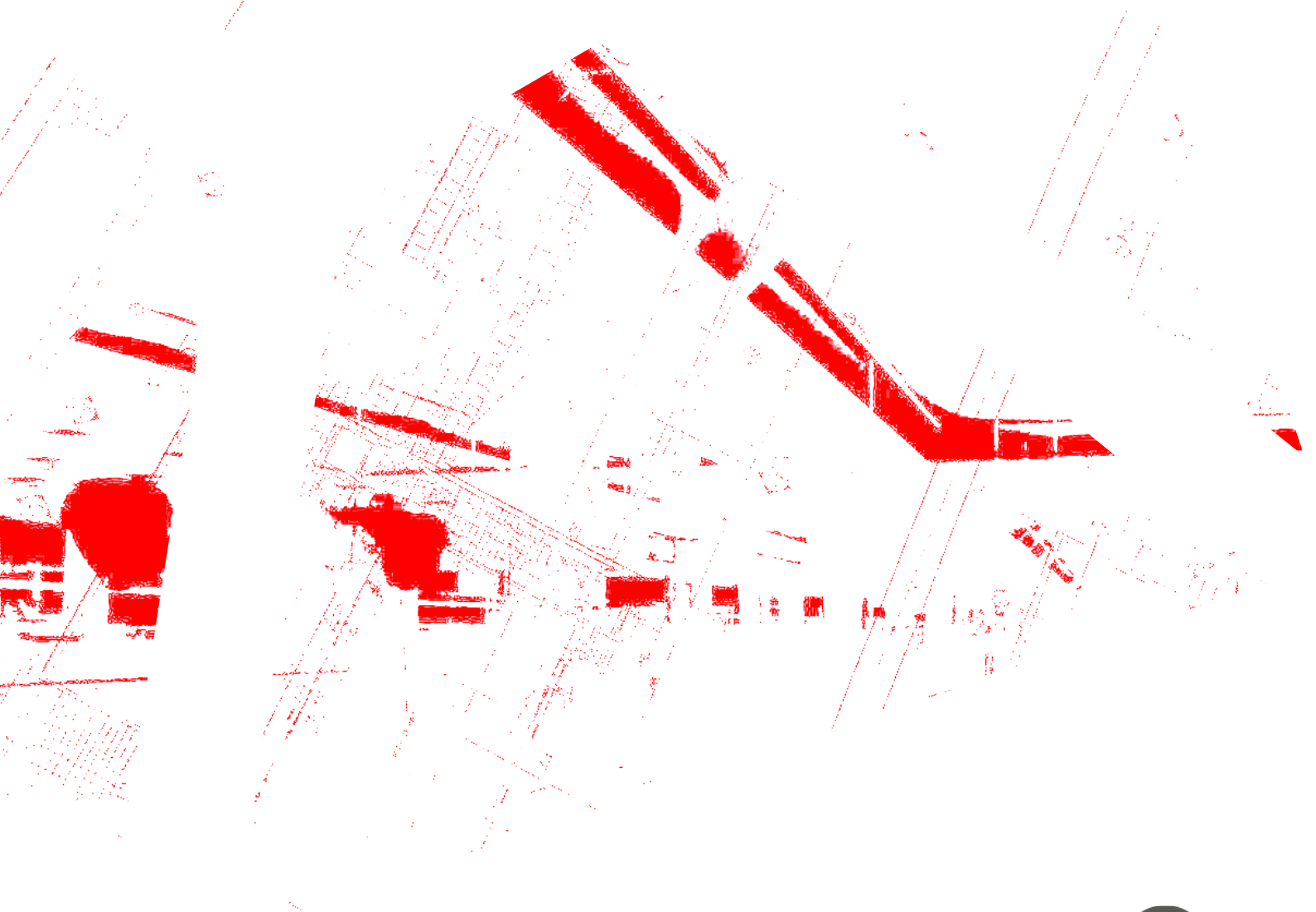




Voorstudie ST - 33

Temperatuurbeheersing in leidingschachten en meterkasten

uitgave 2013



TNO-rapport

TNO 2013 R10505

**Temperatuurb beheersing in leiding schachten
en meterkasten**

Bouw

Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
infodesk@tno.nl

Datum	april 2013
Auteur(s)	J.E. Scholten J. van Wolferen
Aantal pagina's	39 (incl. bijlagen)
Exemplaar nummer	TNO-060-DTM-2013-00894
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	

UNETO-VNI



Platform voor mens en techniek

Projectnummer	054.01644.01
Trefwoorden	Legionellapreventie Leiding schachten

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Bedrijfssituaties van de schacht.....	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Configuratie van drinkwaterleidingen en leidingen voor CV en warm tapwater in een schacht	5
2.3	Warmteafgifte leidingen voor CV en warmtapwater in schacht.....	6
2.4	Warmteafgifte schacht aan omgeving	7
2.5	Kritische warmteontwikkeling	8
2.6	Watertemperatuur aan de watermeter.....	8
2.7	Snelheid opwarming drinkwater in schacht	9
3	Variantenoverzicht.....	12
4	Ventilatie met koele lucht	15
4.1	Het koelpotentieel van buitenlucht.....	15
4.2	Ventilatie van de gehele schacht	17
4.3	Ventilatie per verdieping	18
4.4	Ventilatie per verdieping - nachtventilatie	19
5	Koelen van de schacht met gekoeldwatersysteem.....	21
6	Koeling van het drinkwater.....	22
6.1	Inleiding	22
6.2	Temperaturen in aftakkende leidingen	22
6.3	Spuien koudwater	23
6.4	Circulatieleiding met koeling in de schacht	24
6.5	Drinkwaterleiding met PCM-mantel in de schacht.....	25
7	Conclusies en aanbevelingen	27
7.1	Conclusies	27
7.2	Aanbevelingen	29
8	Referenties	30
9	Ondertekening	31
	Bijlage(n)	
	A Bepalingswijze	
	B Isolatiewaarde leidingen	
	C Nachtventilatie	

1 Inleiding

In opdracht van ISSO heeft TNO de voorstudie “Temperatuurbeheersing in leidingschachten en meterkasten” uitgevoerd voor de TVVL/UNETO-VNI.

Aangroei van de legionellabacterie wordt als een risico gezien indien de temperatuur van koud leidingwater boven 25 °C komt. De temperatuur in leidingschachten voor verwarmingsleidingen en tapwaterleidingen kan in de gestapelde bouw zodanig oplopen dat deze boven 25 °C uitkomt [10]. Dit probleem verergert naarmate men hoger in het gebouw komt en is het grootst in de zomer als de verwarmingsleidingen op temperatuur blijven ten behoeve van warmtapwaterbereiding met afleversets.

Daarom wordt aanbevolen geen drinkwaterleidingen in dergelijke warme schachten te monteren. In bestaande bouw komt het veel voor dat drinkwaterleidingen in warme schachten gemonteerd zijn en zijn eenvoudige alternatieven niet altijd voorhanden.

De warmteafgifte van verwarmingsleidingen in een schacht bedraagt circa 50 W – 75 W per verdieping bij goede isolatie van de leidingen. In het geval er een extra circulatieleiding voor warmtapwater is aangebracht zal de warmteafgifte grofweg verdubbelen. In ISSO-SBR-881 zijn een aantal maatregelen voorgesteld om de temperatuur in de leidingschacht te beheersen. Naast het zeer goed isoleren van de verwarmingsleidingen wordt voorgesteld om de leidingschacht te ventileren met een zodanige hoeveelheid koelere buitenlucht dat de warmteafgifte van de geïsoleerde verwarmingsbuis wordt afgevoerd.

In dit document is een voorstudie uitgevoerd naar verschillende oplossingsrichtingen. Hierbij is de aandacht vooral gericht op de leidingen in schachten. Op basis van deze voorstudie zal een model worden ontwikkeld om het effect van de verschillende oplossingsrichtingen in kaart te brengen.

Legionella kan zich vormen op plaatsen waar leidingwater langdurig stil kan staan en een temperatuur kan bereiken tussen 25 °C en 60 °C. Onder 25 °C zal de legionellabacterie zich niet tot hoge concentraties vermenigvuldigen, bij temperaturen boven 60 °C sterft de bacterie snel af [1, 2, 3]. In leidingschachten met geïsoleerde cv- of stadsverwarmingsleidingen, is het mogelijk dat de temperatuur zich in de bandbreedte bevindt waar het risico op Legionella aangroei groot is. Getracht moet worden dit te voorkomen.

Bescherming tegen Legionella zal zich in leidingschachten daarom moeten richten op deze twee aspecten:

- Watertemperatuur lager dan 25 °C
- Voorkomen van langdurige stilstand van het water

Dit onderzoek zal zich vooral richten op het temperatuuraspect en de mogelijkheid om dit te beheersen met ventilatie van de schacht en een aantal toegevoegde opties voor koeling van het drinkwater, waaronder het spuien van de leiding.

In het vooronderzoek wordt in eerste instantie gekeken naar een inschatting van de effecten van de verschillende varianten. Op die manier wordt getracht te kijken naar

de meest relevante effecten die moeten worden ondergebracht in het te ontwikkelen model.

Deze opdracht is begeleid door de TVVL/UNETO-VNI ST-33 projectgroep, waarin de tussentijdse resultaten tweemaal zijn besproken. Tevens zijn de concept resultaten gepresenteerd en besproken op de TVVL techniekdag op 16 november 2011. De commentaren zijn verwerkt in deze rapportage.

Samenstelling van de TVVL projectgroep ST 33

Naam	Bedrijf
Eric van der Blom	UNETO-VNI (voorzitter)
Lucien Daas	Kwekel
Arjan Dorrestein	Rehau
Ronald de Gans	Thermoplus
Rien van Herwijnen	Eneco
Rein Kleijer	Lithos
Jan Lassing (Hans Bosch)	Vitens
Oscar Nuijten	ISSO (secr)
Henk-Jan Rijnveld	Sanitair Installatie Hogendoorn BV
Walter van der Schee	Wolter & Dros / TVVL
Fred Vos	UNETO-VNI (corresponderend lid)
Henk Zieremans	ACVV BV

2 Bedrijfssituaties van de schacht

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de verschillende bedrijfssituaties die kunnen optreden in schachten met warme leidingen in kaart gebracht. Het betreft de volgende aspecten:

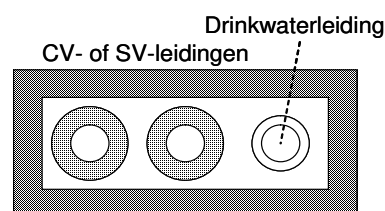
- Configuratie van drinkwaterleidingen en leidingen voor CV en warm tapwater in een schacht.
- Warmteafgifte van leidingen voor CV en warmtapwater in een schacht.
- Warmteafgifte van de schacht aan de omgeving.
- Kritische warmteontwikkeling in de schacht als gevolg van de voorgaande twee punten. Dit levert uitgangspunten op voor het dimensioneren van koeling van de schacht.
- Watertemperatuur aan de watermeter.
Dit gegeven is vereist voor het beoordelen van de zinvolheid van spuien en de vereiste waterhoeveelheden.
- Snelheid van de opwarming van drinkwater in een schacht.
Voor inzicht in de situatie en het beoordelen van de mogelijkheid van bijvoorbeeld spuien is dit gegeven vereist.

2.2 Configuratie van drinkwaterleidingen en leidingen voor CV en warm tapwater in een schacht

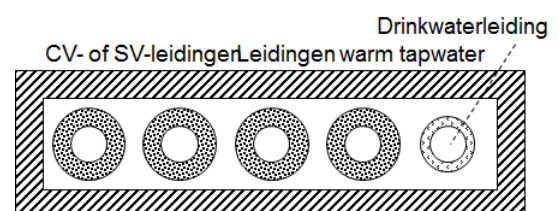
Voor de opwarming van drinkwater in een schacht met warmte leidingen zijn de volgende configuraties mogelijk:

1. Schacht met alleen CV-aanvoer en –retour of SV-aanvoer en retour (Figuur 1).
2. Schacht met CV-aanvoer en –retour of SV-aanvoer en retour en leidingen voor warm tapwater (Figuur 2).
3. Schacht met CV-aanvoer en –retour of SV-aanvoer en retour en leidingen voor warm tapwater, luchtkanalen en – aan de andere zijde - drinkwater (Figuur 3).

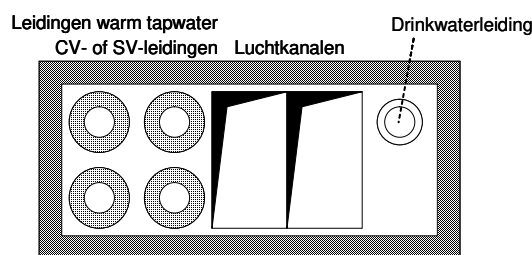
Daarnaast kan een drinkwaterleiding in een zelfstandige schacht worden geplaatst.



Figuur 1. CV- of SV-leidingen in schacht



Figuur 2. CV- of SV-leidingen en leidingen circulerend warm tapwater in schacht



Figuur 3. CV- of SV-leidingen en leidingen warm tapwater in één schacht met luchtkanalen en – aan de andere zijde - drinkwater

In deze studie worden de eerste twee configuraties behandeld. De andere configuraties zijn varianten op een drinkwaterleiding in een zelfstandige schacht. Hiervoor kan de temperatuur vrij eenvoudig worden bepaald op basis van de temperatuur van de omringende ruimten. Indien de temperatuur in de omringende ruimten onder 25°C ligt zal de temperatuur in de schacht en het drinkwater niet structureel boven 25°C liggen.

2.3 Warmteafgifte leidingen voor CV en warmtapwater in schacht

De warme leidingen die in de schacht lopen geven warmte af waardoor de temperatuur in de schacht kan oplopen tot boven de 25 °C. Er worden twee situaties onderscheiden:

1. één gezamenlijke aanvoer- en retourleiding voor cv en de productie van warmtapwater met een afleverset, zoals in stadsverwarming;
2. gescheiden leidingsystemen voor cv (aanvoer- en retourleiding) en warmtapwater (aanvoer- en circulatieleiding).

Er wordt vanuit gegaan dat in situatie 1 de leidingen zowel in de winter als in de zomer warm worden gehouden. In situatie 2 wordt ervan uitgegaan dat de cv leidingen alleen in de winter warm zullen zijn en dat de circulatieleiding voor warmtapwater zowel in de winter als in de zomer warm zullen zijn.

Er wordt vanuit gegaan dat zowel de aanvoer- als retourleiding van cv water als circulatieleiding voor warmtapwater geïsoleerd is met 20 of 25 mm isolatie. In praktijk worden ook grotere isolatiediktes toegepast; de warmteafgifte neemt daardoor met maximaal 20% af. Voor de isolatiewaarde van de geïsoleerde leidingen worden de waarden volgens waterwerkblad 4.4.A gehanteerd (zie bijlage B). Voor de verdiepinghoogte wordt 3 m aangehouden.

De resulterende warmteafgifte per leidingpaar (P_l 2x) is hieronder gegeven voor enige varianten in diameter, isolatie en schachttemperatuur. De bepalingwijze is uitgewerkt in bijlage A.1.

	20 mm isolatie – 20 °C			25 mm isolatie – 20 °C			25 mm isolatie - 24 °C		
d_{in} [mm]	26	32	39	26	32	39	26	32	39
d_{uit} [mm]	28	35	42	28	35	42	28	35	42
Isolatie [mm]	20	20	20	25	25	25	25	25	25
U [W/m.K]	0,219	0,253	0,287	0,194	0,223	0,251	0,194	0,223	0,251
$T_{leiding}$ [gr.C]	70			70			70		
$T_{schacht}$ [gr.C]	20			20			24		
P_l [W]	32,9	38,0	43,1	29,1	33,5	37,7	26,8	30,8	34,6
P_l 2x [W]	65,7	75,9	86,1	58,2	66,9	75,3	53,5	61,5	69,3
Effect [%]				11%	12%	13%	8%	8%	8%
t.o.v.	n.v.t.			20 mm isolatie – 20 °C			25 mm isolatie - 20 °C		

Tabel 1. Warmteverlies leidingen in schacht per verdieping

Hieruit blijkt een afgegeven warmte van ca. 75 W per verdieping (P_l 2x) voor een warm leidingpaar en 150 W per verdieping voor twee warme leidingparen. De laatste situatie komt alleen voor in de winter. Deze warmteafgifte is slechts in beperkte mate afhankelijk van de temperatuur in de schacht, zolang deze tussen ca. 20 en 30 °C ligt.

Warmteafgifte in W	winter	zomer
cv-leidingen continue hoge temperatuur	75	75
cv-leidingen stooklijn op warmwater aanvoer- en circulatieleiding	150	75

Tabel 2. Warmteafgifte geïsoleerde warme leidingen in schacht per verdieping.

2.4 Warmteafgifte schacht aan omgeving

Tussen de schacht en de omringende ruimten treedt warmte-uitwisseling op door transmissie door de wand. Om een indruk te geven van de grootte van deze post is voor de volgende gegevens de warmteafgifte bepaald:

- schacht van 0,5 x 0,5 m, wat een buitenomtrek van 2 m oplevert;
- $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (100 mm dikke schachtwand – grindbeton, verdicht, ongewapend) – varianten zijn o.a.
 - $U = 0,89 - 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (lichtbeton met oplopende soortelijke massa)
 - $U = 2,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ (kalkzandsteen 105 mm dik)
 - $U = 1,86 - 2,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ (metselbaksteen)
 - $U = 1,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ (gipsblokken 100 mm)

Hierbij is in dit voorbeeld van twee verschillende schachttemperaturen uitgegaan:

- 24 °C – als de schacht net onder 25 °C wordt gehouden;
- 30 °C – als de schacht de warmte alleen via warmteafgifte aan de omgeving kwijt kan.

Hierbij zijn vier ruimtetemperaturen aangehouden. De bepalingswijze is uitgewerkt in bijlage A.2.

Variant	24/20	24/22	24/24	24/26	30/20	30/22	30/24	30/26
$T_{\text{schacht}} [^{\circ}\text{C}]$	24	24	24	24	30	30	30	30
$T_{\text{ruimte}} [^{\circ}\text{C}]$	20	22	24	26	20	22	24	26
$P_{\text{tr,S}} [\text{W}]$	67	34	0	-34	168	134	101	67

Tabel 3. Warmteafgifte schacht bij een wand met $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Hieruit blijkt dat in dit voorbeeld bij een ruimtetemperatuur van 20°C de schacht vrijwel de gehele warmteafgifte van 75 W , die in drie van de vier situaties optreedt, kan ondervangen bij een schachttemperatuur van 24°C . Overigens kan de afgifte aanzienlijk lager uitvallen als de buitenwand een aanzienlijk lagere U -waarde heeft.

Bij hogere ruimtetemperaturen, zoals in zorginstellingen en in alle gebouwen in de zomersituatie, zal de warmteafgifte nihil of zelfs negatief zijn, wat neerkomt op een verhoging van het vermogen dat aan de schacht wordt afgegeven. In die situaties zal, zonder verdere maatregelen, de temperatuur in de schacht oplopen. In het rechterdeel van Tabel 3 is ter oriëntatie aangegeven hoeveel warmte de schacht afgeeft bij een schachttemperatuur van bijvoorbeeld 30°C .

2.5 Kritische warmteontwikkeling

Er zijn twee mogelijke bedrijfssituaties die voor kritische warmteontwikkeling kunnen zorgen:

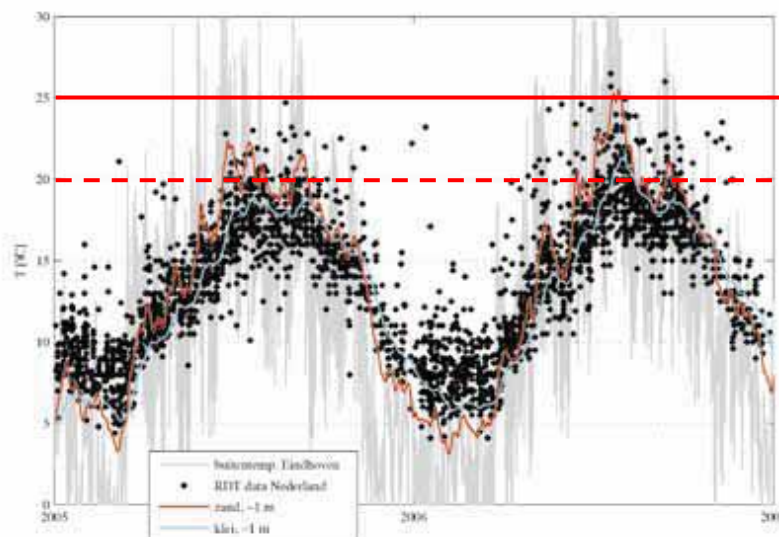
1. In de zomersituatie kan er warmteontwikkeling in de schacht zijn als gevolg van de warmtedistributie ten behoeve van warmtapwater. Rekening dient te worden gehouden met ca. 75 W warmteafgifte per verdieping, zoals bepaald in 2.3. Dit dient in de meeste situaties te worden vermeerderd met ca. 35 W (wegens de warmteafgifte door de warme omringende ruimten aan de schacht, zoals bepaald in 2.4 bij $T_{\text{schacht}} = 24^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ruimte}} = 26^{\circ}\text{C}$), waarmee de totale warmteafgifte per verdieping 110 W bedraagt.
2. In de wintersituatie kan de warmteafgifte in de schacht oplopen tot 150 W per verdieping indien er gescheiden cv-leidingen en warmtapwaterleidingen in de schacht zijn aangebracht, zoals bepaald in 2.3.
Bij een ruimtetemperatuur van 20°C wordt hiervan maximaal 70 W via transmissie weer afgegeven, zoals bepaald in 2.4, waardoor een totale warmteproductie van 80 W optreedt.
In zorgcomplexen en andere gebouwen met een hogere binnentemperatuur zal de warmte-uitwisseling met omliggende ruimten nihil zijn, waardoor de totale warmteproductie 150 W bedraagt.

2.6 Watertemperatuur aan de watermeter

Voor de ontwikkeling van de watertemperatuur in de schacht en de mogelijkheid om deze onder 25°C te houden is de ingaande watertemperatuur aan de watermeter van belang.

Volgens het Drinkwaterbesluit en NEN 1006 mag de temperatuur van het water in het leidingnet niet hoger zijn dan 25°C . Volgens een recente publicatie [9] wordt die temperatuur bijna volledig bepaald door de temperatuur van de bodem waarin de leidingen zich bevinden: het water verblijft namelijk zo lang in het leidingnet dat het de bodemtemperatuur aanneemt. De bodemtemperatuur wordt bepaald door de buitentemperatuur, de straling van de zon en een combinatie van de

warmtegeleiding en -capaciteit van de bodem. In warme jaren, zoals 2006, kan de watertemperatuur gedurende enkele dagen boven 25 °C stijgen. Als gevolg van klimaatverandering kan dit vaker gaan optreden [bewerkt citaat uit 9].



Figuur 4. Gemodelleerde bodemtemperatuur op 1 m diepte in zand- en kleigrond (KNMI-uurwaarde van Eindhoven) en de gemeten temperatuur aan de tap in random daytime (RDT)-monsters. [overgenomen uit 9]

Dit wordt geïllustreerd in Figuur 4. Hieruit blijkt dat in een warme zomer, zoals in 2006, de watertemperatuur incidenteel tot boven 25 °C stijgt. In zomerse perioden zal de watertemperatuur regelmatig waarden boven 20 °C bereiken.

Dit betekent dat ook in situaties waarin geen ongewenste opwarming van drinkwater in het gebouw optreedt het drinkwater incidenteel warmer dan 25 °C kan zijn in zomerse perioden.

Het betekent ook dat gedurende het grootste deel van het jaar het koelend effect van drinkwater zelf gebruikt kan worden.

2.7 Snelheid opwarming drinkwater in schacht

In de situaties met kritische warmteontwikkeling kan de temperatuur in de schacht oplopen tot boven 25 °C. Hierdoor zal een in de schacht aanwezige drinkwaterleiding opwarmen tot boven 25 °C als lange tijd niet getapt wordt. Een indicatie van de looptijd voor opwarming is hieronder gegeven voor een koperen leiding voor de volgende varianten (de bepalingswijze is uitgewerkt in bijlage A.3):

- schachttemperatuur van 26, 28 of 30 °C;
- ingaande drinkwatertemperatuur van 10 of 20 °C;
- diameters 22/20, varianten 28/26 en 15/13;
- 20 mm isolatie, varianten geen isolatie, 10 mm (9 mm is een veelgebruikte isolatie rond drinkwater om condensatie te voorkomen) en 35 mm (zoals aanbevolen in de nieuwe versie van ISSO 55 – nog in voorbereiding); de resulterende isolatiewaarde is volgens waterwerkblad 4.4.A (zie bijlage B) of volgens de concept ISSO 55 (voor 35 mm).

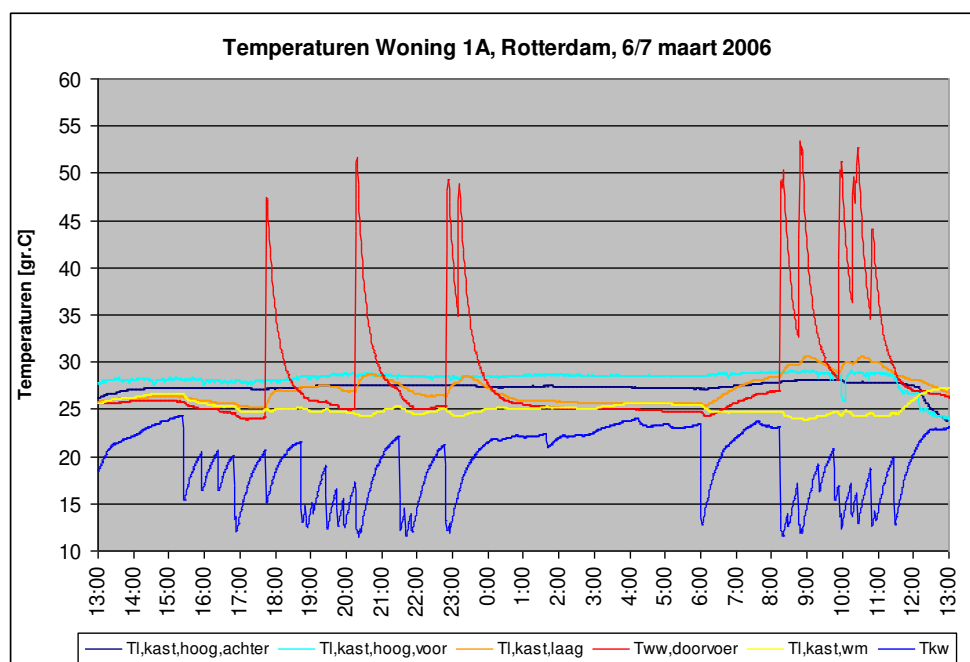
Variant	22/20 - 20 mm isolatie			22/20 - 10 mm isolatie			22/20 - geen isolatie		
T _{w,in} [°C]	20			20			20		
T _{w,grens} [°C]	25			25			25		
d _{in} [mm]	19,8			19,8			19,8		
d _{uit} [mm]	22,0			22,0			22,0		
U _{spec} [W/m.K]	0,189			0,271			0,728		
T _{schacht} [°C]	26	28	30	26	28	30	26	28	30
Looptijd [uur:min]	4:10	2:20	1:40	2:50	1:40	1:10	1:10	0:40	0:30
Variant	22/20 - 20 mm isolatie			28/26 - 20 mm isolatie			15/13 - 20 mm isolatie		
T _{w,in} [°C]	10			20			20		
T _{w,grens} [°C]	25			25			25		
d _{in} [mm]	19,8			28,0			13,0		
d _{uit} [mm]	22,0			25,6			15,0		
U _{spec} [W/m.K]	0,189			0,219			0,154		
T _{schacht} [°C]	26	28	30	26	28	30	26	28	30
Looptijd [uur:min]	6:20	4:10	3:10	5:10	2:50	2:00	2:20	1:20	1:00
Variant	22/20 - 35 mm isolatie			28/26 - 35 mm isolatie			15/13 - 35 mm isolatie		
T _{w,in} [°C]	20			20			20		
T _{w,grens} [°C]	25			25			25		
d _{in} [mm]	19,8			28,0			13,0		
d _{uit} [mm]	22,0			25,6			15,0		
U _{spec} [W/m.K]	0,15			0,17			0,12		
T _{schacht} [°C]	26	28	30	26	28	30	26	28	30
Looptijd [uur:min]	5:10	2:50	2:00	6:40	3:40	2:40	3:00	1:40	1:10

Tabel 4. Looptijd waarin een koude koperen drinkwaterleiding in een warme schacht opwarmt tot de grenstemperatuur.

Uit de tabel blijkt o.a.:

- een 20 mm geïsoleerde leiding met ingaande drinkwatertemperatuur van 20 °C warmt in ca. 2 - 4 uur (afhankelijk van de diameter) op tot boven 25 °C bij een schachttemperatuur van 26 °C; bij een schachttemperatuur van 30 °C verloopt de opwarming in ca. 1 - 3 uur;
- een 10 mm geïsoleerde leiding warmt in ca. 2/3 van deze tijd op tot boven 25 °C;
- een 35 mm geïsoleerde leiding warmt in ca. 1,25 van deze tijd op tot boven 25 °C;
- een niet geïsoleerde leiding warmt binnen een uur op tot boven 25 °C;
- een leiding met kleine diameter warmte sneller op dan een leiding met grote diameter (vergelijk 15/13 vs 22/20 vs 28/26 met 20 mm isolatie – factor 2 tussen leiding met kleinste en grootste diameter);
- een lage ingaande drinkwatertemperatuur (10 °C i.p.v. 20 °C) levert een verlenging van de opwarmtijd op met een factor 1,2 - 1,8 – het effect hiervan wordt sterker bij een hogere schachttemperatuur.

Ter illustratie is hieronder het resultaat van een praktijkmeting opgenomen, waarbij een niet-geïsoleerde drinkwaterleiding in een meterkast in een woning opwarmt. In de hier getoonde 24-uurs meting is duidelijk te zien dat het drinkwater in ca. 1 uur opwarmt van ca. 12 °C naar de eindwaarde van ca. 23 – 24 °C.



Figuur 5. Voorbeeld van de opwarming van een niet-geïsoleerde drinkwaterleiding in een meterkast in een woning. De blauwe lijn is de temperatuur van het drinkwater, de gele lijn de temperatuur in de meterkast ter hoogte van de waterleiding. De opwarming verloopt in ca. 1 uur [bewerkt materiaal uit 10].

De resultaten illustreren de noodzaak om de schacht onder 25 °C te houden. Hiertoe dienen de hiervoor bepaalde vermogens te worden weggekoeld. Anders zijn andere maatregelen vereist om ongewenste opwarming van drinkwaterleidingen in de schacht te voorkomen.

3 Variantenoverzicht

In dit hoofdstuk worden de verschillende varianten besproken om de drinkwatertemperatuur in schachten te beheersen. Hiervoor zijn twee richtingen gevolgd:

1. Koeling van de schacht
 - a. Ventilatie met koele lucht.
 - i. Gehele schacht (Figuur 6A).

Dit is alleen mogelijk als de vloeren in de schacht open zijn. In veel gebouwen zijn de vloeren echter gesloten wegens brandveiligheid. De koeling kan gebeuren met onbehandelde buitenlucht die bij voorkeur vanuit de noordgevel wordt toegevoerd (continu of als nachtventilatie) of met buitenlucht die via een “grondbuis” wordt voorgekoeld.
 - ii. Per verdieping (Figuur 6B).

Dit is een mogelijkheid voor gebouwen met gesloten vloeren in de schacht. De koeling kan gebeuren met buitenlucht die bij voorkeur vanuit de noordgevel wordt toegevoerd (continu of als nachtventilatie). Per verdieping zijn dan een aanvoer- en afvoerkanaal vereist. Waar van toepassing kan dit worden gecombineerd met de ventilatie / vrije koeling van de centrale hal waarin de schachten en meterkasten staan opgesteld.
 - b. Koelen van de schacht met gekoeldwatersysteem (Figuur 7A).

Dit gekoeldwatersysteem wordt bijvoorbeeld gevoed met vrije koeling uit een aquifer of een warmtewisselaar in de bodem. Dit is vooral voor de hand liggend als een dergelijk systeem reeds aanwezig of voorzien is voor gebouwkoeling.
2. Koeling van het drinkwater.
 - a. Spuien (Figuur 7B).

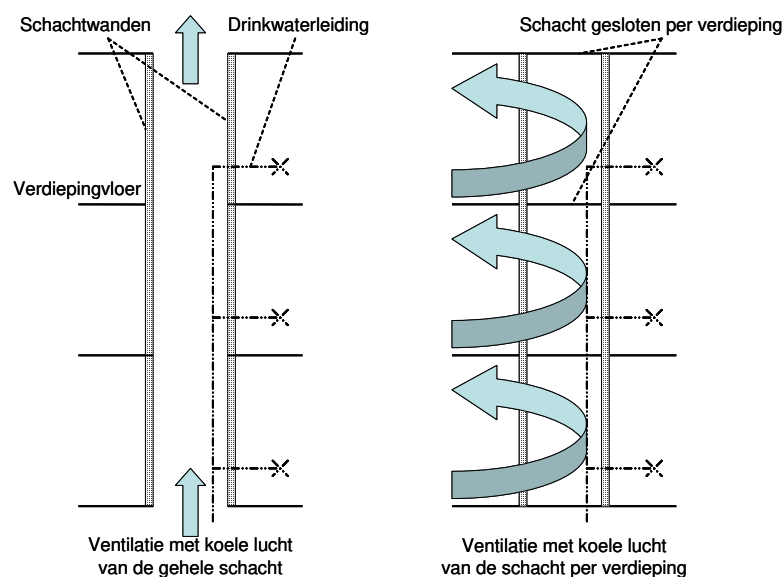
Op één of meer plaatsen wordt een temperatuursensor geplaatst in de drinkwaterleiding in de schacht. Zodra de drinkwatertemperatuur boven de ingestelde waarde van 24 à 25°C komt wordt de spui klep op de bovenste verdieping geopend en de leiding doorstroomd met koud drinkwater.
 - b. Circulatieleiding met koeling in de schacht (Figuur 8A).

Dit is een koele variant op de bekende circulatiesystemen met warmwater. Nu wordt (bij voorkeur buis-in-buis) een circulatiesysteem aangelegd, waarbij een koeler geplaatst wordt die temperatuur gestuurd wordt in- en uitgeschakeld.

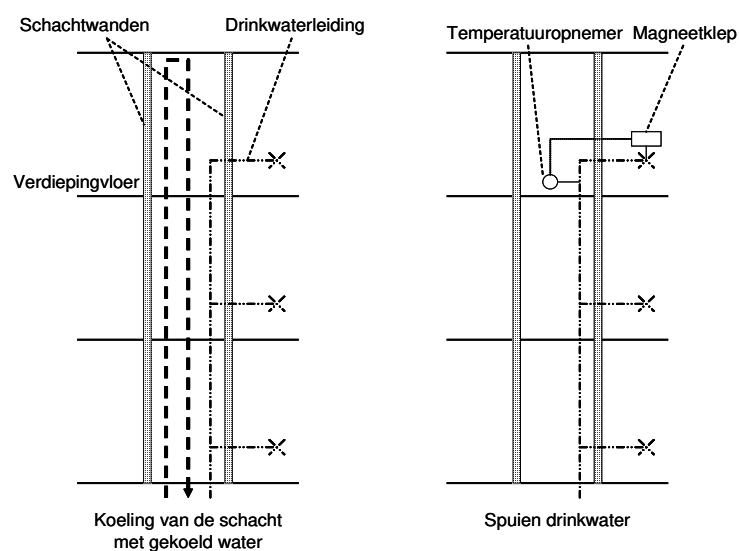
Deze koeler kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, bijvoorbeeld als een warmtewisselaar waarbij een gekoeldwatersysteem als koudebron benut wordt.
 - c. Drinkwaterleiding met PCM-mantel in de schacht (Figuur 8B).

Uitgangspunt is dat een faseovergangsmateriaal (PCM) beschikbaar is met een smelttraject tussen 20-24 °C. Als dit materiaal rond de drinkwaterleiding wordt gemonteerd kan de PCM gedurende dagbedrijf, als volop water getapt wordt en de leiding keer op keer met koud drinkwater wordt gevuld, wordt geladen met koude en geheel is gestold. Gedurende de nacht smelt het PCM gedeeltelijk door de warmtetoevoer uit de schacht, maar blijft het drinkwater onder 25 °C.

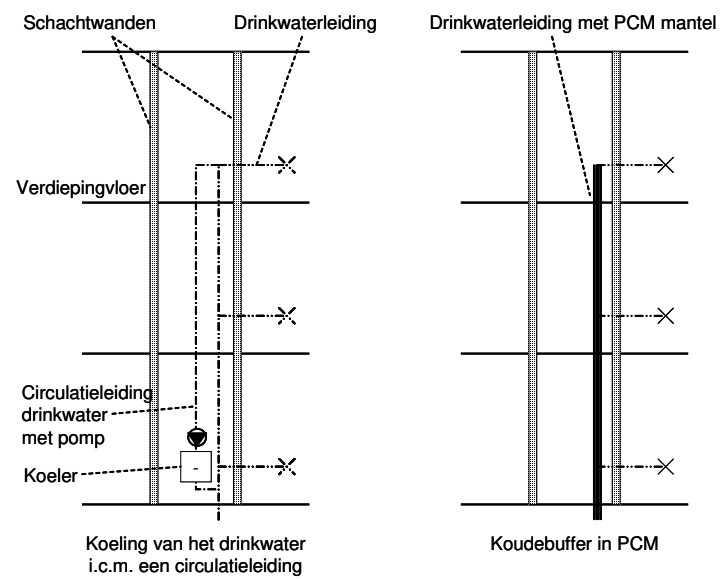
Bij koeling van de schacht ontstaat een situatie waarbij aangrenzende meterkasten niet opgewarmd worden door de te warme schacht. Bij koeling van het drinkwater kan de schacht een temperatuur boven 25 °C bereiken. De scheidingswand met aangrenzende meterkasten (en andere ruimten, zoals een centrale hal) dient dan te worden geïsoleerd om ongewenste opwarming van de meterkast te voorkomen.



Figuur 6. Koeling warme schacht door ventilatie - varianten A. voor gehele schacht en B. per verdieping.



Figuur 7. A. Koeling warme schacht met gekoeld water – B. Koel houden drinkwater door spuien



Figuur 8. Koel houden drinkwater door A. circulatesysteem (bij voorkeur buis-in-buis) met koeling of B. toepassing PCM

4 Ventilatie met koele lucht

4.1 Het koelpotentieel van buitenlucht

Om een eerste indruk te krijgen van de vereiste ventilatiehoeveelheden is de warmtestroom P_{vent} bepaald als functie van de ventilatiehoeveelheid en het momentane temperatuurverschil tussen schacht- en buitentemperatuur (de bepalingwijze is uitgewerkt in bijlage A.4).

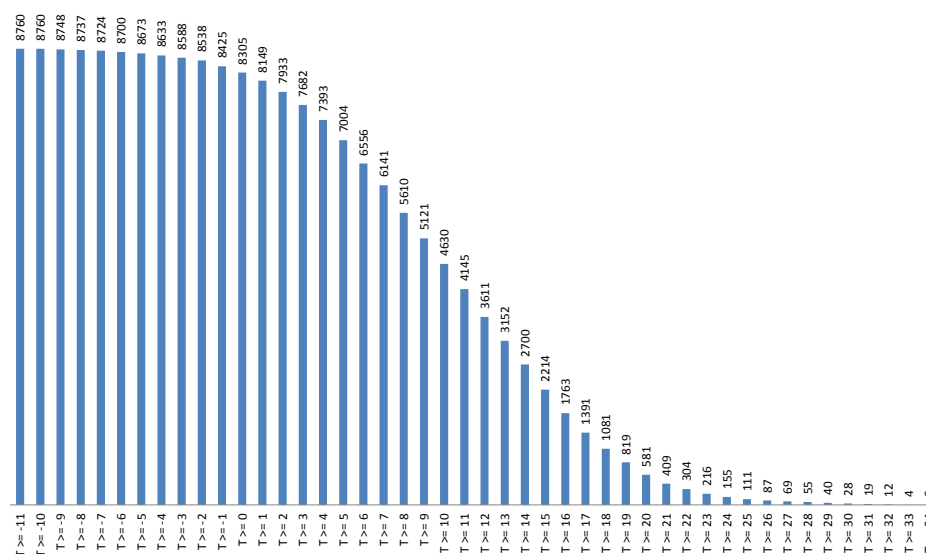
In Tabel 5 is aangegeven hoe groot het ventilatiedebiet moet zijn om momentane warmte P_L af te kunnen voeren met ventilatielucht bij verschillende ventilatietemperaturen T_{bu} . Uitgangspunt is een maximale schachttemperatuur van 24°C. Onderscheid is gemaakt tussen een weg te koelen vermogen van 75 W en 150 W per verdieping. Tevens is aangegeven welk vrij oppervlak in de doorsnede van de schacht vereist is voor deze ventilatiehoeveelheid, bij een max. luchtsnelheid van 2 m/s.

Temperatuur ventilatielucht	Temperatuurverschil schacht - ventilatie	Vereist ventilatiedebiet per verdieping in m ³ /h		Vereist vrij oppervlak in doorsnede schacht in m ²	
T_{bu} [°C]	ΔT [K]	$P_L = 75 \text{ W}$	$P_L = 150 \text{ W}$	$P_L = 75 \text{ W}$	$P_L = 150 \text{ W}$
21,5	2,5	90	180	0,0126	0,0253
19	5	45	90	0,0063	0,0126
14	10	23	45	0,0032	0,0063
9	15	15	30	0,0021	0,0042
4	20	11	23	0,0016	0,0032
-1	25	9	18	0,0013	0,0025

Tabel 5. Minimaal ventilatiedebiet in m³/h per verdieping om de warmte af te voeren

De vereiste ventilatiehoeveelheid is sterk afhankelijk van de buitentemperatuur. Om een indicatie te krijgen van verdeling van de buitentemperaturen is het referentiejaar NEN 5060 geanalyseerd.

Verdeling buitentemperatuur NEN 5060

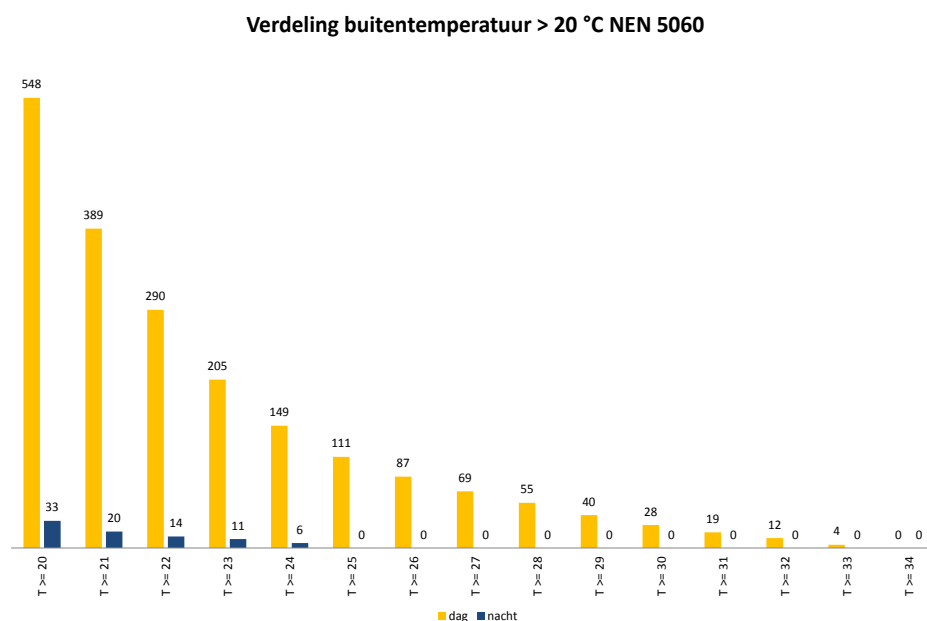


Figuur 9. Verdeling van buitentemperatuur in het referentiejaar NEN 5060

Hieruit blijkt dat ca. 1000 uur per jaar de buitentemperatuur boven 19°C ligt en ca. 300 uur boven 21,5 °C. Als de laatste waarde wordt aangehouden is minimaal 90 m³/h per verdieping vereist.

Mogelijk is het zinvol om onderscheid te maken tussen dag en nachtsituaties. Overdag is de kans groot dat de leiding regelmatig wordt gevuld met vers (koud) leidingwater in verband met regelmatig tapgedrag van alle bewoners. In de nacht (tussen 0:00 en 7:00) bestaat de kans dat er weinig wordt getapt en dat de leiding juist in die periode opwarmt. Op die momenten is het noodzakelijk om de schacht te kunnen koelen.

In onderstaande figuur wordt de verdeling van de temperaturen > 20 °C gegeven verdeeld over daguren (8:00 - 23:00) en nachturen (0:00 - 7:00).



Figuur 10. Verdeling buitentemperatuur uit referentiejaar NEN 5060 voor temperaturen > 20 °C

Uit deze verdeling blijkt dat tijdens 84 nachturen de temperatuur van de buitenlucht boven 20 °C ligt en 31 uur boven 21,5°C ligt. Dit houdt in dat als alleen naar de nachturen wordt gekeken er mogelijkheden zijn om de schacht en het leidingwater onder 25°C te houden d.m.v. ventilatie.

Hiervoor is nominaal 90 m³/h per verdieping vereist bij een weg te koelen vermogen van 75 W en 180 m³/h per verdieping bij 150 W. Deze hoeveelheid kan sterk worden teruggeregeld bij lagere buitentemperaturen.

4.2 Ventilatie van de gehele schacht

Ventilatie van de gehele schacht met onbehandelde buitenlucht is gezien de voorgaande analyse alleen haalbaar als voldoende vrij oppervlak in de schacht beschikbaar is. In de veelal krappe schachten kan dat een belemmering zijn. Hieronder is voor schachten over verschillende verdiepingen het vereiste vrij schachtoppervlak gegeven.

	Vereist vrij oppervlak in schacht in m ²	
	90 m ³ /h	180 m ³ /h
1 verdieping	0,0126	0,0253
5 verdiepingen	0,0630	0,1265
10 verdiepingen	0,1260	0,2530

Tabel 6. Vereist vrij schachtoppervlak.

Een mogelijkheid om de vereiste ventilatiehoeveelheid te verminderen is gelegen in het verlagen van de luchttemperatuur, bijvoorbeeld door de toepassing van een grondbuis. Een grondbuis is een bodem-lucht warmtewisselaar waarmee het mogelijk is om in de zomer warme buitenlucht te koelen. Temperatuurbeheersing

van de schacht kan worden uitgevoerd door lucht door een bodemwarmtewisselaar te leiden en met deze lucht de schacht te koelen.

De onverstoorde grondtemperatuur op één meter diepte ligt rond 10 -12 °C, mits de zon ter plaatse geen grote instraling heeft. Door toepassing van een grondbuis zou de inblaasttemperatuur tot een temperatuur van ca. 15°C kunnen worden verlaagd. Hierbij is een nominale ventilatiehoeveelheid van 23 m³/h per verdieping vereist bij een weg te koelen vermogen van 75 W en 45 m³/h per verdieping bij 150 W. Uitgaande van een maximale ventilatiehoeveelheid van 150 – 200 m³/h zou hiermee zou in principe een schacht van een gebouw met 3 – 6 verdiepingen gekoeld kunnen worden.

Een bijkomend voordeel van de grondbuis is dat hierbij 's winters de luchttemperatuur boven 0°C blijft, zodat niet per ongeluk bevrozing van de leidingen in de schacht kan optreden.

De voorwaarden en aandachtspunten zijn:

- Een dergelijke schacht dient aan de brandveiligheidseisen te voldoen.
- De indeling en maatvoering van de schacht moet op de nominale ventilatiehoeveelheid zijn ingericht.
- De momentane ventilatiehoeveelheid dient op de schachttemperatuur en/of de leidingwatertemperatuur te worden geregeld.
- Bij ventilatie met onbehandelde buitenlucht dient in de wintersituatie bevrozing te worden voorkomen. Bij gebruik van een grondbuis zal de ventilatielucht niet onder het vriespunt dalen.

4.3 Ventilatie per verdieping

Bij ventilatie per verdieping verdient het de voorkeur de buitenlucht vanaf de noordzijde aan te voeren. De schacht wordt bij voorkeur van beneden naar boven geventileerd. Het grootste bouwkundige knelpunt zal in veel gevallen de inpassing van het toe- en afvoerkanaal zijn, wat in de regel boven het verlaag plafond moet gebeuren. Het gaat hier om twee luchtkanalen van ca. rond 100 mm per schacht. Als alternatief kan het toevoerkanaal als koker in de vloer worden weggewerkt.

Een van de uitvoeringsvormen in nieuwe gestapelde bouw zijn schachten en meterkasten in een centrale hal die aan alle zijden door woningen is omgeven. Hierbij wordt per enkele of dubbele meterkast een gescheiden set stadsverwarmingleidingen toegepast. Een gebouw met acht woningen per verdieping telt dan 4 of 8 strangenparen, waarvoor per verdieping 4 of 8 maal een ventilatievoorziening vereist is.

Een alternatief is dan om de ventilatie van de centrale hal voorop te stellen en de meterkasten via ventilatieopeningen te koelen. Of dit voldoende is om hal en meterkasten koel te houden is sterk afhankelijk van o.a. andere warmtebronnen in de hal, waaronder de vanuit de meterkasten door de vloer lopende cv-leidingen naar de woningen.

Ventilatie per verdieping vergt veel instrumentatie per verdieping:

- ventilator met geluiddemper;
- geveldoorvoeren;
- eventueel een brandklep per kanaal;
- isolatie van het toevoerkanaal ter voorkoming van condensatie;

- temperatuuropnemer en regelapparatuur.

De voorwaarden en aandachtspunten zijn:

- Tijdens daguren moet voldoende worden getapt om zodoende tijdens warme dagen, als de buitenlucht te warm is voor koeling, het drinkwater onder 25 °C te houden.
- De indeling en maatvoering van de schacht moet op de nominale ventilatiehoeveelheid zijn ingericht.
- De momentane ventilatiehoeveelheid dient op de schachttemperatuur en/of de leidingwatertemperatuur te worden geregeld.
- In de wintersituatie dient bevrozing te worden voorkomen.

Gezien de vereiste instrumentatie is dit een minder voor de hand liggende oplossing. Deze variant wordt niet verder uitgewerkt in het rekenmodel.

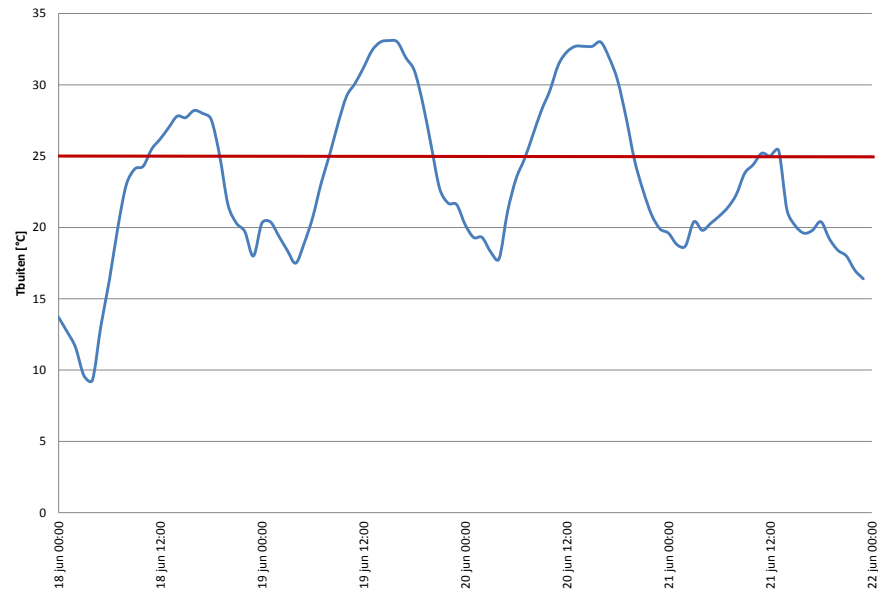
4.4 Ventilatie per verdieping - nachtventilatie

Bij ventilatie per verdieping moet tijdens daguren voldoende worden getapt om zodoende tijdens warme dagen, als de buitenlucht te warm is voor koeling, het drinkwater onder 25 °C te houden. De vraag is nu of nachtventilatie hiervoor uitkomst biedt.

Bij nachtventilatie wordt er vanuit gegaan dat de warmte uit de cv-leidingen overdag wordt opslagen in de koude muur. In de nacht, als de buitentemperatuur lager is, kan de warmte uit de wanden van de schacht worden afgevoerd, net zoals de warmte die 's nachts nog wordt afgegeven door de cv-leidingen.

In eerste instantie wordt beoordeeld of het klimaat in Nederland geschikt is om nachtventilatie voor dit doeleinde toe te passen. Hiervoor wordt het standaard klimaatjaar NEN 5060 gebruikt. In dit klimaatjaar zijn 15 dagen waarin de buitentemperatuur hoger wordt dan 25 °C. Twee dagen bedraagt de daggemiddelde temperatuur meer dan 25 °C.

Als een karakteristieke periode met hoge temperaturen wordt de periode van 18 juni tot en met 21 juni 1990 beschouwd, zie Figuur 11.



Figuur 11. Karakteristiek verloop buitentemperatuur gedurende een warme periode (NEN 5060)

De volgende factoren bepalen of nachtventilatie zinvol kan zijn:

1. Kan de warmteontwikkeling door de cv-leidingen in de schacht in de nacht worden afgevoerd door ventilatie.
2. Is er voldoende warmteoverdracht tussen de wand en de ventilatielucht om de ontwikkelde warmte over de gehele dag af te voeren.
3. Kan de ontwikkelde warmte in de wand van de schacht worden gebufferd.

In bijlage C is een analyse gemaakt van de bovengenoemde aspecten.

Hieruit blijkt dat nachtventilatie geen geschikte methode om de temperatuur te beheersen in schachten. De beperking van de buffercapaciteit van de schachtwand is het grootste knelpunt.

Deze variant wordt niet verder uitgewerkt in het rekenmodel.

5 Koelen van de schacht met gekoeldwatersysteem

Met koeling van de schacht met een gekoeldwatersysteem wordt bedoeld dat met een ongeïsoleerde gekoeldwaterleiding koude wordt afgegeven in de schacht. In deze optie wordt een ongeïsoleerde gekoeldwaterleiding door de schacht geleid om koeling van de schacht te verzorgen. De gekoeldwaterleiding kan worden aangesloten op een (mechanisch) gekoeldwatersysteem of op een grondwaterwarmtewisselaar.

In Tabel 7 wordt een overzicht gegeven van het verwachte voelbare koelvermogen bij een schachttemperatuur van 24 °C (de bepalingswijze is uitgewerkt in bijlage A.5).

Diameter leiding			Warmteoverdracht per verdieping in W				
uitwendig	inwendig	U	Temperatuur koelleiding °C				
mm	mm	W/mK	10	12	14	16	18
10,0	8,0	0,407	34	29	24	20	15
12,0	10,0	0,453	38	33	27	22	16
15,0	13,0	0,539	45	39	32	26	19
22,0	19,8	0,728	61	52	44	35	26
28,0	25,6	0,880	74	63	53	42	32
35,0	32,4	1,049	88	76	63	50	38
42,0	39,4	1,211	102	87	73	58	44
54,0	51,0	1,477	124	106	89	71	53
67,0	63,2	1,753	147	126	105	84	63
80,0	75,8	2,018	170	145	121	97	73

Tabel 7. Warmteoverdracht per verdieping door gekoeldwaterleiding (6 m per verdieping) bij een schachttemperatuur van 24 °C.

Hierbij wordt ervan uitgegaan dat er niet of nauwelijks condensatie optreedt op de koelleiding. Boven 14°C zal condensatie ook niet of nauwelijks optreden. Daaronder is de condensatie beperkt omdat in een gesloten schacht nauwelijks luchtverversing en daarmee toevoer van vocht optreedt. Indien condensatie wel optreedt, zal het afgegeven voelbare koelvermogen kleiner zijn.

Indien een gekoeldwatersysteem bijvoorbeeld een gemiddelde temperatuur heeft van 13 °C (10 °C aanvoertemperatuur, 16 °C retourtemperatuur), dan zal een dubbele (heengaand en teruggaand) leiding van 42 mm voldoende vermogen afgeven voor de koeling van de schacht. In de figuur zijn de situaties met een koelvermogen van ca. 75 W gemarkeerd.

Deze variant lijkt geschikt om te worden toegepast voor beheersing van de temperatuur in de schacht.

6 Koeling van het drinkwater

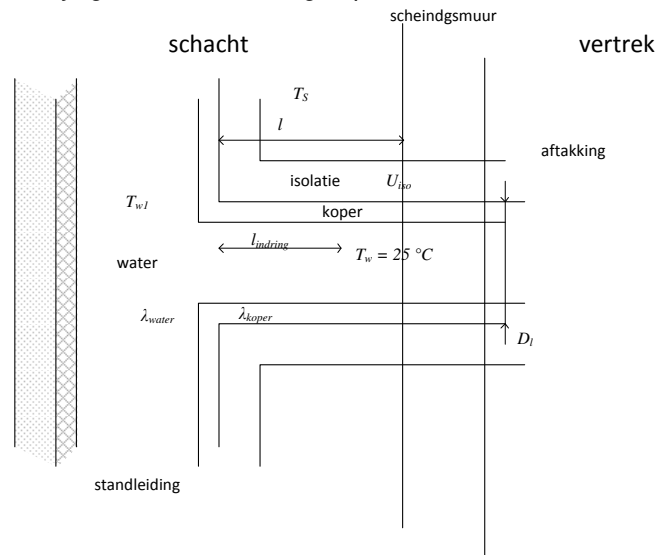
6.1 Inleiding

Varianten die niet zijn genoemd in de opdracht berusten op koeling van het drinkwater. Hiermee wordt de distributieleiding koud gehouden. Voor de verschillende varianten worden behandeld wordt eerst het risico op hoge temperaturen in aftakkende leidingen gezien.

6.2 Temperaturen in aftakkende leidingen

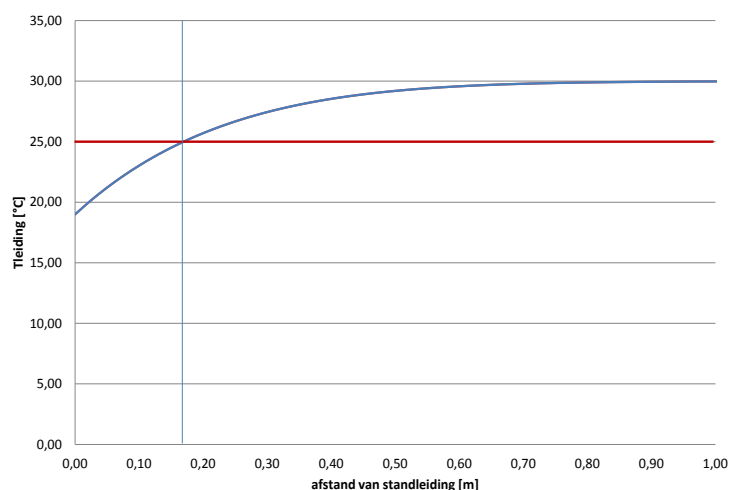
Een risico bij de koeling van het drinkwater in de standleiding is dat aftakkende leidingen, waarin water mogelijk langere tijd stil kan staan, hierdoor niet koud worden of blijven. Hoe langer de aftakking is die wordt blootgesteld aan een 'warme schacht', hoe groter de kans op te hoge temperaturen.

In bijlage A.6 is de indringdiepte van de koude in de aftakkende leiding bepaald.



Figuur 12 Model voor indringdiepte van koude uit de centrale standleiding in de aftakkende leiding

Hieruit is het volgende verloop van de temperatuur in de aftakleiding, als functie van de afstand tot de standleiding, bepaald.



Figuur 13 Indringdiepte van koude standleiding in een aftakking als functie van de afstand tot de standleiding.

Op basis van deze berekeningen blijkt dus dat de aftakking niet groter mag zijn dan ca. 150 mm.

Deze berekening is uitgevoerd met een koperen leiding. Koper is een zeer goed warmte geleidend materiaal. De resultaten voor andere materialen zullen resulteren in kortere indringdieptes. Bij kunststof leidingen zal dit al gauw teruggaan naar een theoretische indringdiepte volgens het model van enkele 10-tallen millimeters.

De mogelijkheden om tot korte uittapleidingen in de schacht te komen zijn:

- Montage van de standleiding zo dicht mogelijk bij de wand waar de leidingen worden aangesloten
- Doorstroomd aansluiten van de standleidingen.

6.3 Spuien koudwater

Een variant die niet is genoemd in de opdracht, maar die veel wordt toegepast is het spuien van koud leidingwater. Hiermee wordt de distributieleiding koud gehouden. Een uitgangspunt hierbij is dat de drinkwaterleiding is geïsoleerd.

Spuien van drinkwaterleidingen gebeurt op basis van de temperatuur van het leidingwater op warme plekken in het leidingnet. Indien de temperatuur hoger wordt dan 24 °C zal het leidingnet worden doorspoeld met vers koud drinkwater. De looptijd waarin een koude drinkwaterleiding in een warme schacht opwarmt tot de grenstemperatuur bedraagt voor geïsoleerde leidingen 2 – 4 uur (Tabel 8). Dit betekent dat als alleen in de nachtperiode gespuid moet worden maximaal 4 spuiacties vereist zijn.

De inhoud van de leiding bedraagt per verdieping ca. 1,9 lt (28/25,6) of 1 lt (22/20). Bij spuien moet niet alleen het drinkwater worden verdongen maar tevens het buismateriaal worden afgekoeld. De DH-factor van ca. 1,3 – 1,7 die gebruikt wordt om de wachttijd voor warmtapwater te bepalen is ook hier van toepassing. Als een ruimte factor 3 wordt aangehouden komt iedere spuiactie overeen met het lozen van ca 3 – 6 lt water per verdieping. Het maximaal verbruik bedraagt dan 12 – 24 lt water per verdieping per nacht, wat overeenkomt met een 2 à 4 spoelacties van een toilet. Indien iedere dag in dezelfde mate gespuid wordt bedraagt het verbruik

op jaarbasis 4,4 – 8,8 m³ per verdieping, wat bij een prijs van ca. 1 Euro/m³ overeenkomt met ca 4,4 – 8,8 Euro per verdieping.

Variant	22/20 - 20 mm iso			22/20 - 20 mm iso			28/26 - 20 mm iso			39/42 - 20 mm iso		
T _{w,in} [°C]	20			10			20			20		
d _{in} [mm]	19,8			19,8			25,6			39,4		
d _{uit} [mm]	22,0			22,0			28,0			42,0		
U _{spec} [W/m.K]	0,189			0,189			0,219			0,287		
T _{schacht} [°C]	26	28	30	26	28	30	26	28	30	28	30	32
Looptijd [uur:min]	4:10	2:20	1:40	6:20	4:10	3:10	5:10	2:50	2:00	5:30	3:50	3:00
Volume [lt/verd]	0,92			0,92			1,85			3,66		
Pafigite [W/verd]	2,0	3,1	4,3	4,8	6,0	7,1	2,3	3,6	4,9	4,7	6,5	8,2

Tabel 8. Looptijd waarin een koude drinkwaterleiding in een warme schacht opwarmt tot de grenstemperatuur.

Zoals besproken onder 2.6 kan de watertemperatuur aan de watermeter in warme zomers tot 25°C of hoger oplopen. Om te voorkomen dat de spui in die situatie continu openstaat zijn aanvullende maatregelen in de regeling van de spui vereist, zoals:

- limitering van spuitijd en minimum spui-interval;
- beëindiging spui als de gemeten temperatuur nauwelijks meer verandering vertoont, plus minimum spui-interval;
- temperatuurmeting aan de watermeter of het begin van de schacht en beëindigen van de spuiactie als deze temperatuur (vrijwel) bereikt is, plus minimum spui-interval.

6.4 Circulatieleiding met koeling in de schacht

Dit is een koele variant op de bekende circulatiesystemen met warmwater. Nu wordt (bij voorkeur buis-in-buis) een circulatiesysteem aangelegd, waarbij een koeler geplaatst wordt die temperatuur gestuurd wordt in- en uitgeschakeld. Deze koeler kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, bijvoorbeeld als een warmtewisselaar waarbij een gekoeldwatersysteem als koudebron benut wordt.

Hieronder is voor een aantal configuraties het vereiste koelvermogen per verdieping bepaald, uitgaande van een buis-in-buis circulerend drinkwatersysteem, met 20 mm isolatie. Er is met vrij hoge schachttemperaturen gerekend omdat nu de meeste warmte via de schachtwand moet worden afgevoerd.

T _{w;set} [°C]	10				20			
d _{in} [mm]	39,4				39,4			
d _{uit} [mm]	42,0				42,0			
U _{spec} [W/m.K]	0,287				0,287			
T _{schacht} [°C]	26	28	30	32	26	28	30	32
P _{koel,spec} [W/m]	4,59	5,17	5,74	6,31	1,72	2,30	2,87	3,44
P _{koel} [W/verd]	13,8	15,5	17,2	18,9	5,2	6,9	8,6	10,3

Tabel 9. Vereist koelvermogen voor drinkwater

De berekening laat een koelbehoefte van 15 – 20 W per verdieping zien. Voor een gebouw van 10 verdiepingen wordt dit 150 – 200 W. Ook een deel van het vermogen van de circulatiepomp moet worden weggekoeld. De koeling kan met bijvoorbeeld een compacte platenwarmtewisselaar worden gerealiseerd.

Bijzondere aandacht is bij deze aanpak vereist voor de waterkwaliteit en het feit dat formeel gezien waterbehandeling wordt toegepast. Overigens zijn voor deze vorm van waterbehandeling geen beheersmaatregelen vereist.

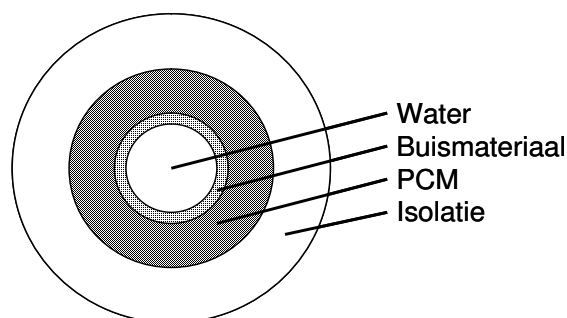
Het water in een circulerend systeem wordt niet via een propstrooming ververst, zoals in de meeste leidingwatersystemen, maar via menging, zoals in breek tanks of een schakelvat van een drukverhoginginstallatie. Om voldoende verversing te garanderen is een gebruik gewenst dat op dagbasis hoger is dan de totale inhoud van het circulatiesysteem. De normen en richtlijnen geven hier geen harde criteria voor. BRL 14021 geeft een beproevingsmethode voor expansievaten.

6.5 Drinkwaterleiding met PCM-mantel in de schacht

Het gebruik van faseovergangsmateriaal (PCM) voor deze toepassing is voor zover bekend nog nieuw. Hieronder wordt een poging gedaan de mogelijkheden in beeld te brengen.

Uitgangspunt is dat een PCM beschikbaar is met een smelttraject tussen 20-24 °C. Als dit materiaal rond de drinkwaterleiding wordt gemonteerd kan de PCM gedurende dagbedrijf, indien volop water getapt wordt en de leiding keer op keer met koud drinkwater wordt gevuld, worden geladen met koude en geheel zijn gestold. Gedurende de nacht smelt het PCM gedeeltelijk door de warmtetoevoer uit de schacht, maar blijft het drinkwater onder 25 °C.

Een bekend PCM materiaal is paraffine. De soortelijke smeltwarmte van paraffine bedraagt 147 kJ/kg. Het smelttraject ligt echter om en nabij de 55 °C. Bij de berekeningen wordt er vooralsnog vanuit gegaan dat er een PCM beschikbaar is met de smeltwarmte van paraffine en een smelttraject tussen de 20 en 24 °C. Rond het PCM materiaal wordt isolatiemateriaal aangebracht.



Figuur 14. Opbouw leiding met PCM en isolatie

Voor het beoordelen van de mogelijkheden van PCM is de volgende benadering gevolgd:

- De maximale warmtecapaciteit van het PCM wordt bepaald door het volume en de smeltwarmte. Uitgegaan is van een concentrische ring van PCM van 20 mm dik rond het buismateriaal.
- De opwarming van het PCM gebeurt vanuit de schacht door de isolatie rond het PCM. De opwarming gebeurt de gehele dag en wordt bepaald door de

isolatiewaarde, de schachttemperatuur en de smelttemperatuur van het PCM. Zolang de opwarming van het PCM gedurende een dag kleiner is dan de capaciteit van het PCM is er voldoende capaciteit beschikbaar.

- De afkoeling van het PCM gebeurt tijdens en na een tapping. Aangenomen wordt dat de warmteweerstand tussen water en PCM gering is. De beschikbare koude per tapping wordt bepaald door de inhoud van de leiding en de maximale stijging van de watertemperatuur van ingaande watertemperatuur tot de smelttemperatuur van het PCM.

Nu kan bepaald worden hoeveel tappingen per dag vereist zijn om de opwarming geheel te compenseren.

De resultaten zijn hieronder weergegeven. Er is met vrij hoge schachttemperaturen gerekend omdat nu de meeste warmte via de schachtwand moet worden afgevoerd.

Zoals uit de resultaten blijkt heeft het PCM voldoende capaciteit om de opwarming gedurende een volle dag op te vangen (max 85% vereist bij 32 °C schachttemperatuur). Vervolgens blijken 45 volledige tappingen bij 32 °C schachttemperatuur vereist om deze opwarming geheel op te vangen.

Capaciteit

H [m/verd]	3	3	3	3
d _{in} [mm]	22,0	22,0	22,0	22,0
d _{uit} [mm]	62,0	62,0	62,0	62,0
ρ _{m;pcm} [kg/m ³]	850	850	850	850
c _{p;pcm} [J/kg]	147000	147000	147000	147000
Q _{pcm;spec} [J/m]	329735	329735	329735	329735
Q _{pcm} [J/verd]	989206	989206	989206	989206

Opwarming

Aantal uren	24	24	24	24
T _{schacht} [°C]	26	28	30	32
T _{w;grens} [°C]	24	24	24	24
U _{spec} [W/m.K]	0,404	0,404	0,404	0,404
P _{spec} [W/m]	0,8	1,6	2,4	3,2
P _{tot} [W/verd]	2,4	4,8	7,3	9,7
Q _{pcm} vereist [J/verd]	209434	418867	628301	837734
Fractie	21%	42%	64%	85%

Afkoeling

T _{w;in} [°C]	20	20	20	20
C _{spec} [J/m.K]	1593	1593	1593	1593
Q _{spec;tap} [J/m per tapping]	6371	6371	6371	6371
Q _{tot;tap} [J/verd per tapping]	19113	19113	19113	19113
N _{tapping} /dag	11,0	21,9	32,9	43,8

Tabel 10. Voorbeeld berekening capaciteit, opwarming en afkoeling PCM rond leiding

De conclusie is dat PCM materiaal wellicht geschikt is als buffer om opwarming van drinkwaterleidingen in schachten te voorkomen, mits er gedurende een dag voldoende tappingen (aan het laatste/bovenste tappunt) gepleegd worden. Het vereiste aantal tappingen is direct afhankelijk van o.a. de resulterende schachttemperatuur. Het systeem is robuust door het ontbreken van elektrische of mechanische bewegende onderdelen en doordat geen onderhoud vereist is.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De bevindingen zijn hieronder in een tabel samengevat.

Principe	Koeling van de schacht			Met gekoeldwatersysteem.	Koeling van het drinkwater		
Systeem	Ventilatie met koele lucht				Spuien	Circulatieleiding met koeling	Drinkwaterleiding met PCM-mantel
	Gehele schacht - onbehandelde buitenlucht	Gehele schacht - voorgekoelde buitenlucht	Per verdieping				
Voorwaarden							
Brandveiligheid schacht	x	x					
Open vloeren in schacht	x	x					
Vrij oppervlak in schacht	xxx	xx	x				
Korte aftakleidingen					x	x	x
Tappingen (overdag)					x	x	xx
Aquifer (of koelmachine)				x		x	
Instrumentatie							
Temperatuuropnemer en regelunit	x	x	xx	x	x	x	
Luchtfilter	x	x	xx				
Ventilator / demper	x	x	xx				
Grondbuis ventilatielucht		x					
Luchtkanalen en geveldoorvoeren			xx				
Gekoeldwaterleiding in schacht				x			
W/W warmtewisselaar of koeler				opt.		x	
Circulatiepomp gekoeld / of drinkwater				opt.		x	
Circulatieleiding						x	
Spuiklep					x		
Leiding met PCM mantel							x
Prestatie							
Temperatuurbeheersing in schacht	+ 1	++	+ 1	++	+ 2	++	+ 2
Energiegebruik	E+V	E+V	E+V	E+P	E	E+P	-
Risico's							
Bevriezing	x		x				
Beheersmaatregelen							
Controle functioneren	x	x	xx	x	x	x	

Noten:

1. Enige dagen per jaar te hoge dagtemperaturen – geen probleem bij voldoende tapgebruik overdag. Deze situatie kan in principe ook in een koude schacht optreden als de temperatuur in het gehele gebouw oploopt.
2. Bij warme zomers kan het drinkwater tot 25°C stijgen, waardoor dit systeem in die periode onvoldoende effectief is.

Toelichting symbolen in tabel per subgroep.

Voorwaarden / risico's:

- x van toepassing
- xx van toepassing – impact groter
- xxx van toepassing – impact grootst

Instrumentatie / beheersmaatregelen:

- x vereist per schacht
- xx vereist per verdieping
- opt. optie

Prestatie:

- + Goed – behoudens op de opmerking onder de noot
- ++ Optimaal – temperatuurbheersing gedurende het gehele jaar

Beide scores veronderstellen een correcte dimensionering.

- E elektronica
- V ventilator
- P pomp

Op basis van de bevindingen zijn de volgende varianten het meest kansrijk voor toepassing in de praktijk:

1. Koeling van de schacht
 - a. Ventilatie met koele lucht.
 - i. Gehele schacht.
 1. Met onbehandelde buitenlucht
 2. Met voorgekoelde buitenlucht
 - b. Koelen van de schacht met gekoeldwatersysteem.
2. Koeling van het drinkwater.
 - a. Spuien
 - b. Circulatieleiding met koeling in de schacht

Bij koeling van de schacht ontstaat een situatie waarbij aangrenzende meterkasten niet opgewarmd worden door de te warme schacht. Bij koeling van het drinkwater kan de schacht een temperatuur boven 25 °C bereiken. De scheidingswand met aangrenzende meterkasten (en andere ruimten, zoals een centrale hal) dient dan te worden geïsoleerd om ongewenste opwarming van de meterkast te voorkomen.

De eenvoudigste oplossing lijkt spuien van drinkwater. In bestaande bouw is deze oplossing eenvoudig toepasbaar.

Koeling van de schacht door ventilatie met onbehandelde buitenlucht per verdieping lijkt een aanpak die teveel voorzieningen vergt. Deze methode wordt niet verder uitgewerkt.

Koeling van de gehele schacht met buitenlucht is waarschijnlijk slechts in een beperkt aantal situaties mogelijk, omdat in veel gevallen de vloeren brandwerend worden uitgevoerd; ook in de schacht.

Koeling van het drinkwater door een drinkwaterleiding met PCM-mantel in de schacht aan te brengen is nog niet beschikbaar.

7.2 Aanbevelingen

In het algemeen wordt aanbevolen geen drinkwaterleidingen in warme schachten te monteren. In bestaande bouw komt het veel voor dat drinkwaterleidingen in warme schachten gemonteerd zijn en zijn eenvoudige alternatieven niet altijd voorhanden. De verdere aanbevelingen zijn gericht op de in deze studie beoordeelde oplossingsrichtingen voor situaties met drinkwaterleidingen in warme schachten.

Op basis van deze analyse wordt voorgesteld de hierboven geselecteerde varianten in een model uit te werken.

Bij toepassing van deze methoden dienen de vereiste beheersmaatregelen in het beheersplan te worden opgenomen.

Voor koeling van het drinkwater door een drinkwaterleiding met PCM-mantel in de schacht aan te brengen wordt voorgesteld nader onderzoek naar de haalbaarheid te doen. Dit zou zich o.a. moeten richten op:

- Selectie van een faseovergangsmateriaal (PCM) met een smelttraject tussen 20-24 °C.
- Verwerking hiervan rond een leiding.
- Praktijkbeproeving.

8 Referenties

1. Drinkwaterwet
Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag, 2011
2. Drinkwaterbesluit
Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag, 2011
3. Regeling Legionellapreventie
Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag, 2011
4. NEN 1006+A3:2011 - Algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties (AVWI-2002)
NEN, Delft, januari 2002, 2011
5. Waterwerkbladen (t/m 2011)
Gezamenlijke drinkwaterbedrijven
www.infodwi.nl
6. ISSO-publicatie 55 - Leidingwaterinstallaties in woon- en utiliteitsgebouwen
ISSO, Rotterdam, 2012
7. ISSO-publicatie 55.1:2005 – Handleiding legionellapreventie in leidingwater
ISSO, Rotterdam, 2005
8. ISSO-publicatie 55.2:2005 – Zorgplicht legionellapreventie collectieve leidingwaterinstallaties
ISSO, Rotterdam, 2005
9. Model voor de berekening van de watertemperatuur in het leidingnet
Mirjam Blokker, Ilse Pieterse-Quirijns
H₂O/23-2010
10. Opwarmen leidingwater in woningen t.g.v. stadsverwarming (2007-A-R0691/B)
Hans van Wolferen
TNO, Apeldoorn, juli 2007

9 Ondertekening

Delft, april 2013



Drs. P.M. van Hoorik
Afdelingshoofd
Energy and Comfort Systems



Ir. J. van Wolferen
Auteur

A Bepalingswijze

In deze bijlage wordt de bepalingwijze van de warmteafgifte en/of resulterende temperatuur geven voor verschillende configuraties.

A.1 Warmteafgifte van warme leidingen in schacht

De hoeveelheid warmte die wordt afgegeven door warme leidingen wordt gegeven door:

$$P_L = l \times U' \times (T_L - T_S) \quad [\text{W}]$$

waarin:

P_L	afgegeven warmtevermogen van de leidingen in W per verdieping
l	lengte van de warme leidingen in de schacht per verdieping in m
U'	warmteoverdrachtscoëfficiënt per leidinglengte in W/mK
T_L	gemiddelde leidingtemperatuur in °C
T_S	gemiddelde schachttemperatuur in °C

A.2 Warmteafgifte schacht aan omgeving

De warmteafvoer door de schachtwand wordt gegeven door:

$$P_{tr,S} = A_S \times U_S \times (T_S - T_r) \quad [\text{W}]$$

waarin:

$P_{tr,S}$	warmteafgifte door transmissie door de schachtwanden in W per verdieping
A_S	wandoppervlak van de schacht per verdieping in m ²
U_S	warmteoverdrachtscoëfficiënt van de schachtwanden in W/m ² K
T_S	gemiddelde schachttemperatuur in °C
T_r	gemiddelde ruimtetemperatuur van omliggende ruimtes (20 °C)

A.3 Opwarming drinkwater

De opwarming van het drinkwater T_w wordt bepaald volgens:

$$T_w(t) = T_s + (T_{w,in} - T_s) \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

waarin:

$$\tau = C_{spec} / U_{spec}$$

$$C_{spec} = C_{w;spec} + C_{m;spec}$$

$$C_{w;spec} = \pi \cdot d_{in}^2 \cdot \rho_w \cdot c_{pw}$$

$$C_{m;spec} = \pi \cdot (d_{uit}^2 - d_{in}^2) \cdot \rho_m \cdot c_{pm}$$

waarin:

$T_w(t)$	drinkwatertemperatuur als functie van tijd t , in °C;
$T_{w,in}$	drinkwatertemperatuur bij inname, in °C;
T_s	schattemperatuur, in °C;
τ	tijdconste opwarming leiding, in s;
U_{spec}	warmteoverdrachtscoëfficiënt per leidinglengte in W/m.K;
C_{spec}	warmtecapaciteit per leidinglengte in J/m.K;
ρ_w	soortelijke massa water, in kg/m ³ ;
c_{pw}	soortelijke warmte water, in J/kg.K
ρ_m	soortelijke massa leidingmateriaal, in kg/m ³
c_{pm}	soortelijke warmte leidingmateriaal, in J/kg.K
d_{in}	inwendige diameter leiding, in m;
d_{uit}	uitwendige diameter leiding, in m;

A.4 Het koelpotentieel van buitenlucht

De warmtestroom P_{vent} wordt bepaald als functie van de ventilatiehoeveelheid en het momentane temperatuurverschil tussen schacht- en buitentemperatuur volgens:

$$P_{vent} = \rho_l \times c_{p,l} \times \phi_{vent} \times (T_s - T_{bu}) \quad [W]$$

waarin:

ρ_l	soortelijke massa van lucht, 1,2 kg/m ³ ;
$c_{p,l}$	soortelijke warmte van lucht, 1000 J/kg.K;
ϕ_{vent}	ventilatiehoeveelheid in m ³ /s;
T_s	luchttemperatuur in de schacht in °C;
T_{bu}	buitentemperatuur in °C.

Met de ventilatiehoeveelheid ϕ_{vent}' in m³/h volgt voor P_{vent} :

$$P_{vent} = 0,33 \times \phi_{vent}' \times (T_s - T_{bu}) \quad [W]$$

Het minimale vrije oppervlak A_{vent} in m² wordt bepaald volgens:

$$P_{vent} = 0,33 \times \phi_{vent}' \times (T_s - T_{bu}) \quad [W]$$

waarin:

V_{vent} max. luchtsnelheid, 2 m/s.

A.5 Gekoeldwatersysteem

De warmteoverdracht per verdieping van een gekoeldwatersysteem wordt bepaald door:

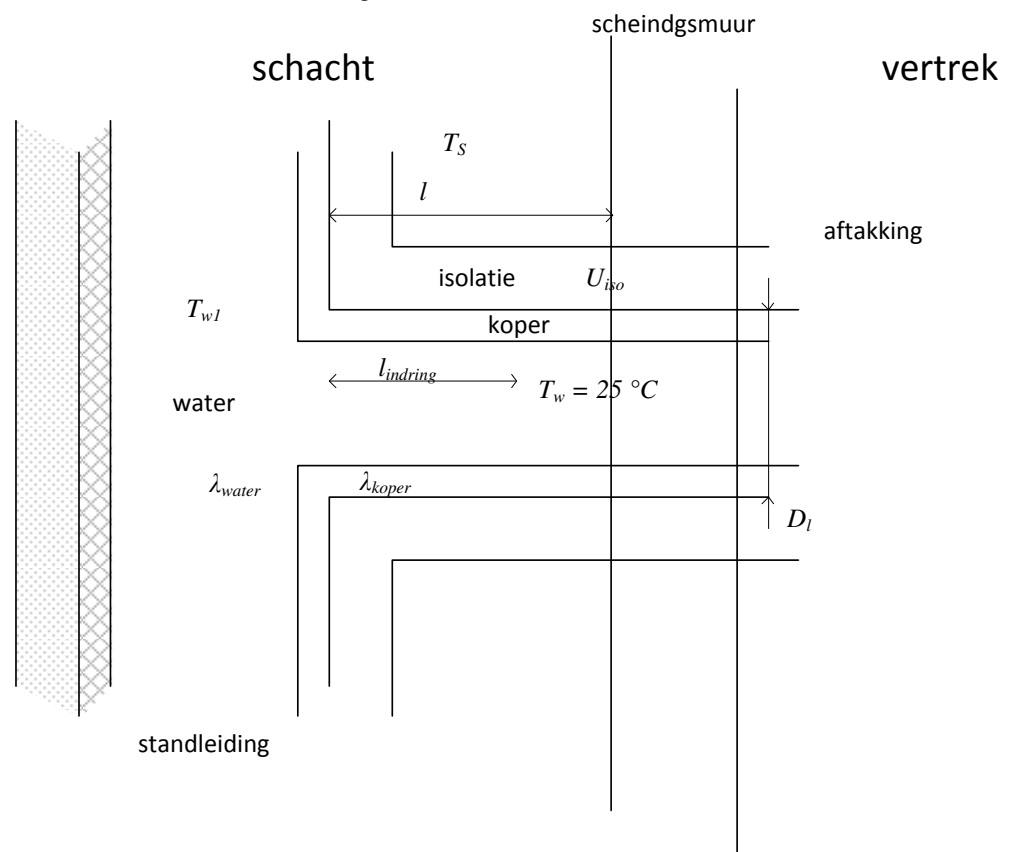
$$P_{koel} = l \times U_{l,koel} \times \Delta T$$

waarin:

P_{koel} warmteoverdracht per verdieping in W;
 l lengte van de koelleiding per verdieping, 2 x 3 m;
 $U_{l,koel}$ warmteoverdrachtscoëfficiënt per strekkende meter koelleiding in W/m.K;
 ΔT temperatuurverschil tussen schacht en leiding in K.

A.6 Temperaturen in aftakkende leidingen

In deze paragraaf wordt een inschatting gemaakt van de indringdiepte van de koude in de aftakkende leiding.



Figuur 15 Model voor indringdiepte van koude uit de centrale standleiding in de aftakkende leiding

De warmtegeleiding door koper is bij een leidingdiameter van 15 mm bijna een factor 50 groter dan door stilstaand water.

$$A_{\text{water}} \times \lambda_{\text{water}} = \frac{1}{4} \times 0,013^2 \times 0,6 = 2,535 \times 10^{-5} \quad \text{Wm/K}$$

$$A_{\text{koper}} \times \lambda_{\text{koper}} = \frac{1}{4} \times (0,015^2 - 0,013^2) \times 79 = 1,1 \times 10^{-3} \quad \text{Wm/K}$$

Voor de bepaling van de indringdiepte van de koude in de aftakkende leiding wordt daarom alleen rekening gehouden met warmtetransport door koper.

Het fysische model bestaat uit de volgende vergelijkingen:

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0$$

$$P_1 = A_{cu} \times \lambda_{cu} \times \frac{T(x - dx) - T(x)}{dx}$$

$$P_2 = A_{cu} \times \lambda_{cu} \times \frac{T(x) - T(x + dx)}{dx}$$

$$P_3 = dx \times \pi r_{uitw}^2 \times U_{iso} \times (T_s - T(x))$$

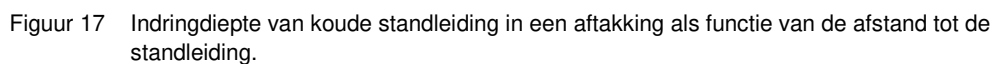
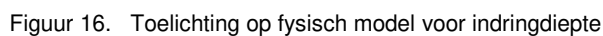
Voor de toelichting op de vergelijkingen wordt verwezen naar figuur 16. Verder geldt:

$$A_{cu} = \frac{\pi}{4} \times (d_{uitw}^2 - d_{inw}^2)$$

waarin:

A_{cu} is het oppervlak in axiale richting van het koper in [m²]
 λ_{cu} warmtegeleidingscoefficient van koper (390 W/mK)

De vergelijkingen zijn iteratief opgelost.



Deze berekening is uitgevoerd met een koperen leiding. Koper is een zeer goed warmte geleidend materiaal. De resultaten voor andere materialen zullen resulteren in kortere indringdieptes. Bij kunststof leidingen zal dit al gauw teruggaan naar een theoretische indringdiepte volgens het model van enkele 10-tallen millimeters.

B Isolatiewaarde leidingen

Tabel B.1 — Indicatie *U*-waarden per meter koperen leiding in W/m.K

Middellijn leiding		Isolatiedikte					
uitwendig	inwendig	mm					
mm	mm	0	10	15	20	25	35 *
10	8	0,407	0,165	0,136	0,114	0,106	0,10
12	10	0,453	0,184	0,154	0,136	0,124	0,11
15	13	0,539	0,211	0,174	0,154	0,138	0,12
22	19,8	0,728	0,271	0,219	0,189	0,169	0,15
28	25,6	0,880	0,321	0,256	0,219	0,194	0,17
35	32,4	1,049	0,378	0,299	0,253	0,223	0,19
42	39,4	1,211	0,435	0,341	0,287	0,251	0,21
54	51	1,477	0,531	0,412	0,343	0,299	0,25
67	63,2	1,753	0,635	0,488	0,404	0,349	0,28
80	75,8	2,018	0,737	0,563	0,464	0,399	0,29

Uitgangspunten voor tabel B.1 zijn:

- Warmtegeleidingscoëfficiënt koper 360 W/(K.m)
- Warmtegeleidingscoëfficiënt isolatie 0,035 W/(K.m)
- Emissiefactor koper 0,2 W/(K.m)
- Emissiefactor isolatie 0,8 W/(K.m)
- Vrije convectie

Bron: Waterwerkblad WB 4.4.A, pag. 18, september 2007; met uitzondering van de waarden voor 35 mm isolatie; die zijn ontleend aan de (nog niet gepubliceerde) ISSO55:2012.

C Nachtventilatie

C.1 Inleiding

De volgende factoren bepalen of nachtventilatie zinvol kan zijn:

1. Kan de warmteontwikkeling door de cv leidingen in de schacht in de nacht worden afgevoerd door ventilatie.
2. Is er voldoende warmteoverdracht tussen de wand en de ventilatielucht om de ontwikkelde warmte over de gehele dag af te voeren.
3. Kan de ontwikkelde warmte in de wand van de schacht worden gebufferd.

In de volgende subparagrafen wordt een analyse gemaakt van de bovengenoemde aspecten.

C.2 Afvoer warmteontwikkeling

De warmteontwikkeling in de schacht bedraagt per verdieping

$$Q_{cv} = 24 \times 75 = 1800 \quad [\text{Wh}]$$

Nachtventilatie vindt plaats bij een buitentemperatuur kleiner dan 23 °C. op de warmste dag kan 's nachts 10 uur met koele buitenlucht worden geventileerd. Er wordt vanuit gegaan dat in deze 'koele periode' de gemiddelde buitentemperatuur ongeveer 20 °C bedraagt. Er kan dan worden geventileerd met een ΔT van 5 K.

$$Q_{nv} = n \times 0,33 \times \Phi_{vent}' \times (T_s - T_{bu}) = 13,3 \times \Phi_{vent}' \quad [\text{Wh}]$$

waarin:

n aantal uren dat nachtventilatie functioneert (10 uur).

Met een schachttemperatuur van 24 °C is per verdieping een ventilatiecapaciteit noodzakelijk van minimaal $1.800 / 13,3 = 135 \text{ m}^3/\text{h}$ per verdieping.

C.3 Warmteoverdracht schachtwand

Naast deze globale karakterisering, wordt ook gekeken of het mogelijk is om de opslagen warmte in de muur met nachtventilatie af te voeren. Hierbij wordt beoordeeld of de warmteoverdracht voldoende is tussen de wand van de schacht en de aangevoerde buitenlucht. Bij deze benadering wordt er vanuit gegaan dat de koele buitenlucht homogeen gemengd is met de warme afvoerlucht (25 °C). De gemiddelde temperatuur van de afvoerlucht bedraagt daarmee 22,5 °C. De warmteoverdracht tussen de schachtwand (25 °C) en de ventilatielucht in de periode van nachtventilatie bedraagt:

$$Q_{tr,max} = 10 \times A \times \alpha_i \times (T_{wand} - T_{vent}) = 1200 \quad [\text{Wh}]$$

waarin:

A wandoppervlak van de schacht in m^2 per verdieping, 6 m^2 ;
 α_i warmteovergangscoefficiënt van wand naar binnenlucht, 8,0 $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$;
 T_{wand} oppervlaktetemperatuur van de schachtwand, 25 °C;

T_{vent} gemiddelde ventilatietemperatuur (luchttemperatuur) in de schacht, 22,5 °C.

Overdag kan in 14 uur ca. $14 \times 75 = 1050$ Wh aan warmte in de muur worden opgeslagen. Deze warmte kan dus ook worden afgevoerd uit de schachtwand in de periode van nachtventilatie.

De warmteovergangscoefficiënt is bekend bij natuurlijke convectie. Bij gedwongen convectie (die in feite optreedt bij nachtventilatie van de schacht) zal de warmteovergangscoefficiënt groter zijn.

C.4 Warmteopslag in schachtwand

Om te benaderen hoeveel warmte in de schachtwand kan worden gebufferd, wordt uitgegaan van warmtecapaciteit van de schachtwand. Deze warmtecapaciteit is sterk afhankelijk van de constructie van de schachtwand en het oppervlak. Uitgegaan wordt van een maximale indringdiepte van de warmte van 50 mm en het feit dat ca. $1000 \text{ Wh} \approx 3,6 \text{ MJ}$ (zie ook C.3) aan warmte moet worden opgeslagen. De hoeveelheid warmte die kan worden opgeslagen wordt bepaald door:

$$Q_{nv,max} = V_{beton} \times \rho_{beton} \times c_{p,beton} \times \Delta T \quad (4)$$

waarin:

V_{beton} thermische volume van beton, ca. 5 dikte bij nachtventilatie, dus per verdieping ca. $0,05 \times 6,0 = 0,3 \text{ m}^3$;
 ρ_{beton} soortelijke massa van beton, $1.500 - 2.500 \text{ kg/m}^3$;
 $c_{p,beton}$ soortelijke warmte van beton, 1.100 J/kgK ;
 ΔT temperatuurverschil tussen begin en eindsituatie (2,5 K, zie ook C.3)

Met een soortelijk massa van 1.500 kg/m^3 van de wand kan dus $0,3 \times 1500 \times 1100 \times 2,5 = 1250 \text{ J} = 1,25 \text{ MJ}$ (= ca 350 Wh) aan opgeslagen energie worden afgevoerd. Dit is onvoldoende om nachtventilatie als effectief instrument in te zetten.

In deze analyse is er vanuit gegaan dat de schacht aan vier zijden wordt omringd door een betonnen wand. Indien dit niet zo is, zal de buffercapaciteit geringer zijn.

C.5 Conclusie

Nachtventilatie is geen geschikte methode om de temperatuur te beheersen in schachten. De beperking van de buffercapaciteit van de schachtwand is het grootste knelpunt.

Voorgesteld wordt om deze variant niet verder uit te werken in het rekenmodel.



Korenmolenlaan 4
3447 GG Woerden
Telefoon: 088 401 06 20

info@tvvl.nl | www.tvvl.nl

