]
θ_u	=	temperatuur ondergelegen ruimte	[°C]
θ	=	verschil tussen aanvoer- en retourwatertemperatuur	[K]

Per register wordt de ontwerpmassastroom berekend en vastgelegd.

BIJLAGE C ONTWERPMASSASTROOM WANDVERWARMING

Berekeningsmethode

Voor het bepalen van de ontwerpmassastroom worden eerst een aantal hulpvariabelen uitgerekend. Dit zijn:

de warmteweerstand voor de leidingen R_o	$[m^2 \cdot K/W]$	
de warmteweerstand achter de leidingen R_u	$[m^2 \cdot K/W]$	
het totale afgegeven vermogen van de wand Φ	$[W]$	

Voor de warmteweerstand voor de leidingen geldt:

$$R_o = R_b + s_u / \lambda_u + 1/\alpha \quad ((C.1))$$

waarin:

R_b	=	warmteweerstand van wandafwerking	$[m^2 \cdot K/W]$
s_u	=	dikte van de wand voor de leidingen	$[m]$
λ_u	=	warmtegeleiding wand	$[W/(m \cdot K)]$
α_w	=	overdrachtscoëfficiënt tussen wand en lucht	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$1/\alpha_w$	=	0,125	$[W/(m^2 \cdot K)]$

Voor de warmteweerstand achter de leidingen geldt:

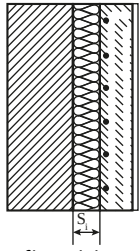
$$R_u = R_i + R_{wand} + 1/\alpha \quad ((C.2))$$

waarin:

R_i	=	R-waarde van de isolatie	$[m^2 \cdot K/W]$
R_{wand}	=	R-waarde van de constructie wand	$[m^2 \cdot K/W]$
α_w	=	overdrachtscoëfficiënt tussen wand en lucht	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$1/\alpha_w$	=	0,125	$[W/(m^2 \cdot K)]$

In het geval de leidingen in de wand liggen wordt R_i gegeven door:(zie afbeelding C.1)

$$R_i = \frac{S_i}{\lambda_i} \quad ((C.3))$$



Afbeelding C.1

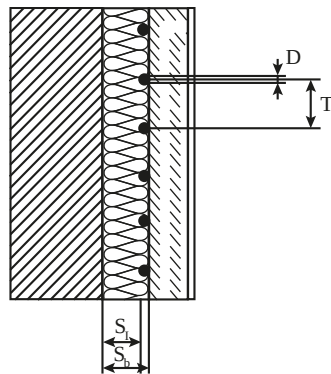
waarin s_i de dikte van de isolatie is en λ_i = warmtegeleiding isolatie.

Voor systemen waarbij er geen isolatie in de wand is aangebracht geldt: $s_i = 0$ en $R_i = 0$

In het geval de leidingen in de isolatie liggen wordt een effectieve dikte van de isolatie gegeven door: (zie afbeelding C.2)

$$S_{\text{ins}} = \frac{S_h \cdot (T - D) + S_l \cdot D}{T} \quad ((C.4))$$

waarin T de hartafstand en D de diameter van de leidingen is, s_h de grootste dikte van de isolatie en s_l de dikte van de isolatie op het punt onder de leiding.



Afbeelding C.2

De berekening van de totale warmteafgifte Φ

De totale warmteafgifte Φ van de wand wordt gegeven door:

$$\Phi = A_{\text{wand}} \cdot \Phi_{\text{sp}} \quad ((C.5))$$

Met A_{wand} de wandoppervlakte in m^2 .

Bepaling van de specifieke massastroom m_h :

$$m_h = \frac{A \cdot \Phi_{\text{sp}}}{\theta \cdot C_w} \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{\Phi_{\text{sp}} \cdot R_u} \right) \quad ((C.6))$$

waarin:

Φ_{sp}	=	specifieke warmteafgifte van de wand per m ²	[W/m ²]
c_w	=	soortelijke warmte van water = 4190 J/(kg·K)	[J/(kg·K)]
θ_i	=	ontwerpbinrentemperatuur	[°C]
θ_u	=	temperatuur naastgelegen ruimte	[°C]
θ	=	verschil tussen aanvoer- en retourwatertemperatuur	[K]

Per register wordt de ontwerpmassastroom berekend en vastgelegd.

BIJLAGE D ONTWERPMASSASTROOM VLOER- EN WANDKOELING

BEREKENINGSMETHODE

Uit de ontwerpdiagrammen voor koeling volgt het koelvermogen. Op basis van koelvermogen en verschiltemperatuur is de ontwerpmassastroom te bepalen:

$$m_h = \frac{\Phi_{\text{koel}}}{\theta \cdot C_w} \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_u - \theta_i}{\Phi_{\text{sp}} \cdot R_u} \right) \quad ((D.1))$$

In deze vergelijking is $\Phi_{(\text{koel})}$ het totale koelvermogen van de vloer/wand, θ de verschiltemperatuur bij koeling, Φ_{sp} het koelvermogen per m². De overige parameters hebben de zelfde betekenis als in bijlage B en C.

BIJLAGE E BEPALING AFGEGEVEN/OPGENOMEN VERMOGEN

Methode vergelijking verwarmings- en koelsystemen

Om verschillende verwarmings- en/of koelsystemen te evalueren en vergelijken, is het noodzakelijk om te verwijzen naar waarden die zijn bepaald met behulp van één enkele, eenduidig gedefinieerde methode. De basis hiervoor zijn de berekeningen en testmethoden voor de bepaling van het thermisch vermogen van afgiftesystemen die zijn gespecificeerd in NEN-EN 1264-2 en NEN-EN 1264-5.

Met deze methode worden door de leverancier/producent karakteristieke deellastcurven onder gedefinieerde randvoorwaarden opgezet voor die situaties waarin hun product wordt toegepast. De karakteristieken die volgens de NEN-EN 1264 zijn bepaald, geven het specifieke thermische vermogen Φ_{sp} en $\Phi_{sp,k}$ weer als functie van het verschil tussen de mediumtemperatuur voor verwarming/koeling en de binnentemperatuur.

Naast de karakteristieke deellastcurven worden de limieten van het specifieke thermische vermogen als grenscurves aangegeven. De grenscurve geeft de relatie weer tussen het specifieke thermische vermogen en het temperatuurverschil tussen het verwarmingsmedium en de ruimte voor gevallen waarin het maximaal toelaatbare verschil tussen de oppervlaktetemperatuur en de kamertemperatuur binnenshuis (respectievelijk 9 K of 15 K) wordt bereikt.

Dit betekent voor de gebruiker van deze ISSO-publicatie dat hij geen berekeningen hoeft uit te voeren en met bekende parameters uit het ontwerp het specifieke thermische vermogen uit een grafiek afleest of de benodigde hartafstand en aanvoerwatertemperatuur bepaalt. Bijgevolg bevat dit document geen waarden voor een dergelijke toepassing, noch speciale details of formules voor warmtewisselingscoëfficiënten op verwarmings- of koeloppervlakken. Beschouw berekeningen voor vloer- en wandverwarming per situatie (opbouw, afstand, etc.).

Producttesten

De test moet worden uitgevoerd door een testlaboratorium dat is geaccrediteerd volgens EN ISO/IEC 17025. Het laboratorium neemt deel aan alle onderlinge vergelijkingstests. De thermische output wordt getest door een berekeningsmethode en door een meetmethode. De berekeningsmethode is van toepassing op systemen die voldoen aan de definities in EN 1264-1 (type A, B, C, D, H, I en J). De meetmethode geeft een leidraad voor systemen die niet aan deze definities voldoen. De berekeningsmethode en de meetmethode zijn consistent met elkaar en leveren correlerende en adequate testresultaten op (bron NEN-EN 1264-2).

Opmerking:

Uiteraard mogen de uitkomsten van de berekeningen op een andere wijze gepresenteerd worden, bijvoorbeeld via een digitaal rekenprogramma, waarbij na invoering van de projectspecifieke gegevens direct het specifieke thermische vermogen wordt getoond.

In afbeelding E.1 en E.2 worden voorbeelden van dergelijke grafieken gegeven.

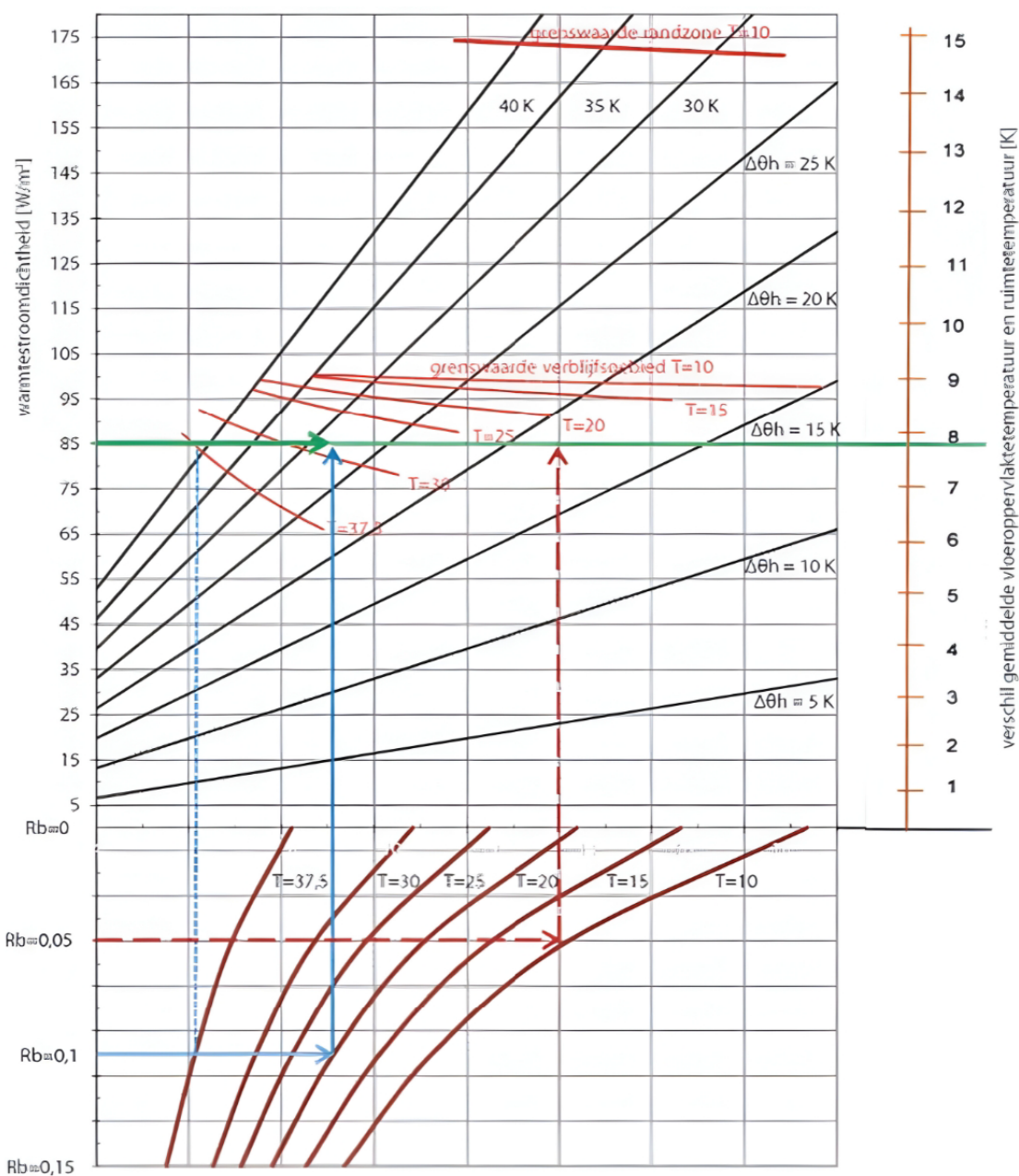
Voorbeeld afbeelding E.1

In afbeelding E.1 (bron ISSO-publicatie 49, 2004) zijn voor één specifieke vloeropbouw de karakteristieke deellastcurven weergegeven die te combineren zijn met alle hartafstanden van de vloerleidingen en warmteweerstanden van de vloerafwerking. In deze grafiek zijn de

grenswaardes aangegeven waarbij de vloertemperatuur de maximaal toelaatbare waarde bereikt.

Voorbeeld voor het gebruik van afbeelding E.1:

- Trek vanaf de specifieke warmtevraag van bijvoorbeeld 85 W/m^2 een horizontale lijn (groene lijn);
- Trek vanaf de warmteweerstand van de vloerafwerking $R_b = 0,1$ (tapijt) een horizontale lijn (blauwe lijn) tot deze een van de hart op hart afstanden T_{snijdt} ;
- Ga na of de gekozen hartafstand (in dit geval $T = 37,5$) voldoet. Doe dit door vanaf het snijpunt van de lijn $T = 37,5$ en de lijn met de warmteweerstand van de vloerafwerking verticaal omhoog te gaan tot de lijn van de specifieke warmtevraag gesneden wordt (blauwe stippellijn). Er blijkt dat we de lijn grenswaarde verblijfsgebied $T = 37,5$ (rode lijn) eerder snijden dan de lijn behorende bij de warmtestroomdichtheid van 85 W/m^2 (groene lijn). De lijn grenswaarde (rode lijn) verblijfsgebied geeft de maximum warmteafgifte wanneer de genoemde oppervlaktetemperaturen niet overschreden mogen worden. Wanneer de lijn grenswaarde (rode lijn) verblijfsgebied eerder gesneden wordt dan de lijn van de benodigde warmtestroomdichtheid (groene lijn) dan volgt hieruit dat met deze hartafstand het gevraagde vermogen niet realiseerbaar is zonder de maximaal toelaatbare vloertemperaturen te overschrijden;
- Kies een kleinere hartafstand die wel voldoet (in dit geval vanaf $T = 30 \text{ mm}$);
- Voor een gelijkmatigere warmteverdeling kiezen we voor $T = 20 \text{ mm}$ (blauwe verticale lijn met pijlpunt). Hieruit volgt een ontwerpovertemperatuur $\Delta\theta_h = 28,5 \text{ K}$.
- Ga nu verticaal omhoog tot de lijn van de specifieke warmtevraag gesneden wordt. Doe dit bijvoorbeeld voor $T = 37,5$ (stippellijn). Dan blijkt dat we, wanneer we naar boven gaan eerst de grenswaarde lijn gesneden wordt en dan pas de lijn van 85 W/m^2 . Hieruit volgt dat met deze hart op hart afstand het gevraagde vermogen niet te leveren is. Vanaf $T = 30 \text{ mm}$ (de dunne lijn) kan het wel. Voor een gelijkmatigere warmteverdeling kiezen we voor $T = 20 \text{ mm}$ (dikkere verticale lijn met pijlpunt).



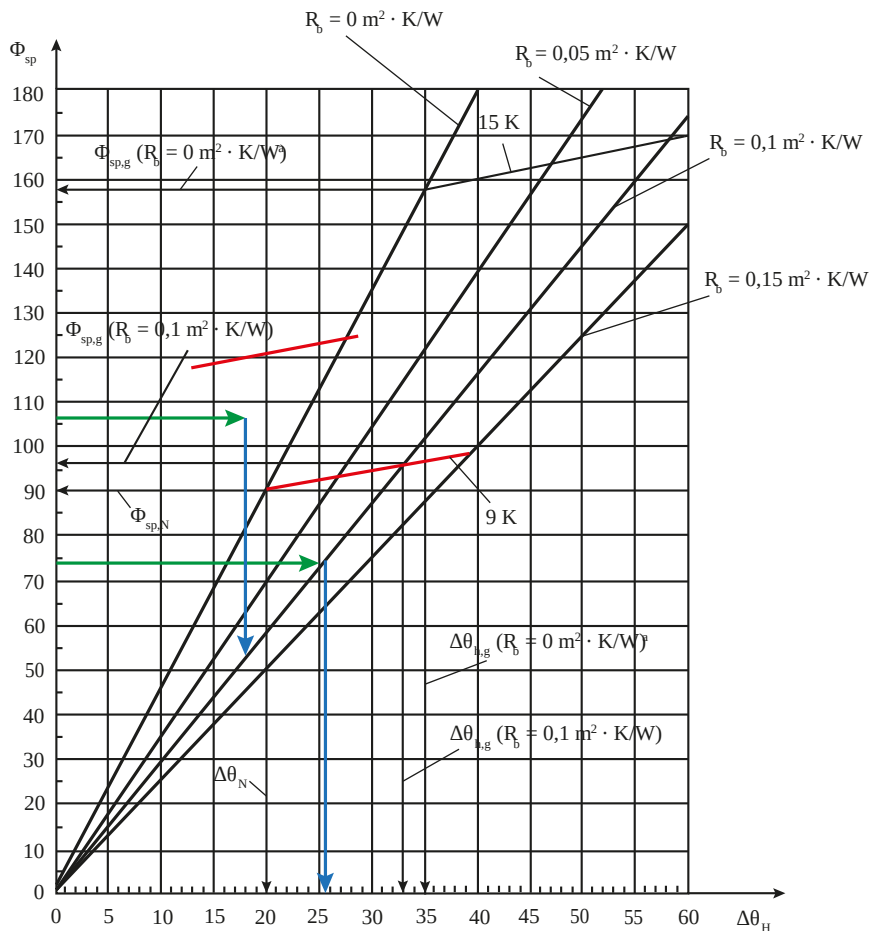
Afbeelding E.1 Voorbeeldgrafiek met karakteristieke curven en grenscurven

Voorbeeld afbeelding E.2

In afbeelding E.2 (bron NEN-EN 1264, 2021) zijn voor één specifieke vloeropbouw de karakteristieke deellastcurven weergegeven. Let op, deze grafiek geldt alleen voor één hartafstand van de vloerleidingen, voor een afwijkende hartafstand moet een andere grafiek geraadpleegd worden. In deze grafiek zijn de grenswaardes aangegeven waarbij het maximaal toelaatbare verschil tussen de oppervlaktetemperatuur en de kamertemperatuur binnenshuis (respectievelijk 9 K of 15 K) wordt bereikt.

Voorbeeld voor het gebruik van afbeelding E.2:

- Trek vanaf de specifieke warmtevraag van bijvoorbeeld 75 W/m² een horizontale lijn (groene lijn) tot deze de lijn van de vloerafwerking $R_b = 0,1$ (tapijt) snijdt;
- Controleer dat dit snijpunt beneden de grenswaarde van 9 K (rode lijn) ligt;
- Trek vanaf het snijpunt een lijn verticaal omlaag (blauwe lijn) om de ontwerpvoertemperatuur $\Delta\theta_h$ af te lezen. In dit voorbeeld $\Delta\theta_h = 26$ K.



Afbeelding E.2 Voorbeeldgrafiek met karakteristieke curven en grenscurven

De wateraanvoertemperatuur $\theta_{w,i}$ wordt bepaald door:

- Het toegestane verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur (gekozen is voor 5 K voor het meest kritische vertrek);
- Ontwerpovertemperatuur $\Delta\theta_h$;
- De ontwerpinnentemperatuur;
- De ontwerpaanvoertemperatuur volgt uit:

$$\theta_{w,i} = \Delta\theta_h + \theta_i + \theta/2 \quad ((E.1))$$

waarin:

$\theta_{w,i}$	=	ontwerpaanvoertemperatuur	[°C]
$\Delta\theta_h$	=	gemiddelde overtemperatuur	[K]
θ_i	=	ontwerpinnentemperatuur	[°C]
θ	=	verschil tussen aanvoer- en retourwatertemperatuur	[K]

Uitwerking voorbeeldgrafieken

Ingevuld voor het voorbeeld bij afbeelding E.1: $\theta_{w,i} = 28,5 + 20 + 5/2 = 51^\circ\text{C}$.

Ingevuld voor het voorbeeld bij afbeelding E.2: $\theta_{w,i} = 26 + 20 + 5/2 = 48,5^\circ\text{C}$.

Opstellen grafieken

Voor elk type vloer-, plafond- en wandsysteem moeten grafieken door de leverancier/producent worden opgesteld, waarbij rekening wordt gehouden met alle mogelijke variabelen, zoals:

- Materiaal en afmetingen van de leiding;
- Hartafstanden tussen de leidingen;
- Toegepaste onderlaag/montage (bijvoorbeeld noppenplaat);
- Dikte en warmtegeleidingscoëfficiënt van de afwerklaag boven de leiding;
- Warmteweerstand van de vloerafwerking.

BIJLAGE F BEPALING ONDERTEMPERATUUR

De bepaling van de ontwerpondertemperatuur $\Delta\theta_h$ loopt volgens onderstaande vergelijking:

$$\Delta\theta_h = + \theta_i - \theta_{w,i} + \theta/2 \quad ((F.1))$$

waarin:

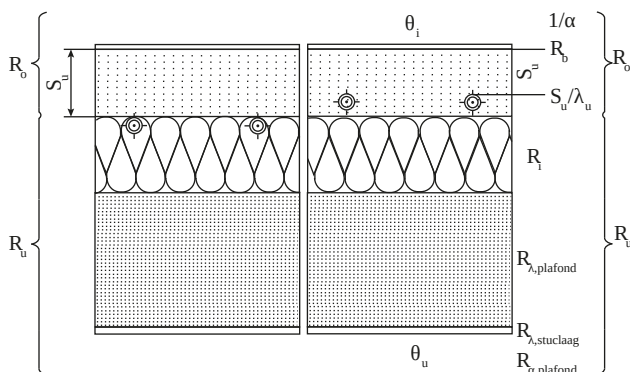
$\Delta\theta_h$	=	ontwerpondertemperatuur	[K]
θ_i	=	ontwerp binnentemperatuur	[°C]
$\theta_{w,i}$	=	ontwerpaanvoertemperatuur	[°C]
θ	=	verschil tussen aanvoer- en retourwatertemperatuur	[K]

De θ bij koeling is veel kleiner dan bij verwarming om het condensatierisico te beperken en tegelijkertijd het koelvermogen te maximaliseren. Een ontwerpwaarde van 2 of 3 K is aan te houden. Het ontwerpdebiet kan hiervoor ruim groter zijn dan bij verwarmingsbedrijf.

Bij systemen zonder dauwpuntsregeling is $\Delta\theta_h$ hierdoor beperkt tot maximaal ca. 6 K.

Bij systemen met dauwpuntsregeling is $\Delta\theta_h$ beperkt tot maximaal ca. 10 K.

BIJLAGE G NEERWAARTSE WARMTEVERLIES



Afbeelding G.1

Het neerwaartse specifieke warmteverlies van vloerverwarmingssystemen naar de ruimten onder het systeem wordt berekend met formule:

$$\Phi_{sp,u} = \frac{1}{R_u} \left(R_o \cdot \Phi_{sp} + \theta_i - \theta_u \right) \quad ((G.1))$$

waarin:

$\Phi_{sp,u}$	=	neerwaarts specifiek warmteverlies	W/m^2
Φ_{sp}	=	specifieke warmteafgifte van het vloerverwarmingssysteem	W/m^2
R_u	=	neerwaartse gedeeltelijke thermische transmissieweerstand van de vloerconstructie	$m^2 \cdot K/W$
R_o	=	opwaartse gedeeltelijke thermische transmissieweerstand van de vloerconstructie	$m^2 \cdot K/W$
θ_i	=	standaard ruimtetemperatuur van de via de vloer verwarmde ruimte	$^{\circ}C$
θ_u	=	ruimtetemperatuur van een ruimte onder de via de vloer verwarmde ruimte	$^{\circ}C$

Hierbij is het volgende van toepassing:

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda,B} + \frac{s_U}{\lambda_U} \quad ((G.2))$$

waarin:

α	=	overdrachtscoëfficiënt tussen vloer en lucht	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$1/\alpha$	=	0,093	$W/(m^2 \cdot K)$

$$R_u = R_i + R_{\lambda,plafond} + R_{\lambda,stuc laag} + R_{\alpha,plafond} \quad ((G.3))$$

en

$$R_{\alpha,plafond} = 0,17 \, m^2 \cdot K/W$$

In het speciale geval van $\theta_i = \theta_u$ wordt de eenvoudige formule toegepast:

$$\Phi_{\text{sp}, u} = \Phi_{\text{sp}} \cdot \frac{R_o}{R_u} \quad ((G.4))$$

BIJLAGE H ZELFREGELEND VERMOGEN

Algemeen

Bij plotseling optredende in- of externe warmtebelastingen (open haard, zoninstraling e.d.) neemt de warmtebehoefte van een vertrek sterk af waarbij de temperatuur van de vloer of wand niet snel kan veranderen. Door deze traagheid kan de luchttemperatuur snel oplopen. Door stijging van de luchttemperatuur daalt de warmteafgifte van de vloer of wand aanzienlijk. Deze verminderde warmteafgifte die optreedt door de stijging van de luchttemperatuur wordt het zelfregelend vermogen van de vloerverwarming genoemd. Als de plotselinge toename van de warmtebelasting kleiner is dan circa 30% van het benodigde vermogen op dat moment, dan is ten gevolge van het zelfregelend vermogen de ongewenste stijging van de luchttemperatuur nog acceptabel.

Bij systemen met een geringe massa wordt er weinig energie in de vloer- of wandconstructie geaccumuleerd en draagt de installatie weinig bij aan de ongewenste stijging van de luchttemperatuur.

Zelfregelend vermogen

Het zelfregelend effect heeft betrekking op de warmteoverdracht van het afgiftesysteem naar de ruimte. Deze warmteoverdracht wordt bepaald door het verschil in temperatuur tussen lucht en vloer of wand (overtemperatuur).

Hoe lager de aanvoertemperatuur ingesteld wordt des te lager de oppervlaktetemperatuur wordt en is de bijdrage aan een ongewenste stijging van de luchttemperatuur in het algemeen klein.

Als een vloer voor verwarmen van een ruimte op 20°C een vloertemperatuur van 24°C bereikt heeft (overtemperatuur van 4 K), neemt het afgegeven vermogen af naar 50% als de ruimtetemperatuur stijgt naar 22°C (overtemperatuur van 2 K), vooropgesteld dat door de oplopende ruimtetemperatuur de toevoer van het verwarmde water naar de vloer stopt.

Een geringe afname van de oppervlaktetemperatuur houdt een relatief grote afname van de overtemperatuur in en geeft de vloer veel minder af. Neemt de binnentemperatuur af, aannemende dat de vloertemperatuur nagenoeg constant blijft, dan neemt de warmteafgifte van de vloer overeenkomstig toe. De tabel geeft het effect voor een verandering in ruimtetemperatuur van één Kelvin. Bij een lage warmtebehoefte is het effect het grootst.

Tabel H.1 Zelfregelend effect van vloerverwarming bij een luchttemperatuur-verandering van 1 K bij een luchttemperatuur van 20°C.

Warmteafgifte [W/ m ²] bij 20°C	Vloertemperatuur [°C] bij 20°C	Verlaging warmteafgifte in % bij oplopen ruimtetemperatuur naar 21°C
80	27,3	14
40	23,9	26
20	22,1	48
10	21,1	91

BIJLAGE I LEIDINGMATERIAAL

I.1 MATERIAALKEUZE LEIDINGEN

Kenmerken

Voor wand- en vloerverwarmingssystemen worden kunststof leidingen toegepast. De meest toegepaste kunststoffen en hun voornaamste kenmerken zijn gegeven in onderstaande tabel.

Een aantal leveranciers van stadsverwarming/warmtenetten stellen specifieke eisen aan het toegepaste type leiding. Raadpleeg hiervoor altijd de voorwaarden van de betreffende leverancier.

Tabel I.1 Toegepaste kunststoffen voor vloerverwarmingsleiding met kenmerken

Benaming	Afkorting	Verwerkbaarheid	Kenmerken
Vernet polyetheen	PE-X (PE-Xa, PE-Xb, PE-Xc)	++	Uitstekende chemische weerstand
			Zeer goede mechanische eigenschappen
			Bestand tegen hoge temperaturen en piekbelastingen
Polyethyleen met verhoogde temperatuurbestendigheid	PE-RT	++	Flexibel en eenvoudig te verwerken
			Goede chemische weerstand
			Geschikt voor hoge temperaturen
Polybutyleen	PB	++	Zeer flexibel en eenvoudig te verwerken
			Goede verwerkbaarheid
			Goede mechanische eigenschappen
			Hoge weerstand tegen spanningscorrosie
Vernet polyetheen met aluminium ⁴	PE-X/Al of PE-RT/Al	++	Stijver dan PE-X en PE-RT en goed vormvast
			Goede chemische weerstand
			Geschikt voor hogere druk- en temperatuurtoepassingen

I.2 EVOH ALS ZUURSTOFBARRIÈRE EN DE OPBOUW VAN MEERLAAGSE LEIDINGEN

Voor de zuurstofdichtheid kan worden gekozen voor een aluminium laag (zoals bij PE-X/Al en PE-RT/Al) of een EVOH (ethyleenvinylalcohol) zuurstofbarrière, die wordt toegepast bij PE-X en PE-RT leidingen.

EVOH (ethyleenvinylalcohol) wordt in kunststof verwarmingsleidingen toegepast als zuurstofbarrière om te voorkomen dat zuurstof uit de omgevingslucht het systeem binnendringt. Dit helpt corrosie van metalen onderdelen, zoals pompen en leidingen, te verminderen.

4. Let op dat bij de montage met messing koppelingen de kunststof ring niet vergeten wordt c.q. goed aangebracht wordt om spanningscorrosie ten gevolge van contact tussen het messing en het aluminium in de leiding te voorkomen.

EVOH mag niet in direct contact komen met water of langdurig in een vochtige omgeving liggen, omdat het een hydrofiele stof is.

Bij blootstelling aan vocht kan EVOH:

- Zijn zuurstofbarrière-eigenschappen verliezen door opname van water;
- Mechanisch zwakker worden, wat kan leiden tot scheuren of afschilfering;
- Op lange termijn degraderen, waardoor de functionaliteit van de leiding afneemt.

Om EVOH te beschermen tegen vocht en mechanische belasting, wordt het verwerkt in een meerlaagse leidingconstructie:

Drielaagse leidingen:

- Binnenlaag: PE-RT of PE-X (waterdragende laag);
- Lijm laag;
- Buitenlaag: EVOH (zuurstofbarrière).

Risico: Bij drielaagse leidingen ligt de EVOH-laag aan de buitenkant, waardoor er een groter risico is op beschadiging tijdens transport, opslag en installatie. Een beschadigde EVOH-laag verliest zijn barrièrewerking, wat kan leiden tot versnelde corrosie in het systeem.

Vijflaagse leidingen (voorkeur):

- Binnenlaag: PE-RT, PE-X of PB;
- Lijm laag;
- EVOH-barrière;
- Lijm laag;
- Buitenlaag van PE-RT, PE-X of PB ter extra bescherming.

Voordeel: De extra lijmlagen zorgen voor goede hechting en de aangebrachte buitenlaag biedt betere bescherming tegen beschadiging. Hierdoor blijft de EVOH-laag intact en behoudt de leiding zijn zuurstofdichtheid.

1.3 KWALITEITSEISEN LEIDINGEN

De ontwerplevensduur van de leidingen moet tenminste 50 jaar zijn. De leidingen moeten beproefd zijn om als vloerverwarming toe te passen, zoals voorgeschreven is in de beoordelingsrichtlijn BRL voor het type leiding. Het BRL keurmerk moet zichtbaar op de leiding zijn aangebracht.

De leidingen die voorzien zijn van een BRL-certificering hebben een zodanig geringe zuurstoftoetreding dat in het algemeen geen bijzondere maatregelen ter voorkoming van corrosie in de installatie noodzakelijk zijn. Alleen wanneer de verhouding tussen kunststofoppervlak en metaaloppervlak erg ongunstig is (weinig metaaloppervlak) treedt in de metalen delen versneld corrosie op en zijn mogelijk aanvullende maatregelen gewenst.

Voor de BRL-certificering is de leiding met bijbehorende koppelingen getest. Gebruik altijd de koppelingen die in combinatie met de leiding worden aangeboden. Het aantal koppelingen in de leidingen moet beperkt blijven. Alleen bij een noodzakelijke reparatie mag er een koppeling in de vloer worden aangebracht. Het is niet toegestaan om een register samen te stellen uit restlengtes leiding die met koppelingen in de constructie zijn verbonden.

De meeste leidingen zijn bestand tegen een overdruk van 600 kPa. Bij hoogbouw en/of aansluiting op stadsverwarming/warmtenetten wordt vaak geëist dat de leidingen bestand zijn

tegen een hogere overdruk (1000 kPa). Tabel I.2 geeft een overzicht van de Beoordelings Richtlijnen (BRL's) die betrekking hebben op leidingen voor vloer- en wandverwarming.

Tabel I.2 Overzicht BRL's voor vloer- en wandverwarmingsleidingen.

Type verwarmingsleiding	BRL
PE-RT (PolyEthyleen Raised Temperature)	5602/5607
PE-X (crosslinked PolyEthyleen)	5603
PB (PolyButyleen)	5604
PE-X/Al (crosslinked PolyEthyleen met aluminium barrièrelaag)	5610
PE-RT/Al (PolyEthyleen Raised Temperature met aluminium barrièrelaag)	5611
PP (PolyPropyleen)	5612

I.4 WARMTEGELEIDING LEIDINGMATERIALEN

In de warmteoverdracht tussen het systeemwater en de ruimte speelt de warmtegeleiding van het leidingmateriaal een rol. Hoewel deze laag weinig invloed heeft vanwege de geringe dikte wordt deze meegenomen in de berekeningen.

Tabel I.3 Warmtegeleidingscoëfficiënten van enkele veelgebruikte materialen voor kunststof watervoerende leidingen.

Materiaal	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ_R [W/(m.K)]
PE-RT (PolyEthyleen Raised Temperature)	0,35
PB (PolyButyleen)	0,22
PP (PolyPropyleen)	0,22
PE-X (Crosslinked PolyEthyleen)	0,35
PE-X /Aluminium composietleiding	0,35 ⁵

I.5 GARANTIES

Het vloerverwarmingssysteem (leidingen, verdelers etc.) worden in het algemeen gegarandeerd door de producent/leverancier. Het aantal jaren waarop de producten gegarandeerd worden verschillen per merk. De garantie op de vloer wordt in het algemeen gegeven door de vloerenlegger. Voor woningen is er de garantieregeling van SWK/Woningborg.

I.6 BIJKOMENDE ZAKEN

Bescherm kunststof leidingen tegen zonlicht en warmte tijdens opslag en transport.

5. bij de bepaling van de totale warmteweerstand van de leiding is de bijdrage van het aluminium verwaarloosbaar.

BIJLAGE J BEPALING UITZETTING EN KRIMP VAN DE DEKVLOER

Bij calciumsulfaat gebonden dekvloeren (anhydriet) kan als gevolg van de verharding een uitzetting optreden. De mate van uitzetting bedraagt ten hoogste 0,2 mm per meter. Cementgebonden dekvloeren krimpen tijdens het uitharden. De mate van krimp is afhankelijk van de samenstelling. Hardingskrimp van zandcementvloeren is te beperken door:

- Het gebruik van een goed gegradeerd mengsel met een zo hoog mogelijke fijnheidsmodulus. Voor eenzelfde sterkte is minder cement nodig;
- Het cementgehalte niet hoger te kiezen dan noodzakelijk voor het behalen van de gevraagde sterkte en niet meer dan 400 kg/m³;
- De hoeveelheid aanmaakwater te beperken. Door het beperken van de hoeveelheid aanmaakwater blijft de uitdrogingskrimp van de dekvloer beperkt evenals de eraan gekoppelde vervorming, waaronder het schotelen.

Thermische uitzetting/krimp

Nadat de dekvloer is uitgehard en uitgedroogd tot het evenwichtsvochtgehalte zijn de vervormingen van de dekvloer hoofdzakelijk een gevolg van temperatuurveranderingen van de dekvloer. Daarnaast spelen vochtwisselingen een rol. De te verwachten thermische uitzetting van een vloerveld in een bepaalde richting is te berekenen door:

$$\Delta x = \gamma \cdot L \cdot \Delta T \quad ((J.1))$$

waarin:

Δx	=	de uitzetting	[m]
γ	=	de thermische uitzettingscoëfficiënt	[m/(m.K)]
L	=	de lengte van de vloer in die richting	[m]
ΔT	=	de temperatuurverhoging of -verlaging	[K]

Ter illustratie een voorbeeld berekening:

De ΔT van de vloer blijft in het algemeen beperkt tot 10°C. Voor een vloerveld van 7 bij 5 m² en een thermische uitzettingscoëfficiënt van ca. $11 \cdot 10^{-6}$ m/m.K is de uitzetting van het vloerveld bij een temperatuurverandering van 10°C ca. 0,77 mm in de lengterichting en ca. 0,55 mm in de breedterichting.

BIJLAGE K INREGELLEN OP VERMOGEN EN TIJD

Deze regeling bestaat uit één of meerdere vloerverwarmingsverdelers, waarvan alle groepen voorzien zijn van motorgestuurde kleppen, en een regelaar bij iedere verdeler die de kleppen open/dicht stuurt. Bij het inbedrijf stellen van de regeling wordt het vermogen per groep ingevoerd (en daarmee per zone of ruimte). Thermostaten in de verblijfsruimtes geven de gewenste temperatuur en de gemeten temperatuur door aan de regelaar. De thermostaten zijn via de regelaar gekoppeld aan de vloerverwarmingsgroepen. De regelaar berekent zo het gevraagde vermogen per ruimte en per groep. Het vermogen van de opwekker is bekend in de regelaar. Een badkamergroep is niet gekoppeld aan een thermostaat, staat tijdens verwarmingsbedrijf altijd geopend en tijdens koelbedrijf altijd dicht.

De totale vermogensvraag vanuit alle thermostaten wordt via de hoofdthermostaat aan de warmtepomp doorgegeven. Het temperatuurverschil tussen de ingestelde temperatuur en de werkelijke temperatuur in elke ruimte bepaalt, samen met het ingevoerde ontwerpvermogen (uit de ISSO-51 warmteverliesberekening) voor die ruimte, de vermogensvraag voor die ruimte. De voor elke ruimte gevraagde vermogens worden bij elkaar opgeteld en zodra er meer vraag is dan de drempelwaarde van de opwekker gaat de opwekker in verwarmingsbedrijf. Als het in totaal gevraagde vermogen onder een drempelwaarde daalt, schakelt de opwekker uit.

Van ruimtes waar warmtevraag is, worden de groepen open gestuurd. Wanneer de ruimtetemperatuur nog niet behaald is blijven de kleppen open. Als een kamer minder vermogen nodig heeft (lees: eerder op temperatuur is), sluiten voor die kamer de kleppen eerder. De groepen voor andere ruimtes die nog wel warmtevraag hebben blijven geopend. Zo krijgt iedere ruimte het benodigde vermogen. Om een ruimte op temperatuur te houden worden de kleppen periodiek geopend. De aanvoertemperatuur wordt bij deze regelstrategie niet direct gestuurd of begrensd.

Het verwarmingsvermogen van de warmtepomp kan constant zijn en aan/uit (niet modulerend). De CV-circulatiepomp hoeft niet toerengeregeld te zijn. Doordat er niet waterzijdig ingeregeld wordt, “overspoelen” groepen. Dit houdt in dat er meer volumestroom over de groep gaat dan volgens ontwerpcondities benodigd is. Wel betekent het dat er extra aandacht nodig is voor een evenredige verdeling van de debieten over de groepen. Het gevolg is dat de retourtemperatuur toeneemt en de ruimtetemperatuur (eerder) behaald wordt. De groep- of groepen van desbetreffende ruimte worden dicht gestuurd, waardoor het volledige vermogen van de warmtepomp naar een steeds kleiner aantal geopende groepen gaat.

De ΔT tussen de aanvoer- en retour wordt groter naarmate ruimten op temperatuur komen en groepen dichtlopen. Als de opwekker op het maximale vermogen draait en de retourtemperatuur in eerste instantie gelijk is, wordt de aanvoertemperatuur hoger. Dit resulteert bij de nog openstaande groepen al gauw in behoorlijk meer afgifte per m².

Als een ruimte verwarmd wordt met twee of meer groepen, stuurt de regeling die groepen onafhankelijk van elkaar aan. Bij een ruimte met 2 groepen en 50% vraag wordt elke groep de helft van de tijd steeds open gestuurd. De regeling zorgt er voor dat ruimtes met minder vraag afwisselend vermogen krijgen; de compressor van de warmtepomp heeft daardoor veel minder start/stops.

De regeling is ook toepasbaar bij een modulerende warmtepomp, waarbij het vermogen terug geregeld wordt aan de hand van de totale vermogensvraag.

Juist bij het 'normale' gebruik waarbij niet alle ruimtes 100% vermogen vragen, laat deze regeling de ruimtes die wel vermogen vragen, dat met een veel lagere aanvoertemperatuur doen dan bij een traditionele inregeling. Want de aanvoertemperatuur loopt pas op zodra het vermogen beschikbaar is voor minder geopende groepen. De regeling geeft zo een veel rustiger werking van de warmtepomp dan een systeem dat buiten de warmtepomp om groepen open en dicht zet. Bovendien is in combinatie met vloerverwarming een buffervat niet nodig.

Het is van groot belang om voor alle ruimtes uit te gaan van een hart-op-hart afstand tussen de leidingen van maximaal 15 cm. Dat houdt het rendement van de warmtepomp goed en zorgt voor meer comfort.

Via de tijdregeling zoals hierboven beschreven blijven de ruimtes die een lagere vermogensbehoefte per m² hebben op temperatuur met de lagere aanvoertemperatuur. Alleen in de situatie dat een ruimte daadwerkelijk achterblijft gaat de aanvoertemperatuur omhoog.

BIJLAGE L AANBRENGEN VLOERAFWERKING

Voor het leggen van de diverse soorten vloerafwerking gelden eisen met betrekking tot opslag en verwarming. Voor de vloerafwerking moet de dekvloer voldoende droog zijn. Het droogproces is te versnellen door het vloerverwarmingssysteem te bedienen, door meer en gericht te ventileren of door mechanisch drogen van de lucht in de ruimte. De tijd voor het droogproces is niet in te schatten, omdat deze afhankelijk is van verschillende beïnvloedende factoren. Zo stopt het droogproces zelfs volledig bij een (te) hoge luchtvochtigheid in de ruimte.

Opwarmen van de vloer, zodat deze voldoende droog is voor het aanbrengen van de vloerafwerking, behoort niet tot de taken van de installateur. Het bedrijf dat de vloerafwerking aanbrengt moet de voorwaarden stellen en hierover afspraken maken met de installateur of met de bewoner.

De droogheid van de dekvloer moet worden geverifieerd door metingen. De plaats van de metingen moet worden aangegeven op de plattegronden van het verwarmingssysteem. Er moet ten minste één meetlocatie per ruimte worden gekozen. In grotere ruimtes (>50 m²) zijn meer meetlocaties aan te bevelen.

Er moet gebruik worden gemaakt van Europese en nationale normen.

Als er geen relevante Europese of nationale normen te gebruiken zijn, worden de waarden van tabel L.1 aanbevolen.

Tabel L.1 Maximaal percentage vochtmeting van de dekvloer met behulp van de carbide-methode (CM)

Soort dekvloer	Cementgebonden dekvloeren (CT, CTF)	Calciumsulfaat dekvloeren (CA, CAF)
Maximum percentage van vocht uit de dekvloer	1,8 CM-%	0,5 CM-%
Voor andere minerale dekvloeren kan het benodigde vochtgehalte afwijken. Deze waarde moet door de fabrikant worden aangegeven.		

Houten vloerafwerking:

Het hout voor de vloer moet een aantal dagen voor de verwerking ervan in het vertrek opgeslagen worden volgens opgave van de producent.

Niet-hygroscopische houtsoorten zijn direct op de vloer te lijmen. Bij hygroscopische houtsoorten wordt dit ten stelligste afgeraden. In het algemeen geldt dat bij een houten vloerafwerking de handleiding van de fabrikant zorgvuldig gevolgd moet worden. Beperkingen ten aanzien van garanties zijn mogelijk. Informatie hierover op te vragen bij de fabrikant.

BIJLAGE M GEBRUIKERSHANDLEIDING

Temperatuur

Vloer- en wandverwarming kennen een lange opwarmtijd. Bij vloer- en wandverwarming mag de ruimtetemperatuur daarom niet te veel zakken omdat anders de opwarmtijd te lang wordt. Dit houdt in dat sterke afkoeling door het openen van ramen of deuren in een wintersituatie voorkomen moet worden. Om dezelfde reden wordt het toepassen van nachtverlaging bij vloer- en wandverwarmingssystemen afgeraden. Let op: In moderne, goed geïsoleerde gebouwen is er een groot deel van het verwarmingsseizoen slechts een geringe warmtevraag. Bij voldoende zoninstraling kan zelfs enkele dagen achtereen de ruimtetemperatuur op de gewenste waarde blijven. Hierdoor blijft de verwarming uitgeschakeld en blijft de vloer onverwarmd. Bij een vloerafwerking met een steenachtig materiaal of met PVC zijn klachten over koude voeten mogelijk.

Gaten boren/spijkeren

In verwarmde vloeren is het niet toegestaan te boren en te spijkeren.

Bij warmtewanden is niet zonder meer te boren en te spijkeren. De bewoner moet de plaatsen traceren waar de leidingen lopen. Veelal is niet de volledige wandhoogte benut voor de verwarming. Zo is het handig om bij de aanleg markeringen op de plint aan te brengen waar de leidingen lopen.

Er is tegenwoordig eenvoudige apparatuur in de handel waarmee warmwatervoerende leidingen zijn te traceren, hoewel sommigen daarvan niet goed werken bij zeer lage watertemperaturen.

Vloerafwerking

Op verwarmde vloeren zijn alle gangbare soorten vloerafwerking mogelijk. Als een maximale warmteweerstand van de toe te passen vloerafwerking aangegeven wordt, is het verstandig om deze waarde aan te houden. Aanbevolen wordt een maximale warmteweerstand (R-waarde) van $0,09 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ en bij ZLTV zelfs van $0,07 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ aan te houden. Een hogere warmteweerstand van de vloerbedekking heeft een hoge aanvoerwatertemperatuur tot gevolg en meer warmteverlies naar onderen. Daarbij wordt met een hogere aanvoerwatertemperatuur de maximale vloeroppervlaktetemperatuur van 29°C sneller bereikt.

De warmteweerstand van de vloerbedekking beïnvloedt:

- De warmteafgifte naar boven;
- Het warmteverlies naar beneden;
- De gelijkmatigheid van de vloeroppervlaktetemperatuur.

De leveranciers geven met onderstaande symbolen de geschiktheid van de vloerbedekking boven vloerverwarming aan. Dit pictogram betekent dat de vloerbedekking bestand is tegen vloerverwarming of – koeling. De isolatiewaarde bepaalt of de vloerbedekking toepasbaar is met behoud van het ontwerpcomfort in de woning.



Afbeelding M.1 Symbolen voor vloerbedekking die geschikt is voor vloerverwarming

Het linkerlogo geeft algemeen aan dat het tapijt geschikt is voor vloerverwarming. Het middelste logo geeft de warmteweerstand van het tapijt aan, hoe lager hoe beter. Het rechterlogo geeft de warmtegeleiding van het tapijt aan, hoe hoger hoe beter.



Afbeelding M.2 Symbool voor parket dat geschikt is voor vloerverwarming en vloerkoeling

Afdekken vloer

Door het afdekken van de vloer met kleden en meubilair wordt de warmteoverdracht beperkt. Daarom mag niet meer dan 30% van het vloeroppervlak in een ruimte worden afgedekt. Een grote afdekking van de vloer heeft tot gevolg dat de aanvoerwatertemperatuur hoger moet worden ingesteld om de benodigde warmteafgifte te behalen, wat nadelig is voor het rendement en energieverbruik van de installatie.

Plaatsing meubilair warmtewand

Bij plaatsing van gesloten kasten voor een warmtewand wordt de warmteafgifte beperkt. Het is aan te bevelen de wanden nabij de ramen zoveel mogelijk vrij te houden. Kasten komen minimaal een plintdikte afstand vrij van de wand. De warmte wordt dan door middel van convectie afgegeven.

BIJLAGE N VRAAGSPECIFICATIE VLOERVERWARMING/KOELING

Tijdens de ontwerpfase worden diverse keuzes gemaakt m.b.t. de eisen die door de opdrachtgever aan de kwaliteit van het verwarmingssysteem worden gesteld.

Dit vraagspecificatieblad is bedoeld om alle gemaakte keuzes over het verwarmingssysteem te specificeren en is een middel om de eisen en wensen van de opdrachtgever door te geven naar de ontwerpfase. De vraagspecificatie is gericht op woningen en is toepasbaar voor utiliteit.

Invulblad - uitgangspunten voor de berekening

Project	_____
Plaats	_____
Contactpersoon	_____
Offerte nr.	_____
Datum	_____

Algemene gegevens

Systeem toepassen voor koeling?	☐ Ja ☐ Nee
Regeling vloerverwarming	☐ Naregeling per vertrek master/master ☐ Naregeling per vertrek master/slave ☐ (Kamer) thermostaat Omschakelen tussen verwarmen en koelen: ☐ N.v.t. ☐ Handmatig op de thermostaat ☐ Automatisch op basis van de binnentemperatuur ☐ Automatisch op basis van de buitentemperatuur ☐ _____
Koudwaterleidingen in de vloer	☐ Ja ☐ Nee
Bedrijfstijd per dag	_____ uur dagbedrijf
Snelle wisselingen in de warmtelast?	☐ Ja ☐ Nee
Vloerverwarming in alle ruimten?	☐ Ja ☐ Nee, alleen in _____
Moet de vloer een (extra) bijdrage leveren aan de geluidsisolatie van de vloer?	☐ Ja ☐ Nee
Vereiste opwarm snelheid	☐ < 2 uur ☐ < 4 uur ☐ > 4 uur ☐ Geen eis ☐ _____

Bouwkundige kenmerken

Gebouw voldoet aan de nieuwbouweisen van het Besluit bouwwerken leefomgeving	☐ Ja ☐ Nee
Het betreft	☐ Nieuwbouw ☐ Renovatie
Beschikbare hoogte voor vloerwarming	_____ cm ☐ Geen beperking
Materiaal van de draagvloeren	☐ Beton ☐ Hout
Begane grondvloeren	☐ Op zand ☐ Boven kruipruimte ☐ Ongeïsoleerd ☐ Geïsoleerd; Rc = _____
Ramen in het vertrek	☐ U = _____ W/(m ² ·K) ☐ Hoogte _____ m
Vloerafwerking	☐ Niet bekend ☐ Vloerbedekking ☐ Laminaat ☐ Steen, tegels, plavuizen ☐ Parket ☐ Kurk ☐ Rc = _____ ☐ Afwerklaag: _____
Vloerwarming als	☐ Hoofdverwarming ☐ Basisverwarming
Bovenverdieping bij woning	☐ Vloerverwarming ☐ Ander verwarmingssysteem
Vereist type vloerverwarming	☐ Volgt uit systeemkeuze ☐ Natbouw ☐ Droogbouw ☐ Inslijpen/frezen
Bevestigingswijze leidingen	☐ Spijkeren ☐ Boren ☐ Tackeren op isolatie ☐ Binden op een staalnet
Ontwerpruimtetemperatuur	☐ _____ °C ☐ _____ °C ☐ _____ °C ☐ _____ °C ☐ _____ °C
Maximale aanvoerwatertemperatuur	_____ °C
Plaats verdeler	_____

Installatietechnische gegevens

Verwarmingsbron	☐ Warmtepomp ☐ CV-ketel (LT) ☐ CV-ketel (HT) ☐ Stadsverwarming ☐ _____
Regeling warmteopwekker	☐ Naregeling per vertrek master/master ☐ Naregeling per vertrek master/slave ☐ Kamerthermostaat
Regeling koeling	☐ Dauwpuntsregeling ☐ Condensbewaking ☐ Kamerthermostaat
Ventilatiesysteem	☐ Systeem A ☐ Systeem C ☐ Systeem D

LITERATUURLIJST

[1] NEN-EN 1264 deel 1-5: 2021 "Watergevulde vloer-, wand- en plafondsysteem voor verwarming en koeling", NEN, Delft, 2021.

[2] Eisen vanuit de EPBD III richtlijnen voor technische bouwsystemen in bestaande en nieuwbouw woningen en kleine utiliteit, RVO/Nieman, maart 2022.

[3] Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl), 2024.

[4] ISSO-rapport 110970, Checklist hotspots in waterleidingen, ISSO, Rotterdam, december 2024.

[5] ISSO-publicatie 13, Voorkomen van corrosie en vervuiling, ISSO, Rotterdam, oktober 2019.

[6] ISSO-publicatie 51, Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen, ISSO, Rotterdam, mei 2023.

[7] ISSO-publicatie 53, Warmteverliesberekening voor utiliteitsgebouwen met vertrekhoogten tot 4 meter, ISSO, Rotterdam, september 2024.

[8] ISSO-publicatie 57, Warmteverliesberekening voor gebouwen met hoge ruimten, ISSO, Rotterdam, oktober 2024.

[9] ISSO-publicatie 72, Ontwerpen van bodem gebonden water/water-warmtepompen in woningen, ISSO, Rotterdam, juni 2024

[10] ISSO-publicatie 98, Lucht/water-warmtepompen in woningen, ISSO, Rotterdam, mei 2024

[11] BRL K17701, Verdelers voor warmwater en gekoeld water, KIWA, Rijswijk, mei 2021

[12] NEN 2741, In het werk vervaardigde vloeren - Kwaliteit en uitvoering van cementgebonden dekvloeren, NEN, Delft, 2001

[13] NEN-EN-ISO 11855, Installatie-ontwerp voor binnenklimaat - Ontwerp, dimensionering, installatie en regeling van ingebouwde stralingswarmte- en koelingssystemen, NEN, Delft, 2023

[14] NEN-EN 13813, Dekvloermortel en dekvloeren - Dekvloermortels - Eigenschappen en eisen, NEN, Delft, 2002

[15] NEN-EN-ISO 7730, Klimaatomstandigheden - Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid, NEN, Delft, 2005.

[16] ISSO-publicatie 74, Thermische behaaglijkheid, ISSO, Rotterdam, 2024

[17] SBR-publicatie 485 Zwevende dekvloeren, SBR, Rotterdam, 2005

[18] TBA Aanbeveling 107, Gietvloeren met calciumsulfaat als bindmiddel, december 2024

COLOFON

Dit kennisproduct is opgesteld en gecontroleerd conform de procedures uit ISO 19650. Deze norm voorziet in verschillende momenten en vormen van validatie die de vastgelegde kennis ondergaat tijdens het ontwikkelproces.

Raad van Begeleiding

De werkzaamheden zijn begeleid door de Raad van Begeleiding ISSO, die tijdens het tot stand komen van deze publicatie als volgt was samengesteld:

De heer dr. ing. A.A.L. Traversari MBA	TNO Technical Sciences (voorzitter)
De heer prof.dr.ir. A.C. Boerstra	TU Delft
De heer ir. J.S. Bosch	BBVE Architecten en bouwadviseurs
De heer dr.ir. R.P. Kramer	TU Eindhoven
Mevr. ing. E. Krombeen	VABI Software B.V.
De heer M. Ligthart	Techniek Nederland
De heer drs. E.G. Rooijackers	Halmos Adviseurs B.V.
De heer ir. J.A.J. van der Velden	Kropman Installatietechniek B.V.
De heer G. Verbaan BsC	DGMR Bouw B.V.
De heer drs. ing. J.M. Verkerk	ISSO
Mevrouw dr. ir. E.E. Alders	ISSO (secretaris)
Mevrouw T. Bloeming	InstallQ (corresponderend)

Kontaktgroep

De realisatie en validatie van ISSO-publicatie 49 werd verzorgd door ISSO-kontaktgroep 111078.

Willem Bastein	Klimaatgarant
Marijn Beekman	Giesbers Installatiegroep (namens Vereniging Warmtepompen)
Peter van den Bosch	Peet Klimaatadvies
Frank Boxebeld	Willemsen Installatie
Friso van den Corput	Magnum Heating Group
Marc Heusinkveld	Robot vloerverwarming
Richard Kuiper	Thermal Comfort Systems
Jos de Leeuw	ISSO (projectcoördinator)
Rudi Maagdelijn	JK vloerverwarming
Jan Willem Smits	Orbia (Wavin)
Ruud Verbraak	Ruver advies (rapporteur)
Wim Vervoorn	DTG

Dit kennisproduct is opgesteld met financiële ondersteuning van:

